

Научная статья

Original article

УДК 631.347:531.3

doi: 10.55186/2413046X_2025_10_11_266

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ
КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ НА СКЛОНАХ
ECONOMIC EFFICIENCY OF USING AN ADVANCED CIRCULAR
SPRINKLER ON SLOPES**



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

Турапин Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, врио директора, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ Коломна, посёлок Радужный, 38), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1198-2511>, prraduga@yandex.ru

Костоварова Ирина Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом систем орошения дождеванием, Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ Коломна, посёлок Радужный, 38), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2286-1166>, info@raduga.mcx.gov.ru

Шленов Сергей Леонидович, старший научный сотрудник отдела систем орошения дождеванием Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ Коломна, посёлок Радужный, 38), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6014-0796>, info@raduga.mcx.gov.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 Коломна, посёлок Радужный, 38), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1052-0125>, vlad.travkin.1992@mail.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 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 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

Turapin Sergey Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Acting Director, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation and Agricultural Supply Systems Raduga (140483, Russia, Kolomna, Kolomna city district, Raduzhny settlement, 38), ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1198-2511>, prraduga@yandex.ru

Kostovarova Irina Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of Irrigation Systems by sprinkling, 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/0009-0008-2286-1166>, info@raduga.mcx.gov.ru

Shlenov Sergey Leonidovich, Senior Researcher at the Sprinkler Irrigation Systems Department, Raduga All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply (38 Raduzhny Settlement, Kolomna, 140483, Russia), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6014-0796>, info@raduga.mcx.gov.ru

Travkin Vladislav Sergeyevich, 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

Аннотация. Статья посвящена решению актуальной проблемы снижения производительности широкозахватных дождевальных машин кругового действия на склоновых сельскохозяйственных землях. Несмотря на широкое распространение и надежность машин типа «Кубань-ЛК1», их эксплуатация на участках с уклоном свыше 0,05 сопряжена со значительным падением эффективности. Ключевой причиной этого является образование поверхностного стока поливной воды, который приводит к потере несущей

способности почвы, интенсивному буксованию ходовой системы, деформациям трубопровода и частым аварийным остановкам. В результате сменная производительность машины снижается на 18...20%, что негативно сказывается на объемах сельскохозяйственного производства.

В качестве научно обоснованного решения авторы предлагают комплексную модернизацию дождевального оборудования машины. Модернизация включает последовательную установку регулирующих расход устройств мембранного типа и стержневых рассекателей. Данное техническое решение позволяет перейти к безстоковому поливу за счет снижения интенсивности дождя с 0,4 до 0,2 мм/мин и увеличения площади захвата факела распыла. Это стабилизирует несущую способность грунта в зоне движения ходовой системы и полностью устраняет основную причину буксования и связанных с ним технологических сбоев.

Экономическое обоснование проекта, выполненное в соответствии с ГОСТ 53056-2008, демонстрирует высокую эффективность предлагаемой модернизации. Согласно расчетам, ежегодная экономия от использования модернизированной машины достигает 2303221 рубль с каждой единицы. Дополнительные инвестиции в оборудование окупаются полностью в течение одного сельскохозяйственного сезона. Таким образом, работа представляет собой законченное исследование, предлагающее технологически и экономически целесообразное решение для повышения производительности одного из ключевых видов ирригационной техники в условиях сложного рельефа.

Abstract. The article is devoted to solving the urgent problem of reducing the productivity of wide-range circular sprinkler machines on sloping agricultural lands. Despite the widespread use and reliability of the Kuban-LK1 type machines, their operation in areas with a slope above 0.05 is associated with a significant decrease in efficiency. The key reason for this is the formation of surface runoff of irrigation water, which leads to loss of bearing capacity of the soil, intensive

slipping of the running system, pipeline deformations and frequent emergency stops. As a result, the shift productivity of the machine is reduced by 18-20%, which negatively affects the volume of agricultural production.

As a scientifically based solution, the authors propose a comprehensive modernization of the sprinkler equipment of the machine. The upgrade includes the sequential installation of flow control devices of the membrane type and rod dividers. This technical solution allows you to switch to flow-free irrigation by reducing the intensity of rain from 0.4 to 0.2 mm / min and increasing the area of capture of the spray torch. This stabilizes the bearing capacity of the soil in the area of movement of the running system and completely eliminates the main cause of skidding and related technological failures.

The economic justification of the project, carried out in accordance with GOST 53056-2008, demonstrates the high efficiency of the proposed modernization. According to calculations, the annual savings from using the upgraded machine reach 2303221 rubles per unit. Additional investments in equipment are fully recouped during one agricultural season. Thus, the work is a complete study that offers a technologically and economically feasible solution to increase the productivity of one of the key types of irrigation equipment in difficult terrain conditions.

Ключевые слова: широкозахватная дождевальная машина «Кубань-ЛК1», склоновые земли, поверхностный сток, опорно-цепные свойства, буксование движителей, производительность, модернизация, регулирующее расход устройство, стержневой рассекаатель, безстоковый полив, интенсивность дождя, несущая способность почвы, экономический эффект, срок окупаемости

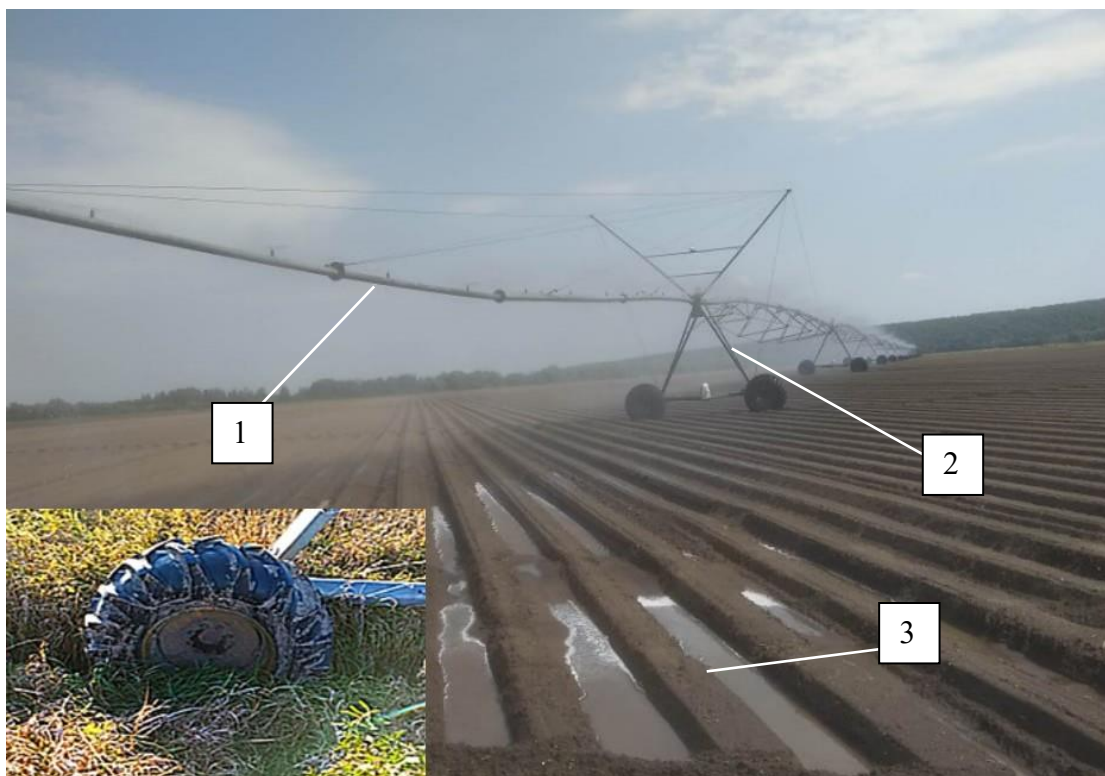
Keywords: wide-range sprinkler machine "Kuban-LK1", sloping lands, surface runoff, traction properties, sliding propellers, productivity, modernization, flow control device, rod divider, drainage irrigation, rain intensity, bearing capacity of the soil, economic effect, payback period

Введение. Широкий спектр организационных форм деятельности аграрных предприятий в России привел к возникновению многочисленных фермерских хозяйств. Но, даже при наличии значительного числа производителей сельхозпродукции, фиксируется снижение ее выпуска на площадях, которые обрабатываются с применением широкозахватной дождевальной техники. Основная причина кроется в недостатках их конструктивного исполнения, а также в длительном периоде использования подобных машин. Согласно информации Росстата, средний срок службы применяемых широкозахватных круговых дождевальных машин «Кубань-ЛК1» составляет более 10 лет. Таким образом, для гарантии стабильной и эффективной работы таких машин требуются мероприятия по регулярному техническому обслуживанию и ремонту, которые учитывают современные научно-технические достижения для их усовершенствования [11, 12, 18].

Ключевой проблемой в развитии широкозахватных машин кругового действия остается оценка почвенно-рельефных характеристик при их применении, а также изучение воздействия этих условий на технологию равномерного распределения капель дождя по всей обрабатываемой площади. Параллельно с этим необходимо учитывать, как варьируется объем поверхностного стока воды в зоне перемещения ходовых частей машины в связи с изменением крутизны склона обрабатываемого участка, поскольку этот параметр непосредственно определяет степень эрозии грунта, а значит, и характеристики колеи, оставляемой движителями тележек машины, и показатели ее опорно-цепных качеств [2, 3, 4].

Электрифицированная дождевальная машина кругового действия «Кубань-ЛК1» (рисунок 1) является одной из наиболее популярных машин в большинстве регионов страны. Ее доля в общем количестве машин составляет свыше 15%, что подтверждает ее надежность и универсальность в процессе возделывания сельскохозяйственных растений [5, 20].

Электрифицированная дождевальная машина кругового действия «Кубань-ЛК1» (рисунок 1) широко применяется во многих регионах страны. Данная машина составляет более 15% всего парка, что доказывает ее универсальность и обеспечивает стабильную работу при выращивании сельскохозяйственных культур [8, 13].



1 – дождевальный аппарат; 2 – опорная тележка; 3 – стоковая поверхность

Рисунок 1 – Широкозахватная дождевальная машина кругового действия

Несмотря на отмеченные преимущества, конструкция машины имеет ряд существенных недостатков, которые делают ее эксплуатацию на склоновых землях с уклоном свыше 0,05 крайне проблематичной. Проведенные полевые исследования и экспериментальные данные четко фиксируют резкое снижение сменной производительности агрегата. Ключевой причиной является ухудшение несущей способности переувлажненного грунта в зоне работы концевой тележки и ее консольного вылета. Это явление напрямую связано с деградацией опорно-сцепных характеристик: во время полива в образованных колеях скапливается вода, создавая жидкую грязь, что

приводит к постоянной и усиленной пробуксовке движителей. Данная пробуксовка не просто тормозит движение, но и вызывает значительные механические нагрузки, изгибая секции трубопровода. Это, в свою очередь, провоцирует срабатывание системы электронной защиты и аварийную остановку всей машины. За один поливной сезон количество подобных незапланированных остановок может достигать 5...6 случаев. Каждый такой инцидент не только прерывает процесс орошения, но и требует времени на перезапуск. Совокупность этих эксплуатационных проблем оказывает прямое негативное влияние на коэффициент использования сменного времени ($K_{см}$), что в конечном итоге ведет к системному снижению продуктивности и рентабельности работы дождевальной техники на сложном рельефе. Согласно полученным данным, при оросительной норме 500 м³/га, сменная выработка базовой модели дождевальной машины «Кубань-ЛК1» (10 тележек, длина – 474 м.), в режиме непрерывного функционирования равна, в среднем, 3,9 га, а при работе с аварийными простоями (от 4 до 6 раз), этот параметр уменьшается до 3,2 га, то есть на 18...20% [1, 6, 7, 10].

Цель и задачи исследования. Параметр опорно-сцепных качеств дождевальной машины, функционирующей в круговом режиме, устанавливается через коэффициент проходимости Π по общепринятой формуле [9]:

$$\Pi = \varphi_c - f > \iota \quad (1)$$

где: φ – коэффициент сцепления движителей с почвой;

f – коэффициент сопротивления качению движителя машины;

ι – величина преодолеваемого уклона.

Таким образом, коэффициент Π рассчитывается, основываясь на сцепных и мощностных параметрах ходовой части машины, запасе тягового усилия для преодоления, в частности, подъема и прочих сопротивлений.

Указанные параметры φ_c и f в значительной мере, при сохранности остальных условий, обусловлены свойствами грунта орошаемого участка

(влажностью, способностью впитывать воду, твердостью и иными характеристиками).

Обобщающим параметром, включающим перечисленные выше свойства грунта, выступает его несущая способность, которая рассчитывается по установленной эмпирической формуле [14, 17, 19]:

$$P_{онн} = P_{одп} - (1.4 \times m_{дост}^{0.65} + 8 \times 1.01^{m_{ст.}}) \quad (2)$$

где: $P_{одп}$ – несущая способность почвы до полива, кПа;

$m_{дост}$ – досточная поливная норма, м³/га.

Предельная поливная норма до возникновения стока рассчитывается по формуле 3, исходя из баланса водопоглощения почвы и интенсивности формируемого дождя.

$$m_{дост} = \frac{P}{\sqrt{\rho \times \varepsilon^{0.5\alpha}}} \quad (3)$$

где: P – водопроницаемость почвы, мм;

ρ – интенсивность дождя, мм/мин;

ε – основание натурального логарифма; $\varepsilon = 2,72$;

α – средний диаметр капель дождя, мм;

$m_{ст}$ – величина стока, мм/мин, $m_{ст} = m_m - m_{дост}$;

m_m – поливная норма, м³/га.

Полевые испытания подтверждают, что интенсивность искусственного дождя ρ , вычисляемая по формуле 4, напрямую влияет на допустимую поливную норму до стока и связанное с ней изменение несущей способности почвы $P_{онн}$.

$$\rho = \frac{60 \times Q}{S} \quad (4)$$

где: Q – расход дождевального аппарата, л/с;

S – площадь захвата дождеобразующего устройств².

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gh} \quad (5)$$

где: μ – коэффициент расхода жидкости;

ω – площадь сечения сопла, м²;

h – напор перед дождевальными аппаратами, м.вод.ст.

В соответствии с техническими условиями использования широкозахватных дождевальных машин, для обеспечения их стабильного функционирования, давление на входе в водораспределительные устройства должно быть не менее 30 м. вод. ст. Это обусловлено работой машины на подъемах (до 0,05). Указанный параметр, объединяющий потери давления по длине агрегата h_d , требуется принимать во внимание при калибровке регулятора расхода.

$$H = H_{\text{вх}} - h_d - h_{\text{г}} \geq 30 \quad (6)$$

где: $H_{\text{вх}}$ – показатель напор на входе в машины, м.вод.ст.;

Следовательно, улучшения параметра опорно-сцепных качеств дождевальной машины при его функционировании на уклоне можно добиться предотвращением внешнего стока путем корректировки (снижения) водорасхода Q и, как следствие, уменьшением мощности ее подачи, а также ростом зоны покрытия струи дождя.

Материалы и методы. Для предотвращения образования водного стока в наиболее проблемной зоне – районе расположения концевой тележки и консольной части машины – применяется метод снижения интенсивности создаваемого искусственного дождя. Практическая реализация этого метода обеспечивается за счет монтажа специальных регулирующих расход аппаратов мембранного типа, на которые получен патент РФ №2770811 [16]. Данное техническое решение позволяет эффективно понизить среднюю интенсивность дождя с 0,4 до 0,3 миллиметров в минуту. Тем не менее, проведенные испытания демонстрируют, что на участках со сложным рельефом, в частности при наличии естественных уклонов, одной только регулировки расхода оказывается недостаточно для полного устранения стока, так как сила тяжести продолжает способствовать поверхностному стеканию воды.

Для кардинального решения данной проблемы требуется комплексный подход, который заключается в последовательной установке после регуляторов расхода дополнительных стержневых рассекателей. Эта комбинированная система, также защищенная патентом №2770811 [15], позволяет добиться дальнейшего уменьшения средней мощности осадков до 0,2 мм/мин. Принцип работы рассекателей основан на диспергировании и более равномерном пространственном распределении водяных капель, что приводит к существенному расширению площади охвата одного поливального круга. Таким образом, вода подается на большую поверхность с меньшей интенсивностью, что дает почве достаточно времени для полного впитывания влаги без образования поверхностного стока даже в условиях сложного рельефа.



Рисунок 2 – Общий вид широкозахватной дождевальной машины, оборудованной регулирующим узлом дождевального аппарата

Расчет годового экономического эффекта от внедрения модернизированной дождевальной машины в сравнении с её базовой версией проводился в строгом соответствии с официальной методикой, установленной ГОСТ 53056-2008 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки». Данный нормативный документ обеспечивает объективность и достоверность проводимых расчетов, устанавливая единые

принципы экономического сравнения сельскохозяйственной техники.

С технико-экономической точки зрения, усовершенствованная дождевальная машина, несмотря на более высокие первоначальные производственные затраты, обладает комплексом конкурентных преимуществ. К ним относятся значительное увеличение производительности, расширенный ресурс и срок службы, а также существенное снижение эксплуатационных расходов. Важным фактором для потребителя является также уменьшение сопутствующих капитальных вложений, что положительно влияет на общую экономическую эффективность работы.

Для обеспечения корректного сравнения двух вариантов техники, годовые затраты потребителя (I_1^1) и сопутствующие капитальные вложения (K_1^1), относящиеся к базовой машине, были приведены к единому объему работ, который может быть выполнен с применением новой, более производительной модификации. Данный пересчет осуществляется с использованием формул (7) и (8), что позволяет нивелировать разницу в производительности и провести сравнение в равных условиях. Такой подход обеспечивает объективность определения годового экономического эффекта, учитывающего все аспекты эксплуатации обеих моделей:

$$I_1^1 = \overline{I}_1^1 \times \frac{B_2}{B_1} \quad (7)$$

$$K_1^1 = \overline{K}_1^1 \times \frac{B_2}{B_1} \quad (8)$$

где: $\overline{I}_1^1$ – общая стоимость ежегодных затрат базовой модификации машины, руб.;

$\overline{I}_2^1$ – общая стоимость ежегодных затрат усовершенствованной модификации машины, руб.;

$\overline{K}_1^1$ – издержки на заработную плату при эксплуатации базовой модификации машины, руб.;

$\overline{K}_2^1$ – издержки на заработную плату при эксплуатации усовершенствованной

модификации машины, руб.;

B_2, B_1 – производительность новой и усовершенствованной модификаций машин, га/час;

При сопоставлении приведенных модификаций агрегатов годовые затраты и капиталовложения составляют:

– по базовой модификации машины:

$$И_1^1 = \overline{И}_1^1 \times \frac{B_2}{B_1} = 8962 \times \frac{0.49}{0.41} = 10710,6 \text{ руб.}$$

$$K_1^1 = \overline{K}_1^1 \times \frac{B_2}{B_1} = 2650 \times \frac{0.49}{0.41} = 3167,1 \text{ руб.}$$

– по усовершенствованной модификации машины:

$$И_2^1 = \overline{И}_2^1 \times \frac{B_2}{B_1} = 8662 \times \frac{0.49}{0.41} = 10352,1 \text{ руб.}$$

$$K_2^1 = \overline{K}_2^1 \times \frac{B_2}{B_1} = 2208 \times \frac{0.49}{0.41} = 2638,8 \text{ руб.}$$

Совокупные расходы для базовой и модернизированной версий дождевальных машин рассчитываются по уравнению 9:

$$З = C + E_H \times K \quad (9)$$

где $З$ – приведенные затраты единицы техники (работы), руб.;

K – удельные капитальные вложения в производственные фонды, руб.;

C – общая стоимость капитальных вложений, руб.;

E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

– по базовой модификации машины:

$$З_1 = C_1 + E_H \times K_1 = 7125000 + 0.15 \times 2600000 = 7515000 \text{ руб.}$$

– по усовершенствованной модификации машины:

$$З_2 = C_2 + E_H \times K_2 = 7180500 + 0.15 \times 2655500 = 7578000 \text{ руб.}$$

Коэффициент обновления агрегатов определяется как величина, обратная периоду их эксплуатации (формула 10):

$$P = \frac{1}{T_0} \quad (10)$$

где: T_0 – срок службы машины.

получим:

– по базовой модификации машины:

$$P_1 = \frac{1}{8} = 0,125$$

– по усовершенствованной модификации машины:

$$P_2 = \frac{1}{10} = 0,1$$

Согласно «Методике определения экономической эффективности капиталовложений», нормативный показатель эффективности для народного хозяйства устанавливается на уровне не менее 0,12. Этот базовый норматив применяется при оценке типовых инвестиционных проектов. Однако при принятии решений о разработке и внедрении принципиально новых технических решений, изобретений и рационализаторских предложений, сопровождающихся повышенными рисками, нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений увеличивается до 0,15. Такая дифференциация нормативов позволяет более адекватно оценивать экономическую целесообразность инновационных проектов, учитывая их повышенную рискованность и потенциальный мультипликативный эффект для экономики.

Из формулы 10 следует, что для обоснованного выбора оптимального варианта дождевального оборудования необходимо детально рассчитать как единовременные капитальные вложения, так и ежегодные эксплуатационные расходы, включающие затраты на приобретение, монтаж, техническое обслуживание и ремонт данной техники. При этом критически важным условием достоверности сравнения является обеспечение полной сопоставимости анализируемых вариантов по их материальному результату – объему и качеству производимой продукции. Пренебрежение этим требованием приводит к принципиально неверным выводам об экономической эффективности.

В случае различий в материальных результатах все сравниваемые варианты должны быть приведены к сопоставимому виду через пересчет

капитальных вложений и себестоимости на идентичный объем продукции при одинаковом наборе возделываемых культур. Наиболее методически корректным в такой ситуации является отнесение капитальных вложений и себестоимости на единицу производимой продукции, что позволяет нивелировать различия в масштабах производства и объективно сравнить экономические показатели.

Определение годового экономического эффекта от внедрения новой, более совершенной дождевальнoй техники производится по формуле 11, которая учитывает как разницу в приведенных затратах, так и возможные изменения в объеме и качестве сельскохозяйственной продукции. Такой комплексный подход позволяет оценить не только прямую экономию на эксплуатационных расходах, но и дополнительный доход от повышения урожайности культур благодаря более качественному и своевременному орошению:

$$\mathcal{E} = \left[3_1 \times \frac{B_2}{B_1} \times \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{(I_1^1 - I_2^1) - E_H \times (K_2^1 - K_1^1)}{P_2 + E_H} - 3_2 \right] \times A_2 \quad (11)$$

где: A_2 – количество машин, шт.

Таким образом, совокупный годовой экономический эффект от использования модернизированной машины «Кубань-ЛК1» для орошения склоновых территорий составит следующую величину:

$$\mathcal{E} = \left[3_1 \times \frac{B_2}{B_1} \times \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{(I_1^1 - I_2^1) - E_H \times (K_2^1 - K_1^1)}{P_2 + E_H} - 3_2 \right] \times A_2 = \left[7515000 \times \frac{0,49}{0,41} \times \frac{0,125 + 0,15}{0,1 + 0,15} + \frac{(10710 - 10353) - 0,15 \times (2639 - 3168)}{0,1 + 0,15} - 7578000 \right] \times 1 = 2303221 \text{ руб.}$$

Согласно официальной «Методике определения экономической эффективности капиталовложений», применяемой для оценки инвестиционных проектов на уровне отдельных предприятий, производственных объектов и конкретных технико-экономических мероприятий, ключевым показателем является коэффициент общей экономической эффективности. Данный показатель количественно характеризует результативность использования капитальных вложений и рассчитывается как отношение полученного экономического дохода

(прибыли) к объему осуществленных капитальных затрат. Формула (12) представляет собой математическую запись этого соотношения:

$$\mathcal{E}_{\text{пп}} = \frac{\mathcal{C}-\mathcal{C}}{\mathcal{K}} = \frac{\mathcal{П}}{\mathcal{K}} \quad (12)$$

где: $\mathcal{K}$ – удельные капитальные вложения в производственные фонды, руб.;

$\mathcal{C}$ – стоимость годового выпуска продукции в оптовых ценах предприятия, руб.

$\mathcal{C}$ – себестоимость годового выпуска продукции, руб.;

$\mathcal{П} = \mathcal{C} - \mathcal{C}$ – годовая прибыль, руб.

Период возврата капиталовложений за счет прибыли организации рассчитывается по уравнению (13):

$$t_{\text{оп}} = \frac{\mathcal{K}}{\mathcal{C}-\mathcal{C}} = \frac{\mathcal{K}}{\mathcal{П}} \quad (13)$$

При эксплуатации модернизированного агрегата период возврата капиталовложений будет равен:

$$t_{\text{оп}} = \frac{\mathcal{K}}{\mathcal{C}-\mathcal{C}} = \frac{\mathcal{K}}{\mathcal{П}} = \frac{2655500}{147600000-36000000} = 0,024 \text{ года} = 1 \text{ сельскохозяйственный сезон}$$

Проведенный финансово-экономический анализ эксплуатации модернизированной дождевальной машины кругового действия «Кубань-ЛК1» показал высокую эффективность примененных технических решений. Установка специализированных регуляторов водорасхода и системы коррекции факела распыла дождевателей в наиболее проблемных зонах – концевых и консольных секциях – позволила существенно улучшить эксплуатационные характеристики машины при работе на склоновых территориях.

Расчеты демонстрируют, что совокупный годовой экономический эффект от внедрения данной модернизации составляет 2303221 рубль на одну машину. Столь значительный экономический результат достигается за счет нескольких факторов: снижения эксплуатационных расходов, уменьшения

потерь воды от стока, повышения равномерности полива и, как следствие, увеличения урожайности сельскохозяйственных культур.

Особого внимания заслуживает показатель возврата инвестиций: расчетный срок окупаемости дополнительных капитальных вложений в модернизацию составляет всего 0,024 года, что эквивалентно одному полному сельскохозяйственному сезону. Такие показатели экономической эффективности свидетельствуют о высокой целесообразности широкого внедрения предложенных технических решений в сельскохозяйственное производство, особенно в регионах со сложным рельефом местности.

Выводы. Ключевой проблемой, снижающей эффективность работы широкозахватной дождевальной машины «Кубань-ЛК1» на склоновых участках, является образование поверхностного стока поливной воды. Это явление приводит к резкому ухудшению опорно-сцепных свойств почвы в зоне движения ходовой системы, вызывая интенсивное буксование, деформации трубопровода и частые аварийные остановки. В совокупности эти факторы снижают сменную производительность машины на 18...20%.

Научно обоснованным решением данной проблемы является комплексная модернизация дождевального оборудования машины. Установка регулирующих расход устройств мембранного типа в сочетании со стержневыми рассекателями позволяет добиться безстокового полива за счет снижения интенсивности дождя и увеличения площади захвата факела распыла. Это техническое решение стабилизирует несущую способность грунта и полностью устраняет причину буксования.

Экономическая целесообразность модернизации подтверждается расчетом годового экономического эффекта, который составляет 2303221 рубль на одну машину. При этом срок окупаемости дополнительных капитальных вложений не превышает одного сельскохозяйственного сезона, что свидетельствует о высокой инвестиционной привлекательности

предлагаемых технических решений для повышения эффективности орошаемого земледелия на склоновых землях.

Список источников

1. Анализ пространственного варьирования влажности почвенного покрова вдоль фронта дождевальной машины / А. М. Зейлигер, С. В. Затицацкий, О. С. Ермолаева, Д. А. Колганов // Природообустройство. – 2023. – № 3. – С. 15-22. – DOI 10.26897/1997-6011-2023-3-15-22. – EDN AFHJHS.
2. Евсеев, Е. Ю. К усовершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов многоопорных дождевальных машин / Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов, А. И. Рязанцев // Вестник мелиоративной науки. – 2020. – № 3. – С. 36-39. – EDN JTPDPM.
3. Евсеев, Е. Ю. Повышение производительности многофункциональной машины кругового действия на склонах / Е. Ю. Евсеев, А. И. Рязанцев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 121-127. – DOI 10.36508/RSATU.2023.92.77.016. – EDN VPSSQO.
4. Евсеев, Е. Ю. Повышение эффективности применения многофункциональной машины на склоновых площадях / Е. Ю. Евсеев // Нива Поволжья. – 2023. – № 2(66). – DOI 10.36461/NP.2023.66.2.005. – EDN JDPPNM.
5. Евсеев, Е. Ю. Регулирование водоотдачи ДМ "Кубань – ЛК1" на склоновых участках / Е. Ю. Евсеев, А. И. Рязанцев, А. О. Антипов // Материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции, посвящённой 80-летию со дня рождения профессора Анатолия Михайловича Лопатина, Рязань, 12–13 ноября 2019 года / ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Совет молодых ученых. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2020. – С. 83-88. – EDN MMHRUL.

6. 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 SKIEBK.
7. Исследования характеристик потока в напорных трубопроводах оросительных систем с дискретным отбором жидкости / Л. А. Журавлева, И. А. Попков, А. Алдиаб, Б. Хеирбеик // Природообустройство. – 2022. – № 5. – С. 100-104. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-5-100-104. – EDN MHESOC.
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. Обоснование регулирования расхода дождевальных аппаратов широкозахватных машин кругового действия / А. И. Рязанцев, С. С. Турапин, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 6-9. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10. – EDN DJWYGY.
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. Гrepечук [и др.] // Природообустройство. – 2023. – № 2. – С. 66-71. – DOI 10.26897/1997-6011-2023-2-66-71. – EDN FUQRPQ.
15. Патент № 2769732 С1 Российская Федерация, МПК А01G 25/02, В05В 1/26. способ установки стержневого рассекателя на дождевальном аппарате : № 2020142352 : заявл. 21.12.2020 : опубл. 05.04.2022 / А. И. Рязанцев, С. С. Турапин, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга". – EDN CPUYKC.
16. Патент № 2770811 С1 Российская Федерация, МПК А01G 25/09. Многоопорная дождевальная машина кругового действия : № 2020144291 : заявл. 29.12.2020 : опубл. 22.04.2022 / А. И. Рязанцев, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN TGXCWZ.
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. Особенности работы дождевальной машины «Кубань - ЛК1» на склоновых площадях / А. И. Рязанцев, Е. Ю. Евсеев, А. О. Антипов // Экология и строительство. – 2021. – № 3. – С. 22-29. – DOI 10.35688/2413-8452-2021-03-002. – EDN COQOTC.

19. Теоретическое обоснование применения водопроводящего трубопровода широкозахватной дождевальной машины из композиционного материала / Л. А. Журавлева, М. С. Магомедов, А. Алдиаб, Б. Хеирбеик // Естественные и технические науки. – 2022. – № 6(169). – С. 363-370. – EDN MECXIX.

20. Technological Features of Irrigation and Assessment Indicators of Multibasic Irrigation Machines Running Systems Efficiency (on the Example of IM Kuban-LK1) / A. I. Ryazantsev, A. O. Antipov, A. I. Smirnov [et al.] // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2019. – Vol. 8, No. 8 S3. – P. 404-406. – EDN GLITFM.

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. Evseev, E. Yu. To improve the flow regulator of sprinklers of multi-support sprinklers / E. Yu. Evseev, A. O. Antipov, A. I. Ryazantsev // Bulletin of Meliorative Science. - 2020. – No. 3. – pp. 36-39. – EDN JTPDPM.

3. Evseev, E. Y. Improving the productivity of a multifunctional circular machine on slopes / E. Y. Evseev, A. I. Ryazantsev // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. – 2023. – Vol. 15, No. 4. – pp. 121-127. – DOI 10.36508/RSATU.2023.92.77.016. – EDN VPSSQO.

4. Evseev, E. Y. Improving the efficiency of using a multifunctional machine on sloping areas / E. Y. Evseev // Field of the Volga region. – 2023. – № 2(66). – DOI 10.36461/NP.2023.66.2.005. – EDN JDPPNM.
5. Evseev, E. Yu. Regulation of DM Kuban – LK1 water discharge in sloping areas / E. Yu. Evseev, A. I. Ryazantsev, A. O. Antipov // Materials of the All-Russian National Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the birth of Professor Anatoly Mikhailovich Lopatin, Ryazan, November 12-13, 2019 / FSBEI HE Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Council of Young Scientists. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 2020. pp. 83-88. EDN MMHRUL.
6. 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.
7. Investigations of flow characteristics in pressure pipelines of irrigation systems with discrete liquid extraction / L. A. Zhuravleva, I. A. Popkov, A. Aldiab, B. Kheirbeik // Environmental management. – 2022. – No. 5. – pp. 100-104. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-5-100-104. – EDN MHESOC.
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. Justification for regulating the flow of sprinklers for wide-range circular machines / A. I. Ryazantsev, S. S. Turapin, E. Yu. Evseev, A. O. Antipov // Melioration and water management. – 2022. – No. 3. – pp. 6-9. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-3-6-10. – EDN DJWYGY.

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. Patent No. 2769732 C1 Russian Federation, IPC A01G 25/02, B05B 1/26. method of installing a rod divider on a sprinkler : No. 2020142352 : application dated 12/21/2020 : published 04/05/2022 / A. I. Ryazantsev, S. S. Turapin, E. Yu. Evseev, A. O. Antipov ; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Scientific-Raduga Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply Systems. – EDN CPUYKC.

16. Patent No. 2770811 C1 Russian Federation, IPC A01G 25/09. Multi-support circular sprinkler machine : No. 2020144291 : application no. 12/29/2020 : published 04/22/2022 / A. I. Ryazantsev, E. Yu. Evseev, A. O. Antipov [et al.] ;

applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev". – EDN TGXCWZ.

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. Features of the Kuban - LK1 sprinkler machine on slope areas / A. I. Ryazantsev, E. Yu. Evseev, A. O. Antipov // Ecology and Construction. – 2021. – No. 3. – pp. 22-29. – DOI 10.35688/2413-8452-2021-03-002. – EDN COQOTC.

19. L. A. Zhuravleva, M. S. Magomedov, A. Aldiab, B. Kheirbeik, Theoretical substantiation of the use of a water supply pipeline of a wide-scope sprinkler machine made of composite material, Natural Sciences and Technical Sciences. – 2022. – № 6(169). – Pp. 363-370. – EDN MECXIX.

20. Technological Features of Irrigation and Assessment Indicators of Multibasic Irrigation Machines Running Systems Efficiency (on the Example of IM Kuban-LK1) / A. I. Ryazantsev, A. O. Antipov, A. I. Smirnov [et al.] // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2019. – Vol. 8, No. 8 S3. – P. 404-406. – EDN GLITFM.

© Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Турапин С.С., Костоваров И.А., Шленов С.Л., Травкин В.С., 2025. Московский экономический журнал, 2025, №11.