



УДК 631.347.3

Поступила: 27.06.2025

Принята к публикации: 03.11.2025

Опубликована: 10.11.2025

К вопросу снижения энергетических затрат на передвижение широкозахватных дождевальных машин

А. И. Рязанцев¹ , Е. Ю. Евсеев² , В. С. Травкин³ , А. Р. Травкина⁴ ,
А. И. Смирнов⁵ , И. В. Малько⁶ 

^{1,2,5,6} Государственный социально-гуманитарный университет

^{1,3} Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и
сельхозводоснабжения «Радуга»

³ Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова

⁴ Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева

¹ e-mail: ryazantsev.41@mail.ru

² e-mail: evseev.evgeniy.1995@mail.ru

³ e-mail: vlad.travkin.1992@mail.ru

⁴ e-mail: gimazova.a@bk.ru

⁵ e-mail: aigsm@mail.ru

⁶ e-mail: centorion@yandex.ru

Аннотация. Наиболее востребованными для полива площадей являются широкозахватные дождевальные машины, например ДМ «Кубань-ЛК1», работающая в движении по кругу, которая занимает более 15 % объемов парка подобного рода техники в Российской Федерации. Их работа в различных условиях эксплуатации, характеризуется сложными почвенно-рельефными параметрами, обусловленными повышенной влажностью, а также движением ходовых систем по одной траектории (колее). В статье отмечается, что оптимизация параметров ходовых систем многоопорной дождевальной машины кругового действия типа «Кубань-ЛК1» базируется на оптимизации системы «поверхность орошения-дождевальная машина», обуславливающую показатели колееобразования под ходовыми системами машины, характеризующиеся высотой профиля и типов протектора. Рассматриваются вопросы влияния, на отмеченные характеристики, показателя выдавливаемости почвы и высоты почвозацепов (в зависимости от износа) пневмошин тележек ДМ. Приводятся данные аналитических исследований, позволяющие судить о практической применимости шин с различной высотой профиля, в различных условиях эксплуатации. При этом указывается, для снижения энергетических затрат на передвижение ДМ представляется целесообразным использование пневматических колес с протектором типа «кляшка» вместо стандартного протектора типа «ёлочка», и высотой грунтозацепов, превышающей поливную норму.

Ключевые слова: дождевальная машина, пневматическое колесо, высота профиля, тип протектора, почва, деформация, энергетические затраты

DOI: <https://doi.org/10.55186/2658-3569-2025-3-16-31>

EARTH SCIENCES



Submitted: 27.06.2025

Accepted: 03.11.2025

Published: 10.11.2025

On the issue of reducing energy costs for the movement of wide-range sprinklers

Anatoly I. Ryazantsev ¹ , Evgeny Yu. Evseev ² , Vladislav S. Travkin ³ ,
Alina R. Travkina ⁴ , Alexey I. Smirnov ⁵ , Igor V. Malko ⁶ 

^{1,2,5,6} State Social and Humanitarian University

^{1,3} The All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation and Agricultural Supply Systems "Raduga"

³ Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named
after A. N. Kostyakov

⁴ Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev

¹ e-mail: ryazantsev.41@mail.ru

² e-mail: evseev.evgeniy.1995@mail.ru

³ e-mail: vlad.travkin.1992@mail.ru

⁴ e-mail: gimazova.a@bk.ru

⁵ e-mail: aigsm@mail.ru

⁶ e-mail: centorion@yandex.ru

Abstract. The most in demand for irrigation of areas are wide-range sprinklers, for example, sprinkler machine Kuban-LK1, which operates in a circular motion, which occupies more than 15 % of the fleet of this type of equipment in the Russian Federation. Their operation in various operating conditions is characterized by complex soil and relief parameters due to high humidity, as well as the movement of running systems along the same trajectory (track) The article notes that the optimization of the parameters of the running systems of the Kuban-LK1 type multi-support sprinkler is based on the optimization of the irrigation surface-sprinkler system, which determines the parameters of track formation under the running systems of the machine, characterized by the height of the profile and types of tread. The issues of the influence of the soil squeezability index and the height of the soil hooks (depending on wear) of the pneumatic tires of sprinkler machine trolleys on the noted characteristics are considered. The data of analytical studies are presented, which make it possible to judge the practical applicability of tires with different profile heights under different operating conditions. At the same time, it is indicated that in order to reduce the energy costs of sprinkler machine movement, it seems advisable to use pneumatic wheels with a "stick" type tread instead of a standard "herringbone" type tread, and the height of the hooks exceeding the irrigation rate.

Key words: *sprinkler, pneumatic wheel, profile height, tread type, soil, deformation, energy costs*

DOI: <https://doi.org/10.55186/2658-3569-2025-3-16-31>

Введение. Развитие мелиорации земель в Российской Федерации сопряжено со сложной проблемой колееобразования при эксплуатации широкозахватной дождевальной техники. Согласно постановлению Правительства №731, фонд мелиорированных земель в РФ составляет около 9,47 млн гектаров, из них на площади с общими уклонами 0,02...0,10 приходится около 42,4% (Евсеев, 2023; Евсеев, Рязанцев, Антипов, 2020).

Наиболее востребованными для полива площадей являются широкозахватные дождевальные машины, типа «Кубань-ЛК1» (рисунок 1), работающие в движении по кругу, которая занимает более 15 % объемов парка подобного рода техники в Российской Федерации. Однако, несмотря на значительные преимущества ее использования, имеется и ряд недостатков.

Так, по результатам исследований, выявлены высокие показатели энергетических затрат при передвижении на сложных по рельефу участках. Это связано со значительным снижением несущей способности орошаемой поверхности в районе прохода тележек машины, вследствие переувлажнения почвенной поверхности, особенно в ее концевой части. Интенсивное буксование ходовых систем, приводит к изгибу трубопровода и, в конечном счете срабатыванию аварийной защиты. Указанный недостаток отражается на уменьшении коэффициента использования времени смены (Евсеев, Антипов, Рязанцев, 2020; Евсеев, Рязанцев, 2023; Рязанцев, Антипов, Евсеев, Смирнов, 2020; Рязанцев, Турапин, Евсеев, Антипов, 2022).



Рисунок 1. Общий вид дождевальной машины «Кубань-ЛК»

1 – неподвижная опора;
2 – ходовая тележка;
3 – центральный водопровод.

Figure 1. General view of the Kuban-LK sprinkler machine

1 – fixed support;
2 – running trolley;
3 – central water supply.

Материалы и методы. Работа подобного рода техники характеризуется сложными почвенно-рельефными условиями, обусловленными повышенной влажностью, а также движением ходовых систем по одной траектории. При этом важнейшим параметром, определяющим затраты на передвижение ходовых систем дождевальной техники, является удельное давление ходовых систем на почву, величина которого регламентируется ГОСТР 58655–2019 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву» (ГОСТ 17494–87). Согласно данному ГОСТу, приложенное напряжение пневматического колеса на почву не должно превышать 80 кПа. Однако, соответствие ходовых систем указанному критерию не гарантирует отсутствия образования, в процессе движения дождевальной машины, колеи глубиной 0,30...0,35 м, передвижение по которой сопряжено со значительными энергетическими затратами. Исходя из этого, цель исследования: снижение энергопотребления ходовыми системами тележек дождевальной машины, посредством уменьшения почвенной деформации и повышение эффективности ее работы (Рязанцев, Зазуля, Евсеев, Антипов, 2023; Рязанцев, Евсеев, Антипов, Бышов, Борычев, Рембалович, Костенко, Безносюк, 2022; Рязанцев, Турапин, Антипов, Антипов, Евсеев, 2022).

Согласно существующим положениям, для нагружений создаваемых колёсными движителями ходовой системы, передвигающимися по одной траектории, глубина образуемой колеи определяется зависимостью В.В. Кацыгина (1) (Баранский, 1968; Кравченко, Кравченко, 2022):

$$h_N = h_1 \times (1 + \beta \times \log N) \quad (1)$$

где: h_1 – глубина деформации после первого прохода ходовой системы при $N = 1$;

N – коэффициент накопления необратимой почвенной деформации.

Из выражения следует, что снижение глубины деформации h_1 приводит к пропорциональному уменьшению глубины колеи h_N для прохода номером N дождевальной машины. При этом h_1 определяется зависимостью (2), учитывающей отношение удельного давления на почву P и максимального значения P_0 – несущей способности, а также частное несущей способности P_0 и коэффициента объёмного смятия q (Рязанцев, Евсеев, Антипов, 2021; Соловьев, Горюнов, Гречечук, Загоруйко, Кузнецов, 2023).

$$h_1 = \frac{P_0}{q} \times \operatorname{arcth} \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

В силу вышеотмеченного, почвенная деформация, возникающая при проведении первого кругового полива h_1 влияет на значение колеи после каждого последующего

полива, поэтому снижение данного показателя является важным с точки зрения снижения энергетических затрат на передвижение (Соловьев, Камышова, Терехова, Бакиров, 2020; Евсеев, Рязанцев, Рембалович, Антипов, Мурог, 2023).

Особенностью формирования поверхностного слоя агрофона во время проведения первого полива является применение капельного режима орошения с большой интенсивностью дождя и диаметром капель $D = 1 \dots 1,5$ мм, при этом происходит водонасыщение внешнего и внутреннего пористого объёма почвенных образований агрофона. Таким образом, почва переходит в состояние максимальной полевой влагоёмкости, и высота образуемого слоя H является определяющей для глубины колееобразования. В силу низких прочностных свойств, указанный слой почвы полностью вытесняется колёсными движителями ходовой системы из формирующейся колеи.

Оценим значение H , в зависимости от высоты слоя осадков, поливной нормы m_M , начального значения влажности агрофона перед поливом W_0 , и объёма пор в почве, определяемого коэффициентом пористости агрофона ε .

Коэффициент пористости определяется отношением объёмов внутри единичного объёма по формуле (3) (Рязанцев, Евсеев, 2025а):

$$\varepsilon = \frac{n}{m'} n + m = 1 \quad (3)$$

где n – объём пор;

m – объём скелета грунта.

Существует связь (4):

$$\rho_c = \rho_{ck} \times m \quad (4)$$

где: ρ_c – вес единицы объёма (плотность) высушенного ($W_0 = 1$) агрофона;

ρ_{ck} – плотность частиц скелета грунта.

Соответственно (5, 6):

$$m = \frac{\rho_c}{\rho_{ck}} \quad (5)$$

$$n = 1 - \frac{\rho_c}{\rho_{ck}} \quad (6)$$

Тогда выражение коэффициента пористости примет следующий вид (7):

$$\varepsilon = \frac{n}{m} = \frac{1 - \frac{\rho_c}{\rho_{ck}}}{\frac{\rho_c}{\rho_{ck}}} = \frac{\rho_{ck} - \rho_c}{\rho_c} \quad (7)$$

В общем случае влажность почвы W (%) определяется выражением (8):

$$W = \frac{m_B}{m_c} \times 100\% \quad (8)$$

где: m_B – масса воды, содержащаяся в почвенном образце единичного объёма;

m_c – сухая масса почвенного образца единичного объёма.

Значение W_1 для максимально увлажнённого состояния характеризуется

заполнением всех существующих пор объёма n водой.

Масса воды m_B в этом состоянии равна произведению плотности воды ρ_B и части занимаемого порами единичного объёма n (9) (Рязанцев, Евсеев, 2025б):

$$m_B = \rho_B \times n \quad (9)$$

Масса m_C сухого грунта в единичном объёме равна произведению плотности скелета ρ_{CK} и части занимаемого скелетом единичного объёма m (10) (Рязанцев, Ольгаренко, Городничев, Рогачев, Каштанов, 2006):

$$m_C = \rho_{CK} \times m \quad (10)$$

Выражение влажности W_1 состояния максимальной полевой влагоёмкости агрофона имеет вид (11):

$$W_1 = \frac{m_B}{m_C} = \frac{\rho_B \times n}{\rho_{CK} \times m} = \frac{\rho_B}{\rho_{CK}} \times \varepsilon = \frac{\rho_B}{\rho_{CK}} \times \frac{\rho_{CK} - \rho_C}{\rho_C} \quad (11)$$

Толщина формирующегося увлажнённого слоя зависит от начальной влажности почвы перед началом полива W_0 . Если определить разницу между максимальной влажностью W_1 и начальной W_0 , затем умножить на плотность сухого грунта агрофона ρ_C , то будет получена масса воды, необходимая для достижения объёмом водонасыщенного состояния. Если это количество разделить на плотность воды ρ_B , то будет получена та часть единичного объёма,

которая необходима для достижения водонасыщенного состояния W_1 , при начальной влажности W_0 (12) (Ryazantsev, Antipov, Smirnov, Evseev, Akhtyamov, Rembalovich, 2019).

$$k_B = \frac{W_1 - W_0}{\rho_B} W_0 \quad (12)$$

Обратная величина k_Y характеризует процесс преобразования слоя осадков высотой m_M в толщину H прослойки агрофона, находящегося в состоянии максимального водонасыщения (13, 14, 15):

$$H = k_Y \times m_M \quad (13)$$

$$k_Y = \frac{1}{k_B} = \frac{\rho_B}{\rho_C} \times \frac{1}{W_1 - W_0} \quad (14)$$

$$H = \frac{\rho_B}{\rho_C} \times \frac{m_M}{W_1 - W_0} \quad (15)$$

подставим W_1 в выражение 13, тогда H , будет иметь вид (16):

$$H = \frac{\rho_B}{\rho_C} \times \frac{m_M}{\frac{\rho_B \times \rho_{CK} - \rho_C}{\rho_C} - W_0} \quad (16)$$

Учитывая особенности конструкции дождевального пояса, состоящие в формировании колеи, агрофон, при обработке половиной поливной нормой m_M , это значение необходимо принимать в два раза меньше.

Зависимость толщины деформируемого поверхностного слоя почвы в состоянии максимальной полевой влагоёмкости H

от нормы полива m_M , и начальной влажности W_0 имеет следующий вид (17):

$$H = \frac{\rho_v}{2 \times \rho_c} \times \frac{m_M}{\frac{\rho_v \times \rho_{ск} - \rho_c}{\rho_{ск} \times \rho_c} - W_0} \quad (17)$$

С учётом экспериментальных данных для нормы полива m_M с высотой слоя осадков 50 мм (типовой режим орошения 500 м³/га), влажности почвы при первом поливе $W_0 = 20,55\%$ (0,2055), плотностей высушенного агрофона $\rho_c = 875$ кг/м³, скелета грунта $\rho_{ск} = 2750$ кг/м³, воды $\rho_v = 1000$ кг/м³, высота слоя в состоянии максимальной полевой влагоёмкости H составит:

$$H = \frac{1000}{2 \times 875} \times \frac{50}{\frac{1000 \times 2750 - 875}{2750 \times 875} - 0,2055} = 49,73 \text{ мм}$$

Результаты. На основании проведённой оценки толщина водонасыщенного слоя H практически соответствует поливной норме, высоте m_M , при отклонении менее 5% (СТО АИСТ 11.1 – 2010).

Таким образом, для первого полива дождевальная машина, поверхность передвижения ходовой системы представляет собой переувлажнённый почвенный слой в состоянии максимальной полевой влагоёмкости, с низкими прочностными свойствами, толщина которого зависит от высоты слоя осадков, и соответствует ей, составляя значения от 10 до 50 мм, при нормах полива от 100 до 500 м³/га.

Под действием колёсных движителей верхний почвенный слой полностью выдавливается из области контакта, осуществляемого между нижней поверхностью пневмошины и нижележащим слоем агрофона, несущая способность которого ($P_0 = 200$ кПа, при $W_0 = 20,55\%$ в начале полива) определяет добавленную к высоте H , глубину погружения в него ходовой системы с удельным давлением, в соответствии с ГОСТом принятым 75 кПа.

Исходя из изложенного, для уменьшения значения почвенной деформации при первом проходе h_1 , целесообразно сохранение в следе колеи почвы из поверхностного переувлажнённого слоя, с помощью опоры грунтозацепов пневмошины на нижележащий упругий слой агрофона, используя соответствующую конфигурацию протектора, определяемую его рисунком и высотой.

Обсуждение. Давление P создаваемое грунтозацепами на слой с несущей способностью $P_0 = 200$ кПа определяется рисунком протектора, а именно частью общей площади контакта пневмоколеса, которую занимает суммарная площадь грунтозацепов в плоскости горизонта. Если удельное давление грунтозацепов менее предельного значения P_0 , то глубина их погружения определяется зависимостью (2). Если высота протектора больше поливной нормы m_M на глубину погружения

грунтозацепов, то суммарная величина погружения будет равна нулю, и передвижение основы пневмоколеса ходовой системы будет осуществляться в плоскости поверхности агрофона.

Однако при этом следует учесть, что верхний слой сохраняется лишь частично,

если при отношении площади пятна контакта к площади грунтозацепов, равно 2 (рисунок 2), в объёме колеи остаётся половина почвы переувлажненного верхнего слоя, которая следующим сзади вторым колесом ходовой системы, разравнивается и распределяется более равномерно.



Рисунок 2. Пневматические шины с протектором типа «клюшка».

Figure 2. Pneumatic tires with a "stick" type tread.

В итоге суммарный деформированный (частично выдавленный) пневматическим колесом объём, будет равен произведению площади контакта и суммы половины высоты слоя осадков и половины глубины погружения грунтозацепов с удельным давлением 150 кПа, на поверхности агрофона с несущей способностью $P_0 = 200$ кПа.

Если отношение площади пятна контакта к площади грунтозацепов равно 3 (рисунок 3), то увеличение высоты

протектора приведёт к возрастанию деформируемого объёма, так как давление грунтозацепов превысит предельное значение 200 кПа, и общий объём почвы, сдеформированный ходовой системой (в том числе выдавленный), будет равен площади пятна контакта, умноженной на сумму: полной высоты слоя H , третьей части высоты протектора, и глубины погружения ходовой с удельным давлением 75 кПа на поверхность агрофона с несущей способностью 200 кПа.



Рисунок 3. Пневмошина с протектором типа «ёлочка».

Figure 3. Pneumatic tire with herringbone tread.

Расчёты показали, что разницей между обоими вариантами в части упругой реакции агрофона можно пренебречь, следовательно: с целью максимального снижения почвенной деформации, возникающей при работе многоопорной дождевальная машины, представляется целесообразным использование конфигурации протектора пневматических шин с отношением общей площади контакта к площади занимаемой протектором, равным 2, и высотой

протектора более поливной нормы (толщины слоя осадков).

При выполнении указанных рекомендаций возможно уменьшение глубины колеи в процессе работы ДМ около 50%.

Таким образом, для снижения энергетических затрат на передвижение ДМ представляется целесообразным использование пневматических колес с протектором типа «кляушка» вместо стандартного протектора типа «ёлочка», и высотой грунтозацепов, превышающей поливную норму.

Сведения об авторах

Рязанцев Анатолий Иванович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник отдела систем орошения дождеванием, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга»; **ORCID:** [0000-0002-9829-8196](https://orcid.org/0000-0002-9829-8196);

E-mail: ryazantsev.41@mail.ru

Евсеев Евгений Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем, теории и методики образовательных процессов ГОУ ВО МО «Государственный социально-гуманитарный университет»; **ORCID:** [0000-0002-6133-2661](https://orcid.org/0000-0002-6133-2661);

E-mail: evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Травкин Владислав Сергеевич – младший научный сотрудник отдела сельскохозяйственного водоснабжения, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга»; аспирант отдела мелиорации, ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»; **ORCID:** [0009-0002-1052-0125](https://orcid.org/0009-0002-1052-0125);

E-mail: vlad.travkin.1992@mail.ru

Травкина Алина Рафиковна – магистрант технологического факультета, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева»; **ORCID:** [0009-0001-0770-4292](https://orcid.org/0009-0001-0770-4292); **E-mail:** gimazova.a@bk.ru

Смирнов Алексей Игоревич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технических систем, теории и методики образовательных процессов ГОУ ВО МО «Государственный социально-гуманитарный университет»;

ORCID: [0009-0000-6880-2147](https://orcid.org/0009-0000-6880-2147); **E-mail:** aigsm@mail.ru

Малько Игорь Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технических систем, теории и методики образовательных процессов ГОУ ВО МО «Государственный социально-гуманитарный университет»;

ORCID: [0009-0009-9128-6975](https://orcid.org/0009-0009-9128-6975); **E-mail:** centorion@yandex.ru

Information about the authors

Anatoly I. Ryazantsev – Doctor of technical sciences, professor, honored scientist of the Russian Federation, chief researcher at the department of sprinkler irrigation systems, Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply "Raduga"; **ORCID:** [0000-0002-9829-8196](https://orcid.org/0000-0002-9829-8196);

E-mail: ryazantsev.41@mail.ru

Evgeny Yu. Evseev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes at the State Social and Humanitarian University; **ORCID:** [0000-0002-6133-2661](https://orcid.org/0000-0002-6133-2661);

E-mail: evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Vladislav S. Travkin – junior researcher at the department of agricultural water supply, Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply 'Raduga"; postgraduate student at the department of land reclamation, Federal State Budgetary Scientific Institution "A. N. Kostyakov Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation"; **ORCID: 0009-0002-1052-0125**;
E-mail: vlad.travkin.1992@mail.ru

Alina R. Travkina – master's student at the faculty of technology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev"; **ORCID: 0009-0001-0770-4292**; **E-mail: gimazova.a@bk.ru**

Alexey I. Smirnov – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes of the State Educational Institution of Higher Education, State University of Social Sciences and Humanities; **ORCID: 0009-0000-6880-2147**; **E-mail: aigsm@mail.ru**

Igor V. Malko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes, State University of Higher Education, State University of Social Sciences and Humanities;
ORCID: 0009-0009-9128-6975; **E-mail: centorion@yandex.ru**

© Рязанцев А. И., Евсеев Е. Ю., Травкин В. С., А. Р. Травкина, Смирнов А. И., Малько И. В., 2025

Для цитирования: Рязанцев А. И., Евсеев Е. Ю., Травкин В. С., А. Р. Травкина, Смирнов А. И., Малько И. В. К вопросу снижения энергетических затрат на передвижение широкозахватных дождевальных машин // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral», No 3/2025 <https://doi.org/10.55186/2658-3569-2025-3-16-31>, EDN: LGTDGQ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранский А. Н. Улучшение эксплуатационных показателей и использования колесных тракторов // Минск: Урожай, 1968. – 256 с.
2. ГОСТ 17494–87 (МЭК 34-5-81) (СТ СЭВ 247-85) Машины электрические вращающиеся. Классификация степеней защиты, обеспечиваемых оболочками вращающихся электрических машин (С Изменением N 1) // М.: Издательство стандартов, 1988. – 16 с.
3. Евсеев Е. Ю., Антипов А. О., Рязанцев А. И. Усовершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов многоопорных дождевальных машин // Вестник Мелиоративной Науки. – 2020. – № 3. – С. 36–39. – EDN: JTPDPM
4. Евсеев Е. Ю., Рязанцев А. И. Повышение производительности многофункциональной машины кругового действия на склонах // Вестник Рязанского Государственного Агротехнологического Университета Им. П. А. Костычева. – 2023. – № 4-15. – С. 121–127. – DOI: 10.36508/RSATU.2023.92.77.016. EDN: VPSSQO
5. Евсеев Е. Ю. Повышение эффективности применения многофункциональной машины на склоновых площадях // Нива Поволжья. – 2023. – № 2(66). – №:3003. – DOI: 10.36461/NP.2023.66.2.005. EDN: JDPPNM
6. Евсеев Е. Ю., Рязанцев А. И., Антипов А. О. Регулирование водоотдачи ДМ "Кубань – ЛК1" на склоновых участках // Материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина. ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева, Совет молодых ученых. Рязань, 2020. – С. 83–88. – EDN: MMHRUL
7. Кравченко В. А., Кравченко Л. В. Результаты испытаний основных сельскохозяйственных агрегатов с упругодемпфирующим механизмом в силовой передаче мобильного энергетического средства класса 1,4 // Вестник Аграрной Науки Дона. – 2022. – № 3–15(59). – С. 15–25. – DOI: 10.55618/20756704_2022_15_3_15-25. EDN: BULSCG
8. Рязанцев А. И., Антипов А. О., Евсеев Е. Ю., Смирнов А. И. Направления совершенствования регулирующих устройств для многоопорных дождевальных машин кругового действия типа "Кубань-ЛК1" // Современное состояние, приоритетные задачи и перспективы развития аграрной науки на мелиорированных землях Материалы международной научно-практической конференции. Том Часть 2. Тверь, 2020. – С. 155–159. – EDN: FTKPLE
9. 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. 6–9. – DOI: 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10. EDN: DJWYGY
10. Рязанцев А. И., Зазуля А. Н., Евсеев Е. Ю., Антипов А. О. Оценка энергетических показателей усовершенствованного привода многоопорных дождевальных машин, типа "Кубань-ЛК1" // Наука в Центральной России. – 2023. – № 6(66). – С. 62–70. – DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-62-70. EDN: WXSNDX
11. Рязанцев А. И., Евсеев Е. Ю., Антипов А. О., Бышов Н. В., Борычев С. Н., Рембалович Г. К., Костенко М. Ю., Безносюк Р. В. // Патент № 2770811 С1 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Многоопорная дождевальная машина кругового действия: № 2020144291. заявл.

- 29.12.2020. опублик. 22.04.2022. Заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева". – EDN: TGXCWZ
12. Рязанцев А. И., Турапин С. С., Антипов А. О., Антипов О. В., Евсеев Е. Ю. // Патент № 2782270 С2 Российская Федерация, МПК А01G 25/09, В60В 15/26. многоопорная дождевальная машина кругового действия: № 2020142412. заявл. 21.12.2020. опублик. 25.10.2022. Заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга". – EDN: OGLVIQ
13. Рязанцев А. И., Евсеев Е. Ю. // Патент № 2838279 С1 Российская Федерация, МПК В60В 15/26, А01G 25/09. Самоходная тележка многоопорной дождевальной машины: заявл. 07.11.2024. опублик. 14.04.2025. Заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга". – EDN: LANRKA.
14. Рязанцев А. И., Евсеев Е. Ю. // Патент на полезную модель № 233081 U1 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Тележка многоопорной дождевальной машины для спокойного рельефа: заявл. 14.02.2025. опублик. 03.04.2025. Заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга". – EDN: ХТКJАQ.
15. Рязанцев А. И., Ольгаренко Г. В., Городничев В. И., Рогачев А. А., Каштанов В. В. // Патент на полезную модель № 54287 U1 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Многоопорная малоэнергоемкая дождевальная машина кругового действия с электроприводом: № 2004135861/22. заявл. 08.12.2004. опублик. 27.06.2006. Заявитель Федеральное государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга" (ФГНУ ВНИИ "Радуга"). – EDN: TGOLVY
16. Рязанцев А. И., Евсеев Е. Ю., Антипов А. О. Особенности работы дождевальной машины "Кубань - ЛК1" на склоновых площадях // Экология и Строительство. – 2021. – № 3. – С. 22–29. – DOI: 10.35688/2413-8452-2021-03-002. EDN: SOQOTC
17. Соловьев Д. А., Горюнов Д. Г., Гречечук Ю. Н., Загоруйко М. Г., Кузнецов Р. Е. Организация участка орошения для эффективной эксплуатации дождевальной машины "Каскад 65Т" // Природообустройство. – 2023. – № 1. – С. 28–32. – DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-28-32. EDN: KZMAEV
18. Соловьев Д. А., Камышова Г. Н., Терехова Н. Н., Бакиров С. М. Моделирование нейроуправления скоростью дождевальных машин // Аграрный Научный Журнал. – 2020. – № 7. – С. 81–84. – DOI: 10.28983/asj.y2020i7pp78-84. EDN: UJRKWT
19. СТО АИСТ 11.1 – 2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей // М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 54 с.
20. Евсеев Е. Ю., Рязанцев А. И., Рембалович Г. К., Антипов А. О., Мурог И. А. Технические решения по повышению производительности многофункциональной машины кругового действия на склоновых участках // Вестник Рязанского Государственного Агротехнологического Университета Им. П. А. Костычева. – 2023. – № 2-15. – С. 119–124. – DOI:

10.36508/RSATU.2023.72.87.016. EDN:
ZMYSJF

21. Ryazantsev A. I., Antipov A. O., Smirnov A. I., Evseev E. Y., Akhtyamov A. A., Rembalovich G. K. Technological features of irrigation and assessment indicators of

multibasic irrigation machines running systems efficiency (on the example of im Kuban-LK1) // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019;8-8-3:404-406. EDN: XJMGHB

REFERENCES

1. Baranskij A. N. Improving the performance and use of wheeled tractors // Minsk: Harvest. 1968. – 256 p. (In Russ.)
2. GOST 17494-87 (IEC 34-5-81) (ST SEV 247-85) Rotating electric machines. Classification of degrees of protection provided by enclosures of rotating electric machines (With Amendment No. 1) // Moscow: Publishing House of Standards. 1988. – 16 p. (In Russ.)
3. Evseev E. Yu., Antipov A. O., Ryazantsev A. I. Improvement of the flow regulator of sprinkler units of multi-support sprinkler machines // Bulletin of Ameliorative Science. 2020;3:36-39. (In Russ.)
4. Evseev E. Yu., Ryazantsev A. I. Improving the performance of a multi-function circular action machine on slopes // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University Named After P. A. Kostychev. 2023;4-14:121-127. (In Russ.)
<https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.92.77.016>
5. Evseev E. Yu. Increasing the efficiency of the use of a multifunctional machine on sloping surfaces // Niva Povolzhya. 2023;2(66):3003. (In Russ.)
<https://doi.org/10.36461/NP.2023.66.2.005>
6. Evseev E. Yu., Ryazantsev A. I., Antipov A. O. Water yield regulation for the Kuban-LK1 DM fertilizer on slopes // Proceedings of the All-Russian National Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the birth of Professor Anatoly Mikhailovich Lopatin, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev, Council of Young Scientists. Ryazan. 2020. – p. 83–88. (In Russ.)
7. Kravchenko V. A., Kravchenko L. V. Test results of the main agricultural aggregates with an elastic-damping mechanism in the power transmission of the mobile power tool of traction class 1,4 // Don Agrarian Science Bulletin. 2023;3-15(59):15-25. (In Russ.)
8. Ryazantsev A. I., Antipov A. O., Evseev E. Yu., Smirnov A. I. Directions for Improving Control Devices for Multi-Support Pivot Irrigation Machines of the "Kuban-LK1" Type // Current Status, Priority Tasks, and Prospects for the Development of Agricultural Science on Reclaimed Lands. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Volume Part 2. Tver. 2020. – p. 155–159. (In Russ.)
9. Ryazantsev A. I., Turapin S. S., Evseev E. Y., Antipov A. O. Justification of the regulation of the flow of sprinklers of wide-reach circular machines // Land Reclamation and Water Management. 2022;3:6-9. (In Russ.) <https://doi.org/10.32962/0235-2524-2022-3-6-10>
10. Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Antipov A. Evaluation of energy indicators of the improved drive of multi-support sprinklers, such as "Kuban-LK1 // Science in the Central Russia. 2023;6(66):62-70. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-62-70>
11. Ryazantsev A. I., Evseev E. Yu., Antipov A. O., Byshov N. V., Borychev S. N., Rembalovich G. K., Kostenko M. Yu., Beznosyuk R. V. Patent No. 2770811 C1 Russian Federation, IPC A01G 25/09. Multi-support pivot irrigation machine: No. 2020144291. Declared 29.12.2020. Published 22.04.2022. Applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev". (In Russ.)
12. Ryazantsev A. I., Turapin S. S., Antipov A. O., Antipov O. V., Evseev E. Yu. Patent No. 2782270 C2 Russian Federation, IPC A01G 25/09, B60B 15/26. Multi-support pivot irrigation machine: No. 2020142412. Declared 21.12.2020. Published 25.10.2022. Applicant Federal State Budgetary Scientific

- Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga". (In Russ.)
13. Ryazantsev A. I., Evseev E. Yu. Patent No. 2838279 C1 Russian Federation, IPC B60B 15/26, A01G 25/09. Self-propelled trolley of a multi-support irrigation machine. Declared 07.11.2024. Published 14.04.2025. Applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga". (In Russ.)
 14. Ryazantsev A. I., Evseev E. Yu. Utility Model Patent No. 233081 U1 Russian Federation, IPC A01G 25/09. Multi-support irrigation machine trolley for calm terrain. Declared 14.02.2025. Published 03.04.2025. Applicant: Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga". (In Russ.)
 15. Ryazantsev A. I., Ol'garenko G. V., Gorodnichev V.I., Rogachev A. A., Kashtanov V. V. Utility Model Patent No. 54287 U1 Russian Federation, IPC A01G 25/09. Multi-support low-energy circular irrigation machine with electric drive: No. 2004135861/22. Declared 08.12.2004. Published 27.06.2006. Applicant Federal State Scientific Institution All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga" (FSSI VNII "Raduga"). (In Russ.)
 16. Ryazancev A. I., Evseev E. Yu., Antipov A. O. The operation features of the center-pivot sprinkler machine "Kuban-LK1" on sloping lands // Ecology and Construction. 2021;3:22-29. (In Russ.)
<https://doi.org/10.35688/2413-8452-2021-03-002>
 17. Solovyev D. A., Goryunov D. G., Grepechuk Yu. N., Zagoruiko M. G., Kuznetsov R. E. Organization of the irrigation site for the effective operation of the "Cascade 65T" sprinkler machine // Nature Management. 2023;1:28-32. (In Russ.)
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-1-28-32>
 18. Solovyev D. A., Kamyshova G. N., Terekhova N. N., Bakirov S. M. Simulation of speed neural control for irrigation machines // The Agrarian Scientific Journal. 2020;7:81-84. (In Russ.)
<https://doi.org/10.28983/asj.y2020i7pp78-84>
 19. STO AIST 11.1 – 2010. Testing of agricultural machinery. Irrigation machines and installations. Methods for assessing functional indicators // Moscow: Federal State Budgetary Scientific Institution "Rosinformagrotekh", 2012. – 54 p.
 20. Evseev E. Yu., Ryazantsev A. I., Rembalovich G. K., Antipov A. O., Murog I. A. Technical solutions to improve the performance of a multifunctional circular machine on sloping areas // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University Named After P. A. Kostychev. 2023;2-15:119-124. (In Russ.)
<https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.72.87.016>
 21. Ryazantsev A. I., Antipov A. O., Smirnov A. I., Evseev E. Y., Akhtyamov A. A., Rembalovich G. K. Technological features of irrigation and assessment indicators of multibasic irrigation machines running systems efficiency (on the example of im Kuban-LK1) // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019;8-8-3:404-406. (In Eng.)