Тип статьи: научная
УДК 631.347.3.012.3.001.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-62-70

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПРИВОДА МНОГООПОРНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН, ТИПА «КУБАНЬ-ЛК1»

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

Автор ответственный за переписку: Евгений Юрьевич Евсеев, evseev.evgeniy.1995@mail.ru
Corresponding author: Evgeny Evseev, evseev.evgeniy.1995@mail.ru

Реферат. *Описаны вопросы оценки энергетических показателей работы усовершенствованного привода многоопорной дождевальной машины (ДМ), работающей в движении по кругу «Кубань-ЛК1». Отмечается, что для повышения коэффициента полезного действия приводов тележек ДМ и повышения скорости их движения необходима разработка мотор-редукторов, обладающих высоким передаточным отношением. Наиболее перспективным вариантом, представляется использование энергоемких мотор-редукторов, оборудованных волновой передачей. В ходе теоретических исследований, дано обоснование использования высокоэффективного зубчатого зацепления. Указывается, что на сегодняшний день, в конструкции машин подобного типа применяются колесные редуктора с малоэффективным червяным зацеплением. Вследствие чего, в трансмиссии ходовых систем образуется блокированная связь, а также неравномерность окружных скоростей колес, что приводит к снижению К.П.Д. работы мотор-редукторов. Исключить подобные отрицательные качества работы ДМ «Кубань-ЛК» возможно ее оснащением мотор-редукторами с волновой передачей. Экспериментальные исследования машины проводились в АО «Озеры» Коломенского района Московской области на макетном образце 8 тележечной электрифицированной многоопорной ДМ «Кубань-ЛК1». На четырех тележках (№2, №3, №7 и №8) были установлены, на каждом колесе, мотор-редуктора с волновой передачей. Производился полив картофеля. Агрофон – поле, засаженное картофелем. Уклон поля вдоль водопроводящего трубопровода и по ходу движения тележек не превышал ± 0.01. В результате проведения исследований были получены эксплуатационные показатели, представленные таблице 1, которые позволили сделать следующие выводы: потребление мощности опорной тележкой с модернизированным приводом при работающих; двух электродвигателях, составляет 300 – 370 Вт. При тех же условиях серийный привод потребляет 630 – 670 Вт. Таким образом, происходит экономия мощности за счет повышения К.П.Д. привода (η) с 0.5 до 0.8 и его разблокирование, примерно, в среднем, в 1.8 раза.*

Ключевые слова: *дождевальная машина «Кубань-ЛК1»; мотор-редуктор; волновая передача; коэффициент полезного действия; экспериментальные исследования; мощность привода*.

EVALUATION OF ENERGY INDICATORS OF THE IMPROVED DRIVE OF MULTI-SUPPORT SPRINKLERS, SUCH AS «KUBAN-LK1»

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

Abstract. *The issues of assessing the energy performance of the improved drive of a multi-support irrigation machine (DM) operating in motion in the Kuban-LK1 circle are described. It is noted that in order to increase the efficiency of DM cart drives and increase the speed of their movement, it is necessary to develop geared motors with a high gear ratio. The most promising option seems to be the use of energy-intensive gearmotors equipped with wave transmission. The rationale for the use of highly efficient gearing is given through theoretical studies. It is indicated that today, in the design of machines of this type, wheel gears with ineffective worm gears are used, as a result of which a blocked connection and uneven peripheral wheel speeds are formed in the transmission of running systems, which leads to a decrease in efficiency. operation of gear motors. It is possible to eliminate such negative qualities of the operation of the Kuban-LK DM by equipping it with gearmotors with wave transmission. Experimental studies of the machine were carried out at Ozery JSC, Kolomensky district, Moscow region, on a prototype of an 8-bogie electrified multi-support DM "Kuban-LK1". On four trolleys (No. 2, No. 3, No. 7 and No. 8), gear motors with wave transmission were installed on each wheel. Potatoes were watered. Agricultural background is a field planted with potatoes. The slope of the field along the water supply pipeline and in the direction of movement of the carts did not exceed ± 0.01. As a result of the research, operational indicators were obtained, presented in Table 1, which allowed us to draw the following conclusions: power consumption of the support trolley with a modernized drive when operating; two electric motors, is 300 - 370 W. Under the same conditions, a serial drive consumes 630 – 670 W. Thus, power savings occur due to increased efficiency. drive (η) from 0.5 to 0.8 and its unlocking, on average, by approximately 1.8 times.*

Keywords: *sprinkler machine «Kuban-LK1»; gear motor; wave transmission; efficiency; experimental studies; drive power.*

Для цитирования: 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 Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 62-70. https://doi.org/10.35887/2305- 2538-2023-6-62-70.

For citation: Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Antipov A. Evaluation of energy indicators of the improved drive of multi-support sprinklers, such as "Kuban-LK1". *Nauka v central'noj Rossii =* Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 62-70. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-62-70.

Введение. Для расширения функциональных возможностей дождевальной машины с электроприводом «Кубань-ЛК1», необходимо совершенствование приводов ее тележек, заключающееся в разработке мотор-редукторов с индивидуальным электроприводом каждого колеса с волновой передачей, имеющих высокий К.П.Д. и увеличенное передаточное отношение позволяющее повысить скорость движения тележек почти в 2 раза. Это дало возможность расширить диапазон ДМ по внедрению новых технологий орошения (полив малыми поливными

нормами, мелкодисперсное увлажнение и другие) с сохранением энергетических затрат, присущих серийной ДМ [1, 3, 11].

Материалы и методы. По сегодняшний день, в конструкции приводов дождевальной машины «Кубань-ЛК1» применяется узел, в котором крутящий момент, через входные валы центрального мотор-редуктора, передается, посредством карданного соединения, на валы индивидуальных колесных редукторов тележек ДМ. При такой компоновке трансмиссии образуется блокированная связь, препятствующая движению машины в обратном направлении (рисунок 1) [12, 13].

Также, при использовании блокированных приводов, при определенных условиях эксплуатации, возможно образование эффекта циркуляция мощности, из-за неравномерности окружных скоростей вращения выходных валов колесных редукторов. Этот эффект отрицательно сказывается на общем К.П.Д. работы машины, а также увеличивает износ шин. В свою очередь, применение дифференциального привода, исключает указанный недостаток, однако имеет свои отрицательные качества, так если одно из колес опорной тележки попало в худшие сцепные условия, то второе колесо, также, в следствии дифференциального эффекта, имеет пониженное сцепление с опорной поверхностью. Стоит отметить, что при использовании, так называемого блокированного привода, поступательные скорости будут выравниваться только при буксовании или скольжении одного из колес [2, 8].

Наилучшие тяговые показатели привода могут быть получены при оснащении каждого колеса тележек машины независимым мотор-редуктором с высокоэффективным волновым зубчатым зацеплением [9].

Рисунок 1 – Тележка с энергосберегающим электроприводом ДМ «Кубань-ЛК1»

Исследования многоопорной ДМ «Кубань-ЛК1» проводились в АО «Озеры» Коломенского района Московской области на макетном образце 8 тележечной модификации. На четырех тележках (№2, №3, №7 и №8) были установлены, на каждом колесе, мотор-редуктора с волновой передачей. Производился полив картофеля. Агрофон – поле, засаженное картофелем. Общий уклон обрабатываемой поверхности, по всей длине многоопорной машины, составлял в среднем ± 0.01 [15, 17].

Замеры скорости движения опорных тележек машины, осуществлялось при ее безостановочной работе с применение измерительной ленты и секундомера. Количество замеров

составляло не менее 3-х. Дополнительных параметром для фиксации, были полные обороты пневматического колеса [6, 7].

Мощность, потребляемая движителем опорной тележки на перемещение, определялась при подключении ваттметром, которые устанавливались по схеме, представленной на рисунке 2. При этом, мощность, потребляемая приводами опорных тележек, вычислялась по зависимости 1:

$$P = P_{w1} + P_{w2} \quad (1)$$

где: $P_{w1} = U_{AC} \times J_A \times \cos\varphi_1$ – показания первого ваттметра (Д5004, №51748, 1979 г. цена деления – 15 Вт);

φ_1 – угол сдвига фаз между напряжением U_{AC} и током J_A;

$P_{w2} = U_{BC} \times J_B \times \cos\varphi_2$ – показание второго ваттметра (Д50047, №15884, 1973 г., цена деления 15 Вт);

φ_2 – угол сдвига между напряжением U_{AC} и током J_A.

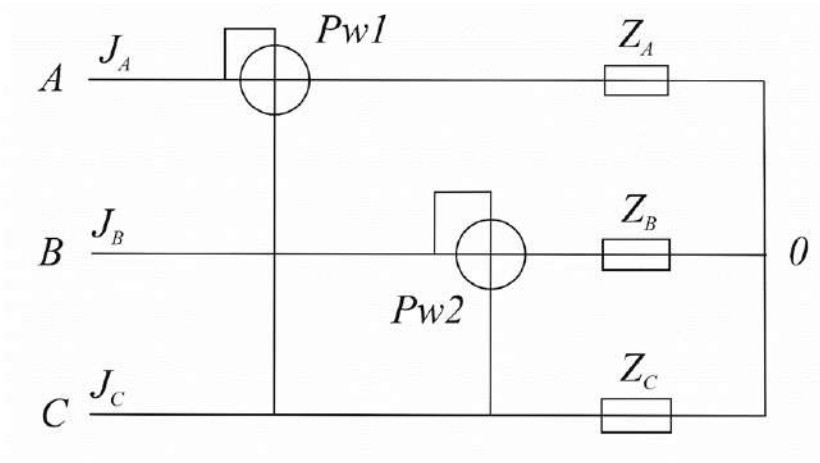

Рисунок 2 – Схема включения двух ваттметров в трехфазную сеть

Мощность замерялась при следующих условиях: движение машины с водой и без нее; движение вверх по уклону и вниз, движение с двумя одновременно работающими электродвигателями и с одним двигателем [14, 16].

Показатели снимались на тележках с серийными и новыми приводами.

Отличие макетного образца машины от ее серийной модификации заключалось в установке на четырех тележках индивидуальных мотор-редукторов с малозатратными (волновыми) зубчатыми зацеплениями.

Мотор-редуктор выполнен в двух вариантах: асинхронный электродвигатель АИРБ 8004 с редуктором МК-0.65 и асинхронный движитель АИРБ 8004Е с редуктором МК-0.65.

Двигатели обеспечивают работу в следующих режимах:

1. С поливом – в режиме $S4$, согласно паспорту технического изделия [10, 19], с продолжительностью включений ПВ 10 – 90%, коэффициенте инерции $FJ = 1.2$ (300 включений в час);

2. Без полива в режиме SI, согласно паспорту технического изделия, а также $S4$ с продолжительностью включений до 85 – 95% при коэффициенте инерции $FJ = 1.2$ и 300 включений в час. Полезная мощность в режиме без полива снижается на 25%.

Общее время работы в режимах без полива не превышало 20% общего ресурса двигателя.

Степень защиты двигателей IP56 по ГОСТ 17494-87, по линии вала IP44 [4].

Способ охлаждения двигателей ICAOOA4I по ГОСТ 20459-87 [5].

Питание катушки тормоза осуществляются постоянным током через выпрямительный мост, включенный в разрыв одной из фаз двигателя. Время срабатывания электромагнита тормоза

(растормаживание), т.е. промежуток времени с момента подачи напряжения на двигатель до начала движения якоря [18, 20].

Результаты и их обсуждение. Результаты измерений мощности, потребляемой опорными тележками машины, с серийными и модернизированными двигателями представлены в таблице 1.

Таблица 1- Мощность, потребляемая двигателями опорных тележек

Тип привода	Мощность, Вт		
	Уклон		
	$i = 0.0$	$i = +0.01$	$i = -0.01$
Серийный	0.640	0.670	0.630
Модернизированный: • двумя двигателями • одним двигателями	 0.350 0.220	 0.370 0.260	 0.300 0.175
Движение с одним двигателем	0.270	0.275	0.235

Потребление мощности опорной тележкой с модернизированным приводом при работающих; двух электродвигателях, составляет 300 –370 Вт. При тех же условиях серийный привод потребляет 630 – 670 Вт. Таким образом, происходит экономия мощности за счет повышения К.П.Д. привода (η) с 0.5 до 0.8 и его разблокирование, примерно, в среднем, в 1.8 раза.

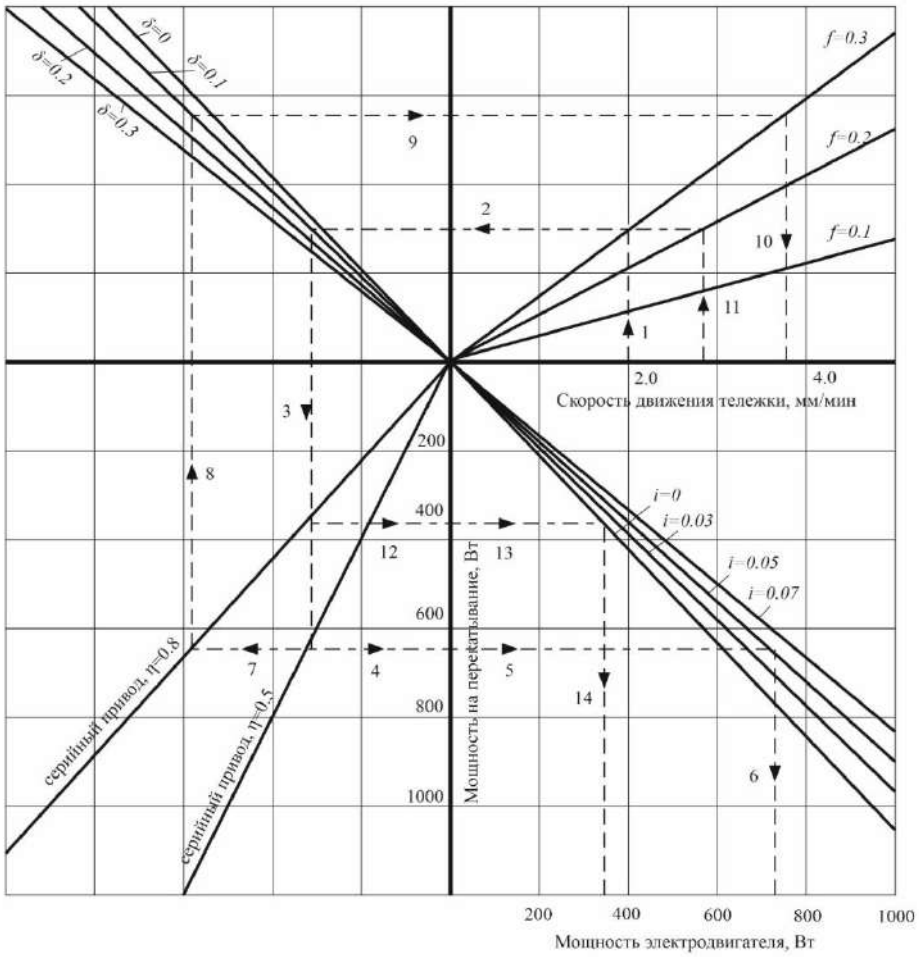

Рисунок 3 – Номограмма для определения энергетических затрат на передвижение опорных тележек МДЭ «Кубань-ЛК»

Мощность, потребляемая одним двигателем при одновременно работающих двух двигателях, колеблется в пределах от 179 – 260 Вт. Из-за не идентичности условий их работы (изготовление, давление в шинах и др.) происходит перераспределение мощности между двигателями в пределах 100 Вт (паразитная мощность), которая циркулирует в приводе.

Потребляемая мощность одной тележкой при работающем одном электродвигателе составляет 235 – 275 Вт.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследованиях построена номограмма по определению энергетических показателей привода опорных тележек, дождевальных машин «Кубань-ЛК1» в зависимости от коэффициента сопротивления перекатыванию f, скорости движения тележки V, коэффициента буксования δ; К.П.Д. передачи η и уклона i (рисунок 3). Пользование номограммой осуществляется следующим образом. Для выбранной максимальной скорости движения последней опорной тележки ЭМДМ «Кубань-ЛК1», которая определяет величину минимальной поливной нормы, с учетом коэффициентов сопротивления перекатыванию ($f = 0.2$, линия 1) и буксованию ($\delta = 0.1$, линия 2), КПД передачи ($\eta = 0.5$, линия 3), определяется мощность, затрачиваемая электродвигателем с серийным приводом на перекатывание (640 Вт, линия 4). Мощность, затрачиваемая на преодоление тележкой уклона поля по ходу ее движения (линия 5), суммируется с мощностью, затрачиваемой на перекатывание, и определяет мощность электродвигателя (670 Вт, линия 6). В аналогичных условиях движения машины и при той же мощности электродвигателя возможно, за счет повышения К.П.Д. $\eta = 0.8$ привода повысить скорость движения опорной тележки в 1.5 раза (линии 7 – 8 – 9 – 10).

Заключение. Экспериментальные исследования привода опорной тележки с волновыми редукторами показали, что на ее перекатывание ($f = 0.2$, линия 11), ($\delta = 0.1$, линия 12), ($\eta = 0.8$, линия 3) затрачивается мощность 350 Вт (линия 12), а с учетом уклона $i = 0.03$ (линии 13 и 14) – 370 Вт (линия 14), против серийной (заблокированной) конструкции, соответственно, 640 и 670 Вт.

Список источников

1. Баранский А.Н. Улучшение эксплуатационных показателей и использование колесных редукторов. Минск, Урожай, 1968. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01005958233?ysclid=losvkeyhg5410574493.

2. Винокур Е.Я., Лапидовский А.К., Рязанцев А.И. Повышение эффективности применения дождевальных машин кругового действия с электроприводом «Кубань-ЛК1». Сборник научных трудов В/О «Союзводпроект», Москва, 1990 г. URL: https://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-poliva-mnogoopornymi-dozhdevalnymi-mashinami?ysclid=losvm4vomp270074550.

3. Гаврилица А.О., Пеньков М.С., Мангул И.Д., Рязанцев А.И. Рекомендации по обоснованию рациональной технологии полива склоновых земель машиной «Фрегат». – Кишинев, Картя Молдовеняскэ, - 1990 – 34 с. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001558024?ysclid=losvl3t3da998231412.

4. ГОСТ 17494-87. Машины электрические вращающиеся. Методы охлаждения. Обозначения. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. 16 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294835/4294835268.pdf?ysclid=losusqguep635675475.

5. ГОСТ 20459-87. Машины электрические вращающиеся. Классификация степеней защиты, обеспечиваемых оболочками вращающихся электрических машин. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. 25 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294832/4294832920.pdf?ysclid= losut94he7522586109.

6. ГОСТ 8224-1-2004. Машины дождевальные подвижные. Часть 1. Эксплуатационные характеристики и методы лабораторных и полевых испытаний. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200044530.

7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Изд. 5-е, доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985.

– 351 с.: ил. – Гл. 5: Планирование полевого эксперимента. – С. 72 – 10; Гл. 18: Дисперсионный анализ). – С. 207-267. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01005422754?ysclid=lovnxsaprn44371513.

8. 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 имени П.А. Костычева. 2023. Т 15, № 2, С. 119-124 https://doi.org/ 10.36508/ RSATU.2023.72.87.016 URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54188403.

9. Иванов М.Н. Волновые зубчатые передачи. М.: Высшая школа, 1981. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001063959?ysclid=losuwzf4b7441652634.

10. Каталог. Могилевский завод «Электродвигатель», Могилев., Респ. Беларусь, 2008. с. 38. URL: https://mogilez.nt-rt.ru/images/showcase/katalog.pdf?ysclid=losuqnkkmc396689092.

11. Кравченко В.А. Результаты испытаний основных сельскохозяйственных агрегатов с упругодемпфирующим механизмом в силовой передаче мобильного энергетического средства класса 1,4 / Кравченко В.А., Кравченко Л.В. // Вестник аграрной науки Дона. 2022. Т. 15. № 3 (59). С. 15-25. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=49872585.

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

13. Организация участка орошения для эффективной эксплуатации дождевальной машины «Каскад 65Т» / Соловьев Д.А., Горюнов Д.Г., Грепечук Ю.Н., Загоруйко М.Г., Кузнецов Р.Е. // Природообустройство. 2023. № 1. С. 28-32. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=52474535.

14. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008275977/?ysclid=losvbmr3tj149381548.

15. Евсеев Е.Ю. Направления повышения опорных свойств дождевальных машин / Рязанцев А.И., Антипов А.О., Евсеев Е.Ю. // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти члена-корреспондента РАСХН и НАНКР академика МАЭП и РАВН Бочкарева Я.В. – Часть II. – Рязань: РГАТУ, 2020. – С. 314-319.URL: https://elibrary.ru/vwkjkq?ysclid=lovo3k51ku926388125.

16. Рязанцев А.И. Направления совершенствования дождевальных машин и систем. [Текст] А.И. Рязанцев – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2013. – 305 с. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20907374.

17. Рязанцев А.И., Костенко М.Ю., Евсеев Е.Ю., Антипов О.В., Антипов А.О. Обоснование параметров по совершенствованию регулятора расхода дождевальных аппаратов машины Кубань-ЛК1 / Научно-производственный журнал «Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева» №4 2020 г. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44845900.

18. Рязанцев А.И., Турапин С.С., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О. Обоснование регулирования расхода дождевальных аппаратов широкозахватных машин кругового действия // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. №3. С.6-10. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=48644180.

19. Рязанцев, А.И. Механизация полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия в сложных условиях [Текст] / А.И. Рязанцев. – Рязань: Рязаньагроинформ, 1991. – 131 с. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001598513?ysclid=losvjpkzlz878448393.

20. Удовенко А. И., Современные системы орошения и особенности их применения [Электронный ресурс]/ Удовенко А. И. – URL: http://www.yug-poliv.ru/article/ oborudovanie_dlya_kapelnogo_poliva/sovremennye_sistemy_orosheniya_i_osobennosti_ikh_primeneniya.

References

1. Baransky A.N. Improvement of operational indicators and use of wheel reducers. Minsk, Harvest, 1968. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01005958233?ysclid=losvkeyhg5410574493.

2. Vinokur E.Ya., Lapidovsky A.K., Ryazantsev A.I. Improving the efficiency of the use of circular sprinkler machines with electric drive "Kuban-LC1". Collection of scientific papers In/About

"Soyuzvodproekt", Moscow, 1990 URL: https://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-poliva-mnogoopornymi-dozhdevalnymi-mashinami?ysclid=losvm4vomp270074550.

3. Gavrilitsa A.O., Penkov M.S., Mangul I.D., Ryazantsev A.I. Recommendations on substantiation of rational technology of irrigation of slope lands by the machine "Frigate". – Chisinau, Kartya Moldovenyaske, - 1990 – 34 p. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001558024?ysclid=losvl3t3da998231412.

4. GOST 17494-87. Electric rotating machines. Cooling methods. Moscow: USSR State Committee on Standards, 1987. 16 p. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294835/4294835268.pdf?ysclid=losusqguep635675475 .

5. GOST 20459-87. Electric rotating machines. Classification of degrees of protection provided by shells of rotating electric machines. Moscow: USSR State Committee on Standards, 1987. 25 p. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294832/4294832920.pdf?ysclid=losut94he7522586109.

6. GOST 8224-1-2004. Sprinklers are mobile. Part 1. Operational characteristics and methods of laboratory and field tests. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200044530.

7. Dospekhov B. A. Methodology of field experience: (with the basics of statistical processing of research results) / B. A. Dospekhov. - Ed. 5th, supplement and revision – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 p.: ill. – Chapter 5: Planning a field experiment. – pp. 72-10; Chapter 18: Analysis of variance). – pp. 207-267. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01005422754?ysclid=lovnxsaprn44371513.

8. Evseev E.Yu., Ryazantsev A.I., Rembalovich G.K., Antipov A.O., Murog I.A. Technical solutions for improving the productivity of a multifunctional circular machine on slope areas // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. T 15, No. 2, pp. 119-124 https://doi.org / 10.36508/ RSATU.2023.72.87.016 URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=54188403.

9. Ivanov M.N. Wave gears. M.: Higher School, 1981. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001063959?ysclid=losuwzf4b7441652634.

10. Catalog. Mogilev plant "Electric Motor", Mogilev., Rep. Belarus, 2008. p. 38. URL: https://mogilez.nt-rt.ru/images/showcase/katalog.pdf?ysclid=losuqnkkmc396689092 .

11. Kravchenko V.A. Test results of basic agricultural aggregates with an elastic damping mechanism in the power transmission of a mobile energy means of class 1,4 / Kravchenko V.A., Kravchenko L.V. // Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2022. VOL. 15. No. 3 (59). pp. 15-25. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=49872585.

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

13. Organization of the irrigation site for the effective operation of the Cascade 65T sprinkler machine / Soloviev D.A., Goryunov D.G., Grepechuk Yu.N., Zagoruiko M.G., Kuznetsov R.E. // Nature management. 2023. No. 1. pp. 28-32. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=52474535.

14. Resource–saving energy-efficient environmentally safe technologies and technical means of irrigation: reference. - M.: FSBI "Rosinformagrotech", 2015. – 264 p. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008275977 /?ysclid=losvbmr3tj149381548.

15. Evseev E.Yu. Directions for improving the supporting properties of sprinkler machines / Ryazantsev A.I., Antipov A.O., Evseev E.Yu. // An integrated approach to scientific and technical support of agriculture: Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the memory of corresponding member of RASKHN and NANKR Academician MAEP and RAVN Bochkarev Ya.V. – Part II. – Ryazan: RGATU, 2020. – pp. 314-319.URL: https://elibrary.ru/vwkjkq?ysclid=lovo3k51ku92638812516. Ryazantsev A.I. Directions of improvement of sprinkler machines and systems. [Text] A.I. Ryazantsev – Ryazan: FSUE IN RGATU, 2013. – 305 p. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20907374.

17. Ryazantsev A.I., Kostenko M.Yu., Evseev E.Yu., Antipov O.V., Antipov A.O. Justification of parameters for improving the flow regulator of sprinklers of the Kuban-LK1 machine / Scientific and production journal "Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev" No. 4 2020 URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44845900.

18. Ryazantsev A.I., Turapin S.S., Evseev E.Yu., Antipov A.O. Substantiation of the regulation of the flow of sprinklers of wide-reach circular machines // Land reclamation and water management. 2022. No.3. pp.6-10. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=48644180

19. Ryazantsev, A.I. Mechanization of irrigation with wide-reach circular sprinkler machines in difficult conditions [Text] / A.I. Ryazantsev. – Ryazan: Ryazanagroinform, 1991. – 131 p. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01001598513?ysclid=losvjpkzlz878448393.

20. Udovenko A. I., Modern irrigation systems and features of their application [Electronic resource]/ Udovenko A. I. – URL: http://www.yug-poliv.ru/article/oborudovanie_dlya_kapelnogo_poliva/sovremennye_sistemy_orosheniya_i_osobennosti_ikh_primeneniya.

Информация об авторах

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

Information about the authors

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

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 20.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 22.12.2023