

Научная статья

Original article

УДК 631.347:531.3

doi: 10.55186/2413046X_2026_11_1_9

edn: JBHWDT

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ «КУБАНЬ-
ЛК1» С УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ
ECONOMIC EFFICIENCY OF USING THE KUBAN-LK1 CIRCULAR
SPRINKLER WITH AN IMPROVED RUNNING SYSTEM**



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» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ Коломна, посёлок Радужный, 38), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9829-8196>, ryazantsev.41@mail.ru

Евсеев Евгений Юрьевич, кандидат технических наук, научный сотрудник отдела систем орошения дождеванием, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ Коломна, посёлок Радужный, 38) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6133-2661>, evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Травкин Владислав Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела сельскохозяйственного водоснабжения, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ

Травкина Алина Рафиковна, младший научный сотрудник отдела сельскохозяйственного водоснабжения, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ Коломна, посёлок Радужный, 38), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0770-4292>, gimazova.a@bk.ru

Ryazantsev Anatoly Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief Researcher of the Department of Irrigation Systems by Sprinkling, Federal State Budgetary Budgetary Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga" (140483, Russia, Kolomna, Kolomna city district, Raduzhny settlement, 38), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9829-8196> , ryazantsev.41@mail.ru

Yevseyev Evgeny Yuryevich, Candidate of Technical Sciences, Researcher at the Department of Irrigation Systems by Sprinkling, Federal State Budgetary Budgetary Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga" (140483, Russia, Kolomna, Kolomna city district, Raduzhny settlement, 38) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6133-2661> , evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Vladislav Sergeyevich Travkin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Department of Agricultural Water Supply, Raduga All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply (38 Raduzhny Settlement, Kolomna, Kolomna City District, 140483, Russia), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1052-0125>, vlad.travkin.1992@mail.ru

Travkina Alina Rafikovna, Junior Researcher at the Department of Agricultural Water Supply, Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply «Raduga» (38,

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема снижения эффективности широкозахватных многоопорных дождевальных машин (ДМ) кругового действия в условиях российского сельского хозяйства, на примере модели «Кубань-ЛК1». Ключевой причиной негативных тенденций (снижение урожайности, рост энергозатрат, деградация почвы) признано интенсивное образование глубоких колей тяжелой ходовой системой, что особенно проявляется при длительной эксплуатации техники.

Для решения проблемы предлагается и обосновывается комплексный подход, сочетающий оснащение ДМ дисковыми заравнивающими устройствами и последующую оптимизацию параметров самой ходовой системы. Представлены результаты теоретического анализа баланса мощности и сил сопротивления движению тележки, показывающие значительные резервы для снижения энергопотребления (до 30%) за счет уменьшения потерь на качение.

Экспериментально подтверждена эффективность специально разработанного заравнивающего устройства, которое обеспечивает качественное выравнивание колеи, повышая несущую способность почвы для последующих проходов. Это создает условия для модернизации ходовой части, в том числе за счет применения более узкопрофильных шин.

Экономическая оценка предложенных мероприятий демонстрирует значительный эффект. Суммарная экономия на одной машине превышает 840 тыс. рублей и складывается из снижения капитальных вложений (удешевление машины и токопроводящего кабеля) и увеличения дохода за счет высвобождения посевной площади и повышения урожайности. Выводы работы свидетельствуют о технической и экономической целесообразности внедрения предложенных решений для продления срока службы парка дождевальной техники и повышения эффективности орошаемого земледелия.

Abstract. The article discusses the actual problem of reducing the efficiency of wide-range multi-support circular sprinkler machines (DM) in the conditions of Russian agriculture, using the example of the Kuban-LK1 model. The key reason for the negative trends (decreased yields, increased energy consumption, soil degradation) is the intensive formation of deep ruts by the heavy running system, which is especially evident during long-term operation of machinery.

To solve the problem, an integrated approach is proposed and justified, combining the equipping of DM with disk leveling devices and the subsequent optimization of the parameters of the driving system itself. The results of a theoretical analysis of the balance of power and forces resisting trolley movement are presented, showing significant reserves for reducing energy consumption (up to 30%) by reducing rolling losses.

The effectiveness of a specially designed leveling device has been experimentally confirmed, which ensures high-quality alignment of the track, increasing the bearing capacity of the soil for subsequent passes. This creates conditions for the modernization of the chassis, including through the use of more narrow-profile tires.

The economic assessment of the proposed measures demonstrates a significant effect. The total savings per machine exceed 840 thousand rubles and consist of a reduction in capital investments (cheaper machines and conductive cables) and an increase in income due to the release of acreage and increased yields. The conclusions of the work indicate the technical and economic feasibility of implementing the proposed solutions to extend the service life of the sprinkler equipment fleet and increase the efficiency of irrigated agriculture.

Ключевые слова: дождевальная машина «Кубань-ЛК1», многоопорная ходовая система, колеебразование, сопротивление качению, заравнивающее устройство, несущая способность почвы, баланс мощности, экономическая эффективность, орошающее земледелие

Keywords: Kuban-LK1 sprinkler, multi-bearing running system, track formation, rolling resistance, leveling device, soil bearing capacity, power balance, economic efficiency, irrigated agriculture

Введение. Современный аграрный сектор России характеризуется сложной, гетерогенной структурой, сочетающей крупные агрохолдинги, средние предприятия и малые формы хозяйствования [1]. Такая диверсификация оказывает прямое влияние на технологическую оснащенность и подходы к мелиорации земель. На протяжении ряда последних лет устойчивую негативную динамику демонстрирует объем сельскохозяйственной продукции, получаемой с орошаемых угодий, что свидетельствует о системных проблемах в данной сфере [2].

Ключевым элементом инфраструктуры полива в стране остаются широкозахватные дождевальные машины кругового типа, такие как «Фрегат» (рисунок 1, а) и «Кубань-ЛК1» (рисунок 1, б). Несмотря на моральное и техническое устаревание их конструктивных решений, значительная часть этого парка продолжает эксплуатироваться, зачастую превышая нормативный срок службы в 10 лет [3]. Продолжительная работа на износ напрямую коррелирует с ухудшением равномерности и качества орошения, что, в свою очередь, ведет к двум взаимосвязанным последствиям: стагнации или снижению урожайности культур и прогрессирующей деградации почвенного покрова – его уплотнению, эрозии и потере структуры [4]. Таким образом, физический износ основных мелиоративных активов становится одним из факторов, ограничивающих потенциал орошаемого земледелия и устойчивость агроэкосистем.



а

б

а – ДМ «Фрегат», б – ДМ «Кубань-ЛК1»

Рисунок 1 – Общий вид широкозахватных дождевальных машин «Фрегат» и «Кубань-ЛК1»

Для преодоления сложившейся кризисной ситуации в орошаемом земледелии, актуальной для всех типов сельхозпроизводителей, требуется реализация стратегии планомерного восстановления и модернизации парка дождевальной техники [5]. Ключевым элементом такой стратегии является не просто ремонт, а глубокая техническая модернизация с интеграцией современных научных разработок, направленная на системное повышение эффективности. Комплекс подобных мероприятий позволит минимизировать операционные потери воды и энергии, улучшить экологические параметры работы поливных систем и, как следствие, снизить антропогенную нагрузку на агроландшафты [6]. Реализация данного подхода способна не только вернуть оборудование в рабочее состояние, но и существенно продлить его жизненный цикл, добавляя к сроку службы от пяти до восьми лет [7].

Особое значение в этом контексте приобретает совершенствование многоопорных дождевальных машин кругового действия, в частности, модели ДМ «Кубань-ЛК1», которая получила широкое распространение в различных регионах благодаря удачному сочетанию конструктивной

простоты, технологичности в обслуживании и общей эксплуатационной надежности [8].

Однако эта техника обладает рядом специфических недостатков, осложняющих ее применение по сравнению с другими типами дождевателей [9]. Основная проблема заключается в большой массе движущейся конструкции, которая при каждом цикле движения формирует систему глубоких концентрических колей. Эти колеи не только серьезно затрудняют проведение последующих полевых работ, в частности уборку урожая, но и негативно сказываются на работоспособности самой сельскохозяйственной техники [10]. Обеспечение устойчивого движения и необходимого сцепления с грунтом на всем протяжении поливного цикла (для типового участка около 72 га) становится критически важной задачей. Ее решение осложняется естественной неоднородностью почвенно-мелиоративных условий: переменными прочностными характеристиками грунта в зоне контакта и неровностями рельефа [11]. Именно эти факторы формируют основной вектор изысканий – поиск решений по оптимизации ходовой системы, конечной целью которых является снижение энергетических и материальных затрат на перемещение машины.

В связи с этим возникает комплексная исследовательская задача, требующая детального изучения почвенных условий с учетом локальных особенностей рельефа и поиска инженерных методов гарантированного обеспечения необходимой проходимости колесных движителей [12]. Геометрия формируемой колеи и исходная плотность почвы являются ключевыми параметрами, напрямую влияющими на качество распределения воды и общую эффективность работы дождевального агрегата. Эта эффективность, измеряемая в энергетических и материальных затратах, напрямую зависит от слаженности и бесперебойности функционирования всех элементов ходовой части. В современной практике для борьбы с колеообразованием применяются два принципиальных подхода: снижение

удельного давления ходовой системы на грунт либо искусственное повышение несущей способности самой почвенной поверхности [13]. Второй путь подразумевает проведение специальных агротехнических мероприятий, направленных на укрепление верхнего слоя почвы.

Для машины ДМ «Кубань-ЛК1» одним из наиболее экономичных и практических способов улучшения проходимости признан метод оперативной засыпки колеи с помощью навесных заравнивающих устройств, конструкция которых может варьироваться в зависимости от принятого режима полива. Однако на сегодняшний день отсутствует научно обоснованная технология такого заравнивания, а также комплексная методика оптимизации параметров как самих колесных движителей, так и рабочих органов заравнивателей [14]. Данное обстоятельство определяет актуальность и необходимость проведения целенаправленных исследований, ориентированных на глубокую модернизацию ходовой системы дождевальной машины. Конечной целью этих исследований является разработка технических решений, обеспечивающих минимальные затраты энергии и материалов на процесс качения машины по полю.

Цель и задачи исследования

Цель работы: комплексное повышение эксплуатационно-технических характеристик дождевальной машины «Кубань-ЛК1» на основе научного обоснования рациональных параметров её ходовой системы.

Задачи исследования:

1. Провести анализ реальных условий эксплуатации многоопорных дождевальных машин кругового действия, уделив особое влиянию режима орошения на процесс образования и последующего заравнивания технологической колеи.
2. Разработать теоретическую модель и обосновать ключевые конструктивные параметры ходовой системы, исходя из критерия предельной

несущей способности почвенного основания в зоне повторного прохода колесных движителей.

3. Выполнить программу экспериментальных исследований, направленных на верификацию теоретических положений и оценку эффективности работы модернизированной ходовой системы в натурных условиях.
4. Дать количественную оценку экономической эффективности от внедрения усовершенствованной дождевальной машины, оснащенной оптимизированной ходовой системой, рассчитав ожидаемый экономический эффект.

Материалы и методы. Оптимизация ресурсопотребления в процессе орошения, а именно сокращение расхода материалов и энергии при работе машин типа «Кубань-ЛК1», представляет собой стратегически значимый резерв для роста рентабельности агропромышленного производства [15]. Рациональное использование данных ресурсов создает двойной экономический эффект: с одной стороны, оно ведет к снижению операционных затрат на единицу поливной площади, а с другой – способствует наращиванию валового объема продукции за счет повышения урожайности возделываемых культур.

Оценка эффективности ДМ «Кубань-ЛК1» связана с удельными значениями материалоёмкости, энергоёмкости и обобщённого показателя (N_{nm}). Значения удельной материалоёмкости ($m_{уд.}$) и энергоёмкости ($N_{уд.}$) характеризуют соответственно материальные (m) и энергетические (N) затраты, отнесённые к максимальной производительности ДМ (W_q). Значение обобщённого показателя определяется выражением [16]:

$$N_{nm} = \frac{N_{уд.} \times m_{уд.}}{W_q^2}, \quad (1)$$

Оптимизация конструкции и параметров ходовой части дождевальной машины направлена, в конечном счете, на достижение минимума величины интегрального оценочного показателя (N_{nm}). Таким образом, ключевым вектором модернизации является разработка технических решений,

обеспечивающих последовательное снижение данного комплексного критерия эффективности.

Основная доля электроэнергии, потребляемой многоопорной дождевальной установкой во время работы, уходит на компенсацию сил, противодействующих ее движению ($N_{\text{дв}}$). Величина этой мощности определяется как суммарная нагрузка на электроприводы всех движущихся опор и описывается зависимостью (2) [17]:

$$N_{\text{дв}} = \sum_{i=1}^{i=m} N_{ei}, \quad (2)$$

где N_{ei} – электрическая мощность, потребляемая электродвигателем i -й тележки, кВт;

m – общее количество самоходных колесных опор (тележек), шт.

Энергетический баланс для привода отдельной тележки, отражающий распределение потребляемой мощности по видам сопротивлений, представляется уравнением (3) [18]:

$$N_e = N_{\text{тр}} + N_f + N_p + N_\delta, \quad (3)$$

где N_e – полная электрическая мощность на валу электродвигателя, кВт, рассчитываемая как $N_e = \frac{P_k \times V}{360 \times \eta}$;

P_k – тяговое (касательное) усилие на ободе ведущего колеса, Н; V – фактическая скорость движения тележки, м/мин; η – общий коэффициент полезного действия механической части привода;

$N_{\text{тр}}$ – мощность, теряемая в передачах привода (внутренние потери), кВт,

$$N_{\text{тр}} = N_e \times (1 - \eta);$$

N_f – мощность, необходимая для преодоления сопротивления качению по почве, кВт; $N_f = \frac{P_f \times V}{360}$;

P_f – сила сопротивления качению, Н, определяемая как $P_f = G \times f$, G – вертикальная нагрузка от ходовой системы тележки, Н; f – коэффициент сопротивления качению, зависящий от состояния почвы и ходовой части;

N_p – мощность, затрачиваемая на резание и перемещение почвы рабочими органами заравнивателя колеи, кВт; $N_p = \frac{P_p \times V}{360}$; P_p – сила сопротивления резанию грунта, Н;

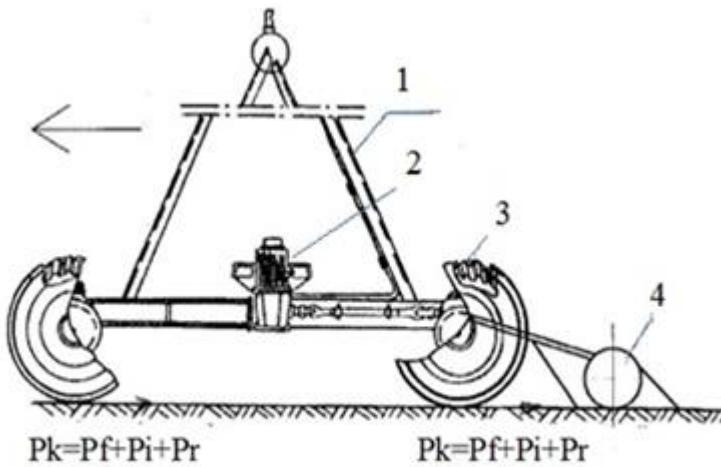
N_i – мощность, расходуемая на преодоление подъемов, кВт, $N_i = \frac{P_i \times V}{360}$; P_i – составляющая силы тяжести, препятствующая движению на уклоне, Н;

N_δ – мощность, теряемая из-за буксования (пробуксовки) ведущих колес, кВт; $N_\delta = \frac{P_k \times (V_t - V)}{360}$; V_t – теоретическая (расчетная) скорость движения тележки без учета буксования, м/мин.

Динамическое равновесие сил, обеспечивающее движение тележки ДМ «Кубань-ЛК1», устанавливается уравнением тягового баланса (4), схематически представленном на рисунке 2 [19]:

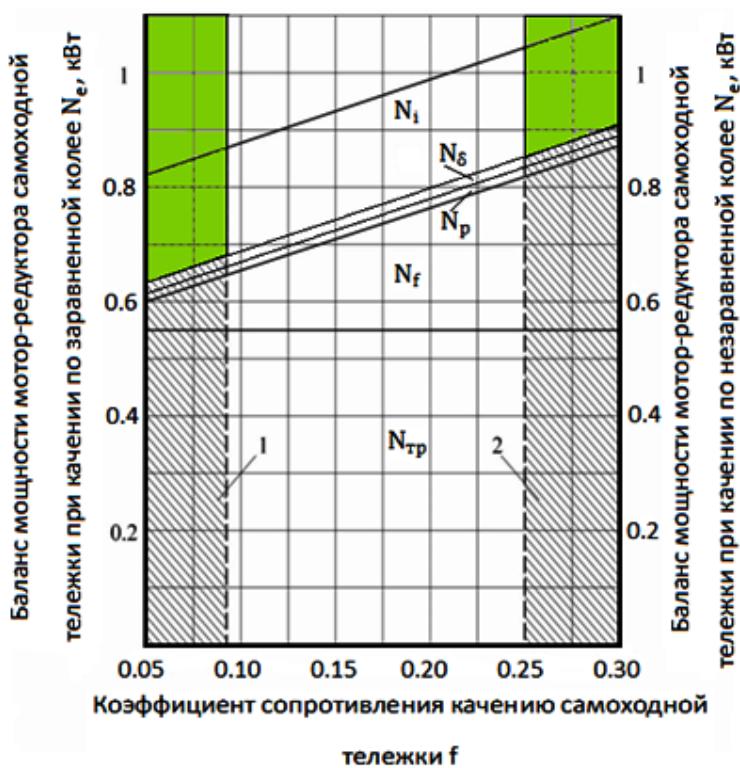
$$P_K = P_f + P_p + P_i, \quad (4)$$

Анализ структуры энергопотребления для штатного привода наиболее скоростной (десятой) тележки ($V = 1,8$ м/мин), выполненный на основе технических данных и экспериментальных замеров (рисунок 2, 3), выявляет следующее распределение. Приблизительно половина всей подводимой мощности (N_{tr}) рассеивается в самой передаче из-за ее низкого КПД ($\eta = 0,50$). Около 30% энергии расходуется непосредственно на перемещение (N_f), что обусловлено высоким коэффициентом сопротивления качению ($f \geq 0,30$) в условиях глубокой (до 0,30 м и более) постоянной колеи. Оставшаяся часть (примерно 20%) распределяется между преодолением уклонов местности (N_i), потерями на буксование (N_δ) и преодолением сопротивления при работе заравнивающего устройства (N_p) [20, 21].



1 – рама тележки; 2 – мотор-редуктор; 3 – ходовое колесо; 4 – заравниватель колеса

Рисунок 2 – Схема сил, действующих при движении тележки ДМ «Кубань-ЛК1»



1 – диапазон значений при заравнивании колеи, 2 – без заравнивания

Рисунок 3 – Энергетический баланс привода тележки ДМ «Кубань-ЛК1»

Согласно результатам апробации аналоговых технических средств, доля энергии, расходуемая непосредственно на процесс резания грунта рабочими органами (составляющая N_p), является относительно незначительной и не превышает порога в 2,5% от общего баланса мощности.

В контексте минимизации энергопотребления тележек ДМ «Кубань-ЛК1» выделяются два перспективных направления, подтвержденных мировой практикой. Первое ориентировано на модернизацию силовой передачи и предполагает замену традиционных, высокоэнергоемких зубчатых зацеплений на современные, более эффективные и компактные приводные решения. В качестве одного из основных путей повышения энергоэффективности рассматривается модернизация трансмиссии, в частности внедрение дифференциальных механизмов и приводов с возможностью разблокировки, что позволяет минимизировать паразитные потери и повысить общий КПД передачи мощности. Параллельно с этим исследуется агротехническое направление, суть которого заключается в искусственном повышении несущей способности грунта в зоне контакта с движителями. Анализ демонстрирует, что снижение коэффициента сопротивления качению с характерных значений 0,30...0,35 до уровня 0,05...0,10 приводит к резкому падению мощности, расходуемой на перемещение, с 0,32 кВт до 0,05 кВт. В относительном выражении это соответствует экономии примерно 26% от общего энергопотребления привода ($N_e = 1,1$ кВт).

Успешная реализация данного подхода, помимо соблюдения регламентов полива, напрямую зависит от качества восстановления поверхности поля. Критериями этого качества служат монолитность обработанной полосы (отсутствие продольных щелей и поперечных неровностей), а также полное и равномерное заполнение колеи грунтом по всей ее глубине.

Для реализации поставленных задач в рамках настоящей работы использовалось специально адаптированное заравнивающее устройство. Оно

представляет собой доработанную версию ранее разработанного агрегата, модифицированную для эффективной работы суженной технологической колеей, которая образуется при движении усовершенствованной экспериментальной ходовой системы. Данное техническое решение обеспечивает не только заполнение углубления, но и активное восстановление структурно-механических свойств поверхностного слоя почвы.

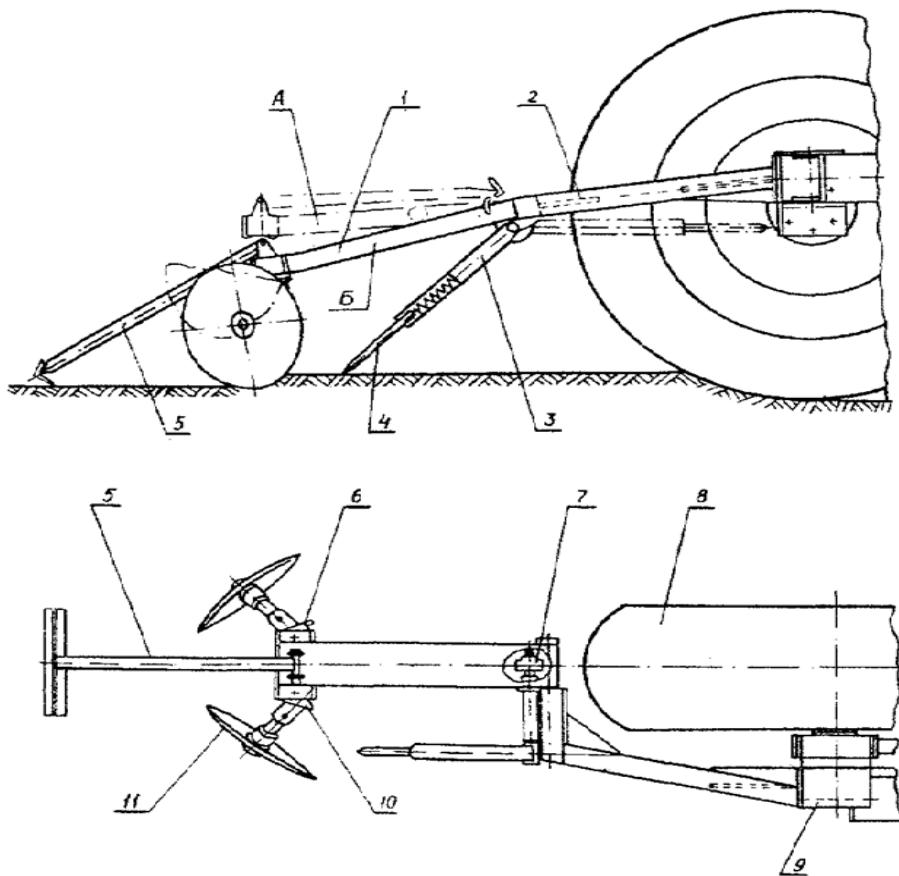
Конструкция устройства, детально представленная на рисунке 4, базируется на сварной несущей раме (1), которая через силовую балку (2) и механизм реверса (включающий рычаг (3), штырь (4) и кулачок (7)) агрегатируется с ходовой частью дождевальной машины. Основными рабочими органами являются два сферических диска (11), установленных на кронштейнах, и пассивный разравниватель (5) в виде планки. Монтаж осуществляется консольно на цапфу опорного колеса машины посредством четырёх болтов, что обеспечивает требуемую жесткость и стабильность работы.

Технологический цикл происходит следующим образом: при движении агрегата сферические диски, заглубляясь в почву под действием собственной массы устройства (глубина регулируется ограничителем), осуществляют подрезку и крошение пласта. За счет своей геометрии они перемещают рыхлый грунт по направлению к центру колеи. Завершающее выравнивание и уплотнение поверхности производится разравнивающей планкой, которая формирует ровный, монолитный слой, интегрированный с общим фоном поля. Такая последовательность операций гарантирует высокое качество восстановления поверхности, устранивая развалевые борозды и обеспечивая полное заполнение углубления.

Управление режимами работы устройства гибкое: перевод из рабочего в транспортное положение может осуществляться автоматически — за счет кинематики механизма реверса при изменении направления движения

машины, что актуально при разворотах и перемещениях по дорогам общего пользования, – или вручную, что позволяет оператору напрямую контролировать процесс при работе в сложных полевых условиях.

Рабочий процесс и качество заравнивания определяются следующими геометрическими параметрами дисков: диаметр ($D_d = 450$ мм), радиус кривизны рабочей поверхности ($R_d = 1000$ мм), угол атаки ($\alpha = 23 \dots 25$), угол наклона плоскости вращения ($\beta = 90$). Ширина захвата (B_d) задается как сумма ширины заравниваемой колеи (B_k) и конструктивного припуска (150…180 мм) для обеспечения перекрытия.



А – транспортное положение; Б – рабочее положение.

1 – рама; 2 – балка; 3 – рычаг; 4 – штырь; 5 – разравниватель; 6 и 10 – кронштейн левый и правый; 7 – кулачок; 8 – колесо тележки;
9 – цапфа колеса; 11 – сферический диск

Рисунок 4 – Заравнивающее устройство, разработанное для дождевальной машины ДМ «Кубань-ЛК1»

Примененное в исследовании дисковое заравнивающее устройство продемонстрировало значимый технологический эффект, обеспечивая надежное заполнение и качественное выравнивание технологической колеи. Объективным подтверждением его работоспособности и соответствия современным агротехническим нормативам служит факт его включения в «Федеральный Регистр базовых и зональных технологий и технических средств для проведения мелиоративных работ в сельскохозяйственном производстве». Эта регистрация свидетельствует о признании устройства как эффективного инструмента, отвечающего отраслевым требованиям и пригодного для широкого практического использования.

Результаты. Тем не менее, накопленный опыт эксплуатации показывает, что даже при оснащении ДМ «Кубань-ЛК1» заравнивателями, к финалу поливного сезона на поле все равно формируется глубокая технологическая колея, достигающая 0,30...0,35 м. Ее образование напрямую приводит к росту энергозатрат на перемещение агрегата.

В этих условиях обеспечение устойчивой проходимости машины и возможность её переоснащения более экономичными узкопрофильными шинами (например, типоразмера 11,2R44) становятся достижимыми только при условии искусственного повышения несущей способности грунта. Этого можно добиться путем систематического заполнения и уплотнения колеи с помощью навесных заравнивающих устройств, что модифицирует свойства почвы в зоне контакта.

Для количественной оценки преимуществ предложенной модернизации была проведена комплексная экономическая экспертиза, основанная на методике определения прямого экономического эффекта от внедрения новой техники с учетом требований ГОСТ 34393-2018.

Модернизация привела к снижению первоначальных вложений по двум ключевым направлениям.

За счет оптимизации конструкции и применения менее дорогих компонентов стоимость самой усовершенствованной машины с заравнивателями оказалась на 400 000 рублей ниже, чем у серийного аналога.

Снижение потребляемой мощности электроприводов тележек на 30% позволило использовать для электроснабжения силовой кабель с меньшим сечением жил (4 мм^2 вместо 6 мм^2). Удельная экономия на одном погонном метре кабеля составила 90 рублей. При общей протяженности токоподвода 1250 м это дало дополнительное снижение стоимости на 112500 рублей.

Таким образом, совокупное уменьшение капитальных затрат на приобретение и оснащение одной машины достигло 512500 рублей.

Важным источником экономического эффекта стало увеличение полезной доходности с единицы площади.

Уменьшение ширины колесного следа при модернизации ходовой системы высвободило дополнительно 0,35 га продуктивной площади на каждом круге полива.

Исходя из фактической урожайности картофеля в хозяйстве АО «Озёры» (500 ц/га) и средней цены реализации (20 руб./кг), дополнительный доход с этой площади составил 330000 рублей за сезон. Этот прирост получен за счет ликвидации потерь, связанных с повреждением растений в зоне глубокой колеи (снижение «заминаемости») и более рационального использования земельного ресурса.

Сводный экономический эффект. Интеграция всех рассчитанных составляющих – снижения капитальных затрат и роста операционных доходов – позволяет определить общий прямой годовой экономический эффект от внедрения одной усовершенствованной дождевальной машины, который составляет 842500 рублей. Данные сведены в итоговую таблицу 1.

Таблица 1. **Основные составляющие, определяющие общий экономический эффект**

№ п/п	Наименование показателей	Значение
1.	Уменьшение стоимости усовершенствованной ДМ, оснащённой заравнивающими устройствами, относительно серийной ДМ, руб.	400000
2.	Снижение стоимости ДМ «Кубань-ЛК1» с усовершенствованной ходовой системой, за счёт уменьшения сечения проводов, руб.	112500
3.	Экономический эффект от повышения урожайности за счёт увеличении коэффициента земельного использования (снижения заминаемости растений), руб.	330000
4.	Общий экономический эффект, руб.	842500

Выводы. Проведенное исследование подтверждает, что ключевой проблемой, ограничивающей эффективность широко распространенных в РФ многоопорных дождевальных машин кругового действия (на примере ДМ «Кубань-ЛК1»), является деградация почвы из-за интенсивного колеобразования. Глубокие колеи, формируемые тяжелой ходовой системой, приводят к значительному росту энергозатрат на перемещение, повреждению сельскохозяйственных культур и снижению общего коэффициента использования земель.

Теоретический и экспериментальный анализ показал, что одним из наиболее рациональных путей решения данной проблемы является оснащение машин дисковыми заравнивающими устройствами, обеспечивающими качественное заполнение и выравнивание колеи после прохода колес. Это позволяет повысить несущую способность почвы для последующих проходов, что, в свою очередь, создает предпосылки для модернизации ходовой системы. Применением заравнивателей способствует не только улучшению проходимости, но и существенному снижению трудозатрат и стоимости самой машины.

В результате проведенных мероприятий достигается комплексный положительный эффект. Снижение сопротивления качению и общих энергетических затрат (до 30%) позволяет уменьшить мощность приводов. Уменьшение ширины колеи высвобождает полезную посевную площадь. Совокупность этих факторов, подтвержденная экономическими расчетами, приводит к значительному общему экономическому эффекту, превышающему 840 тыс. рублей на одну машину, главным образом за счет снижения капитальных вложений и повышения урожайности.

Таким образом, предложенное направление совершенствования – интеграция заравнивающих устройств в технологический цикл работы дождевальной машины с оптимизацией параметров ходовой системы – является технически обоснованным и экономически целесообразным. Его внедрение позволит продлить срок службы существующего парка дождевальной техники, повысить эффективность орошаемого земледелия и способствовать решению проблемы деградации почв на орошенных площадях в условиях различных форм хозяйствования.

Список источников

1. Анализ пространственного варьирования влажности почвенного покрова вдоль фронта дождевальной машины / А. М. Зейлигер, С. В. Затинацкий, О. С. Ермолаева, Д. А. Колганов // Природоустройство. – 2023. – № 3. – С. 15-22. – DOI 10.26897/1997-6011-2023-3-15-22. – EDN AFHJHS.
2. Инновационный способ для краевой обработки поля и средство его реализации / И. М. Киреев, З. М. Коваль, Ф. А. Зимин, М. В. Данилов // АгроФорум. – 2022. – № 2. – С. 64-68. – EDN CKIEVK.
3. Исследования характеристик потока в напорных трубопроводах оросительных систем с дискретным отбором жидкости / Л. А. Журавлева, И. А. Попков, А. Алдиаб, Б. Хеирбеик // Природоустройство. – 2022. – № 5. – С. 100-104. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-5-100-104. – EDN MHESOC.

4. К вопросу повышения эффективности работы многоопорных дождевальных машин / Г. К. Ремболович, А. И. Рязанцев, А. И. Смирнов, Е. Ю. Евсеев // Научно-технические приоритеты развития АПК России : материалы 76-й международной научно-практической конференции, Рязань, 24 апреля 2025 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2025. – С. 125-130. – EDN RREAFY.
6. К вопросу снижения энергетических затрат на передвижение широкозахватных дождевальных машин / А. И. Рязанцев, Е. Ю. Евсеев, В. С. Травкин [и др.] // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. – 2025. – № 3. – С. 16-31. – DOI 10.55186/2658-3569-2025-3-16-31. – EDN LGTDGQ.
7. К вопросу уменьшения колеобразования многоопорными дождевальными машинами кругового действия / А. И. Смирнов, А. И. Рязанцев, А. О. Антипов, Е. Ю. Евсеев // Проблемы эффективного использования мелиорированных земель и управление плодородием почв нечерноземной зоны в условиях изменяющегося климата в рамках мероприятий года науки и технологий : Материалы международной научно-практической конференции, Тверь, 30 сентября 2021 года. – Тверь: Тверской государственный университет, 2021. – С. 276-279. – EDN VIFERM.
8. Костоварова, И. А. Повышение эффективности орошения при многофункциональном использовании техники полива / И. А. Костоварова, С. Л. Шленов, М. П. Замаховский // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 3. – С. 58-61. – DOI 10.24411/0235-2451-2019-10315. – EDN ZAURGH.
9. Кравченко, В. А. Результаты испытаний основных сельскохозяйственных агрегатов с упругодемпфирующим механизмом в силовой передаче мобильного энергетического средства класса 1,4 / В. А. Кравченко, Л. В.

Кравченко // Вестник аграрной науки Дона. – 2022. – Т. 15, № 3(59). – С. 15-25. – DOI 10.55618/20756704_2022_15_3_15-25. – EDN BULSCG.

10. Кравчук, А. В. Теоретическое обоснование конструктивных параметров вращающегося дефлекторного конуса дождевальной насадки, обеспечивающей повышение ветроустойчивости дождя / А. В. Кравчук, Д. А. Русинов // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 5. – С. 146-150. – DOI 10.28983/asj.y2023i5pp146-150. – EDN QBHVDR.

11. Направления совершенствования регулирующих устройств для многоопорных дождевальных машин кругового действия типа "Кубань-ЛК1" / А. И. Рязанцев, А. О. Антипов, Е. Ю. Евсеев, А. И. Смирнов // Современное состояние, приоритетные задачи и перспективы развития аграрной науки на мелиорированных землях : Материалы международной научно-практической конференции, Тверь, 25 сентября 2020 года. Том Часть 2. – Тверь: Тверской государственный университет, 2020. – С. 155-159. – EDN FTKPLE.

12. Оптимизация параметров устройства для заравнивания колеи от тележек дождевальной машины кругового действия / А. И. Рязанцев, Е. Ю. Евсеев, А. И. Смирнов, А. О. Антипов // Вестник мелиоративной науки. – 2025. – № 4. – С. 78-91. – EDN GFOOXQ.

13. Оценка параметров ходовой системы "Кубань-ЛК1" при заравнивании колеи / А. И. Рязанцев, А. Н. Зазуля, Е. Ю. Евсеев [и др.] // Наука в центральной России. – 2023. – № 1(61). – С. 116-123. – DOI 10.35887/2305-2538-2023-1-116-123. – EDN QERBKM.

14. Параметры закрытой оросительной сети и конструкция узла подключения дождевальной машины «Каскад 65Т» / Д. А. Соловьев, Д. Г. Горюнов, Ю. Н. Грепечук [и др.] // Природообустройство. – 2023. – № 2. – С. 66-71. – DOI 10.26897/1997-6011-2023-2-66-71. – EDN FUQPQP.

15. Патент на полезную модель № 238971 У1 Российская Федерация, МПК A01B 37/00, A01G 25/09. Устройство для заравнивания колеи от тележек дождевальной машины кругового действия : заявл. 19.09.2025 : опубл.

19.11.2025 / А. И. Рязанцев, А. И. Смирнов, Е. Ю. Евсеев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения сельхозводоснабжения "Радуга". – EDN CWGBNJ.

16. Повышение качества заравнивания колеи от дождевальной машины кругового действия "Кубань-ЛК1" / А. И. Рязанцев, А. И. Смирнов, Е. Ю. Евсеев [и др.] // Проблемы и перспективы инновационного развития землепользования на мелиорированных землях : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Тверь, 27 сентября 2023 года. – Тверь: Тверской государственный университет, 2023. – С. 392-397. – EDN TMHGSO.

17. Русинов, Д. А. Теоретические аспекты создания дождевальной насадки с вращающимся дефлектором / Д. А. Русинов, А. В. Кравчук, Д. А. Колганов // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 4. – С. 142-147. – DOI 10.28983/asj.y2023i4pp142-147. – EDN REJAOL.

18. Рязанцев, А. И. К обоснованию параметров рабочих органов заравнивающего устройства колеи от тележек довдевалбной машины кругового действия / А. И. Рязанцев, А. И. Смирнов, Е. Ю. Евсеев // Научно-технологический потенциал повышения продуктивности мелиорированных земель : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Тверь, 10 сентября 2025 года. – Тверь: Тверской государственный университет, 2025. – С. 526-534. – EDN GYTIEH.

19. Смирнов, А. И. Оценка угла атаки заравнивающего устройства многоопорной дождевальной машины / А. И. Смирнов, А. И. Рязанцев, Е. Ю. Евсеев // Вестник мелиоративной науки. – 2023. – № 2. – С. 29-33. – EDN FOUPFG.

20. Технологические особенности полива и показатели оценки эффективности ходовой системы дождевальной машины "Кубань-ЛК1" / А. И. Рязанцев, А. О. Антипов, А. И. Смирнов [и др.] // Вестник Рязанского

Московский экономический журнал. №1. 2026
Moscow economic journal. №1. 2026
государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. –
2019. – № 4(44). – С. 110-113. – DOI 10.36508/RSATU.2019.10.48.019. – EDN
ATAGWG.

21. Усовершенствование заравнивателя колеи дождевальной машины "Кубань-ЛК1" / А. И. Рязанцев, С. С. Турапин, Е. Ю. Евсеев, А. И. Смирнов // Вестник мелиоративной науки. – 2022. – № 3. – С. 33-39. – EDN HDIQAF.

References

1. Analysis of spatial variation of soil moisture along the front of the sprinkler machine / A.M. Zeiliger, S. V. Zatinatsky, O. S. Ermolaeva, D. A. Kolganov // Environmental management. – 2023. – No. 3. – pp. 15-22. – DOI 10.26897/1997-6011-2023-3-15-22. – EDN AFHJHS.
2. An innovative method for edge field processing and a means of its implementation / I. M. Kireev, Z. M. Koval, F. A. Zimin, M. V. Danilov // AgroForum. – 2022. – № 2. – pp. 64-68. – EDN CKIEBK.
3. Investigations of flow characteristics in pressure pipelines of irrigation systems with discrete liquid extraction / L. A. Zhuravleva, I. A. Popkov, A. Aldiab, B. Heirbeik // Environmental management. – 2022. – No. 5. – pp. 100-104. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-5-100-104. – EDN MHESOC.
4. On the issue of improving the efficiency of multi-support sprinkler machines / G. K. Rembalovich, A. I. Ryazantsev, A. I. Smirnov, E. Yu. Evseev // Scientific and technical priorities for the development of the Russian agro-industrial complex : proceedings of the 76th International Scientific and Practical Conference, Ryazan, April 24, 2025. – Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 2025. – pp. 125-130. – EDN RREAFY.
6. On the issue of reducing energy costs for the movement of wide-range sprinkler machines / A. I. Ryazantsev, E. Yu. Evseev, V. S. Travkin [et al.] // International Journal of Applied Sciences and Technologies Integral. – 2025. – No. 3. – pp. 16-31. - DOI 10.55186/2658-3569-2025-3-16-31. – EDN LGTDGQ.
7. On the issue of reducing track formation by multi-support circular sprinkler

machines / A. I. Smirnov, A. I. Ryazantsev, A. O. Antipov, E. Yu. Evseev // Problems of effective use of reclaimed lands and soil fertility management in the non-chernozem zone in a changing climate as part of the events of the Year of Science and Technology : Proceedings of the international scientific and practical conference, Tver, September 30, 2021. Tver: Tver State University, 2021. pp. 276-279. EDN VIFERM.

8. Kostovarova, I. A. Improving irrigation efficiency with the multifunctional use of irrigation technology / I. A. Kostovarova, S. L. Shlenov, M. P. Zamakhovsky // Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. – 2019. – Vol. 33, No. 3. – pp. 58-61. – DOI 10.24411/0235-2451-2019-10315. – EDN ZAURGH.

9. Kravchenko, V. A. Test results of basic agricultural aggregates with an elastic damping mechanism in the power transmission of a mobile energy vehicle of class 1,4 / V. A. Kravchenko, L. V. Kravchenko // Bulletin of Agrarian Science of the Don. – 2022. – Vol. 15, No. 3(59). – PP. 15-25. – DOI 10.55618/20756704_2022_15_3_15-25. – EDN BULSCG.

10. Kravchuk, A.V. Theoretical substantiation of the design parameters of the rotating deflector cone of a sprinkler nozzle providing increased wind resistance of rain / A.V. Kravchuk, D. A. Rusinov // Agrarian Scientific Journal. – 2023. – No. 5. – pp. 146-150. – DOI 10.28983/asj.y2023i5pp146-150. – EDN QBHVDR.

11. Riazantsev A. I., Antipov A. O., Evseev E. Yu., Smirnov A. I. Directions of improvement of regulating devices for multi-support circular sprinkler machines of the Kuban-LK1 type // Current state, priority tasks and prospects for the development of agrarian science on reclaimed lands : Proceedings of the international scientific and practical conference, Tver, 25 September 2020. Volume Part 2. Tver: Tver State University, 2020. pp. 155-159. EDN FTKPLE.

12. Optimization of the parameters of the device for leveling the track from the trolleys of a circular sprinkler machine / A. I. Ryazantsev, E. Yu. Evseev, A. I. Smirnov, A. O. Antipov // Bulletin of Meliorative Science. – 2025. – No. 4. – pp.

78-91. – EDN GFOOXQ.

13. Riazantsev A. I., Zazulya A. N., Evseev E. Yu. Evaluation of the parameters of the Kuban-LK1 running system during track leveling [et al.] // Science in Central Russia. – 2023. – № 1(61). – Pp. 116-123. – DOI 10.35887/2305-2538-2023-1-116-123. – EDN QERBKM.
14. Parameters of the closed irrigation network and the design of the connection node of the Cascade 65T sprinkler machine / D. A. Solovyov, D. G. Goryunov, Yu. N. Grepechuk [et al.] // Environmental management. – 2023. – No. 2. – pp. 66-71. – DOI 10.26897/1997-6011-2023-2-66-71. – EDN FUQPQP.
15. Utility Model Patent No. 238971 U1 Russian Federation, IPC A01B 37/00, A01G 25/09. A device for leveling the track from the trolleys of a circular sprinkler machine : application 19.09.2025 : published 19.11.2025 / A. I. Ryazantsev, A. I. Smirnov, E. Yu. Evseev [et al.] ; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation Systems for Agricultural Water Supply "Raduga". – EDN CWGBNJ.
16. Improving the quality of track leveling from the Kuban-LK1 circular sprinkler machine / A. I. Ryazantsev, A. I. Smirnov, E. Yu. Evseev [et al.] // Problems and prospects of innovative land use development on reclaimed lands : Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, Tver, September 27, 2023. Tver: Tver State University, 2023. pp. 392-397. EDN TMHGSO.
17. Rusinov, D. A. Theoretical aspects of creating a sprinkler nozzle with a rotating deflector / D. A. Rusinov, A.V. Kravchuk, D. A. Kolganov // Agrarian Scientific Journal. – 2023. – No. 4. – pp. 142-147. – DOI 10.28983/asj.y2023i4pp142-147. – EDN REJAOL.
18. Ryazantsev A. I., Smirnov A. I., Evseev E. Yu. To substantiate the parameters of the working bodies of the leveling device of the track from the bogies of the pre-hollow circular machine // Riazantsev A. I., Evseev E. Yu. // Scientific and technological potential for increasing the productivity of reclaimed lands :

Materials of the All-Russian Scientific and Practical conference with international participation, Tver, September 10, 2025. Tver: Tver State University, 2025. pp. 526-534. EDN GYTIEX.

19. Smirnov, A. I. Estimation of the angle of attack of the leveling device of a multi-support sprinkler machine / A. I. Smirnov, A. I. Ryazantsev, E. Yu. Evseev // Bulletin of Meliorative Science. – 2023. – No. 2. – pp. 29-33. – EDN FOUPFG.
20. Technological features of irrigation and indicators for evaluating the effectiveness of the running system of the Kuban-LK1 sprinkler machine / A. I. Ryazantsev, A. O. Antipov, A. I. Smirnov [et al.] // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. – 2019. – № 4(44). – Pp. 110-113. – DOI 10.36508/RSATU.2019.10.48.019. – EDN ATAGWG.
21. Improvement of the leveling gauge of the Kuban-LK1 sprinkler machine / A. I. Ryazantsev, S. S. Turapin, E. Yu. Evseev, A. I. Smirnov // Bulletin of Meliorative Science. – 2022. – No. 3. – pp. 33-39. – EDN HDIQAF.

© Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Травкин В.С., Травкина А.Р., 2026. Московский экономический журнал, 2026, №1.