

Оригинальная статья

УДК 631.6:631.347

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-33-39>



ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

Башмаков Игорь Андреевич , канд. техн. наук, научный сотрудник;

ORCID: 00-003-051-28, WoSResercherID: AGN-4580-2022, AuthorID: 1130809; bashmakov@rgau-msha.ru

Загоруйко Михаил Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник;

ORCID: 0000-0001-7826-3773, WoSResercher ID: AAF-6639-2021, Scopus ID: 57220182022, РИНЦ AuthorID: 323776;

zagorujko.misha2013@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5, Россия

Аннотация. Орошение земель является одним из важных факторов получения стабильных и высоких урожаев сельскохозяйственных культур. В России до 80% пахотных земель расположено в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения почвы. Для орошения почвы используются дождевальные машины. Производители дождевального оборудования предлагают широкий ассортимент машин для работы на закрытых оросительных сетях. В качестве колесного редуктора дождевальных машин чаще всего используется редуктор (АТ). Этот редуктор, разработанный для самых современных систем кругового орошения, имеет самую большую расширительную камеру в отрасли. Важным компонентом колесной передачи является червячная передача. При анализе существующих конструкций арочных дождевальных тележек был сделан вывод о необходимости оптимизации некоторых ее элементов. Таким является упругий элемент муфты, изготовленный из полимерного материала. Силовые элементы упругой вставки работают в основном на изгиб. Наиболее опасной частью этого элемента является основание зуба. В большинстве случаев этот элемент обеспечивает необходимую работоспособность привода дождевальной машины, но при пиковых значениях крутящего момента (движение колесной тележки по сложному участку) возможна его деформация ввиду недостаточной прочности. Поэтому целью нашей работы является улучшение прочностных характеристик элементов привода дождевальной тележки арочного типа путем оптимизации их конструктивных параметров. Для расчета нагрузок на редуктор использовались классические методы расчета червячных передач с учетом коэффициентов, зависящих от окружающей среды. Для изготовления прототипа на 3D-принтере использовался метод конечных элементов с применением программной среды Компас 3D.

Ключевые слова: дождевальная машина, орошение, прочностные характеристики элементов привода, арочная дождевальная тележка, червячная передача, редуктор, скорости скольжения

Формат цитирования: Башмаков И.А., Загоруйко М.Г. Особенности конструкции элементов привода электрических дождевальных машин кругового действия // Природообустройство. 2023. № 5. С. 33-39. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-33-39>

© Башмаков И.А., Загоруйко М.Г., 2023

Original article

PECULIARITIES OF THE DESIGN OF DRIVE ELEMENTS FOR ELECTRIC CIRCULAR SPRINKLING MACHINES

Bashmakov Igor Andreevich, candidate of technical sciences, researcher,

ORCID: 00-003-051-28, WoSResercher ID: AGN-4580-2022, AuthorID: 1130809; bashmakov@rgau-msha.ru

Zagorujko Mikhail Gennadievich, candidate of technical sciences, associate professor, senior Researcher

ORCID: 0000-0001-7826-3773, WoSResercher ID: AAF-6639-2021, Scopus ID: 57220182022, РИНЦ AuthorID: 323776;

zagorujko.misha2013@yandex.ru

Federal scientific agroengineering center VIM; 109428, Moscow, 1st Institutskiy proezd, 5, Russia

Abstract. Land irrigation is one of the important factors in obtaining stable and high crop yields. In Russia, up to 80% of arable land is located in zones of insufficient and unstable soil moisture. Sprinkler machines are used to irrigate the soil. Manufacturers of sprinkler equipment offer a wide range of machines

to work on closed irrigation networks. Angular transmission (AT) is most commonly used as the wheel gear of sprinkler machines. An important component of the wheel gearbox is the worm gear. When analyzing the existing designs of arch sprinkler carts, it was concluded that it is necessary to optimize some of its elements. Such an element, in our opinion, is the elastic element of the coupling, made of polymeric material. The force elements of the elastic insert work mainly in bending. The most dangerous part of this element is the base of the "tooth". In most cases, this element provides the necessary performance of the sprinkler drive, but at the peak values of torque (movement of wheeled cart on a difficult section) its deformation due to insufficient strength is possible. Therefore, the purpose of our work is to improve the strength characteristics of the drive elements of the arch-type sprinkler cart by optimizing their design parameters. To calculate the loads on the gearbox, classical methods of calculation of worm gears were used, taking into account the coefficients that depend on the environment. The finite element method with the use of the software environment Compass 3D was used to manufacture the prototype on a 3D printer.

Key words: sprinkler, irrigation, strength characteristics of drive elements, arched sprinkler trolley, worm gear, gearbox, sliding speeds

Form of citation: Bashmakov I.A., Zagoruiko M.G. Peculiarities of the design of drive elements for electric circular sprinkling machines // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 5. P. 33-39. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-5-33-39>

Введение. Стабильное орошение полей является решающим фактором для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур и устойчивого развития агропромышленного комплекса. Это особенно важно для районов с неустойчивыми и неблагоприятными климатическими условиями.

Большая часть сельскохозяйственных угодий в России расположена в зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения почвы [1].

Ведущие отечественные и зарубежные производители техники – такие, как Lindsay, Zimmatic, Valley, Bauer, Valmont, Pierce, Reinke, Фрегат, Кубань-ЛК, Каскад, Орсис и многие другие, предлагают модельный ряд широкозахватных дождевальных машин [2]. Эти машины имеют различную ширину захвата, обладают широким диапазоном водопотребления и технологическими схемами полива с различными типами водозаборов и типами привода двигателей. Производители техники предлагают широкий ассортимент дождевальных машин для работы на закрытых оросительных сетях низкого давления, что позволяет снизить энергозатраты на подачу воды к дождевальной машине, а также уменьшить стоимость ее закрытой сети.

Для достижения лучшего экономического эффекта при поливе сельскохозяйственных культур современные производители многопорных широкозахватных дождевальных машин выпускают их в различных модификациях (конфигурациях). Существуют модификации с фронтальным движением, машины с круговым движением и комбинированные («шподромные»), способные орошать поля овальной формы, захватывая наибольшую площадь поля), что является

неоспоримым преимуществом импортной дождевальной техники.

К предыдущим исследованиям, связанным с совершенствованием технологии, энергоэффективности и надежности круговых дождевальных машин, относятся работы таких ученых, как А.И. Рязанцев, С.М. Бакиров, Б.Б. Мелихов, Н.Ф. Рыжко, В.Г. Абезин и др. Работы по совершенствованию оросительных систем направлены на модернизацию дождевальных машин, оптимизацию элементов конструкции рамы дождевальной машины, а также на повышение энергоэффективности. Наша работа направлена на модернизацию элемента привода дождевальной машины [1, 3-6].

Цель исследований: улучшение прочностных характеристик элементов привода дождевальной тележки арочного типа путем оптимизации их конструктивных параметров.

Материалы и методы исследований. По сравнению с дождевальными машинами фронтального действия машины кругового действия имеют ряд других преимуществ, а именно:

- упрощенное автоматическое управление;
- меньшее количество этапов регулировки и точной настройки;
- отсутствие износа подающего трубопровода;
- возможность стационарного вспомогательного электроснабжения;
- более низкие трудозатраты на обслуживание и ремонт;
- быстрота и эффективность отключения в случае аварийной ситуации;
- меньшая материалоемкость на площадь орошения [4].

Наиболее часто используемым колесным редуктором является редуктор с угловой

передачей (АТ). Разработанный для использования в самых современных системах кругового орошения, этот редуктор имеет самую большую в отрасли расширительную камеру, которая снижает внутреннее давление и температуру. Другие особенности – такие, как универсальные монтажные приспособления, внешние колоколообразные клинья, болты с буртиком и т.д., обеспечивают долговечность и непревзойденную прочность редуктора.

В качестве мотор-редуктора чаще всего применяются мотор-редуктор ICI 34 RPM и аналогичные модели.

Расчет привода тележки дождевальной машины кругового действия проводится согласно стандартным расчетам зубчатых передач [7].

Важной составляющей колесного редуктора является червячная пара. Главной особенностью червячных передач является способность значительно уменьшать угловую скорость ведомого вала.

В зависимости от формы различают цилиндрические и глобоидные червячные передачи. Глобоидные червячные передачи применяются в тех случаях, когда необходимо увеличить КПД червячной передачи. Но для изготовления такого червяка необходимы специальное оборудование и повышенные требования к качеству изготавливаемых деталей.

Форма поверхности винтовой резьбы цилиндрического червяка определяет передачу с архимедовым, эвольвентным или конволютным червяком.

Одним из преимуществ червячных передач является способность к самоторможению, что предотвращает обратное вращение червячного колеса.

Червячные редукторы имеют и другие преимущества – такие, как плавное движение, бесшумная работа и компактность.

Червячные редукторы имеют большой потенциал для увеличения крутящего момента и уменьшения скорости по сравнению с другими типами редукторов благодаря высокому передаточному числу червячной пары. Передаточное число в данном случае может достигать $u = 110$.

В случае использования данного типа редукторов в приводе колесной тележки дождевальной машины не рекомендуется применять червячные редукторы при мощности более 60 кВт [8].

Основные геометрические соотношения в червячной передаче определяются методом, аналогичным тому, который используется для расчета параметров зубчатых колес [9].

В процессе движения дождевальной машины по почве тяговые свойства колесной тележки

зависят в основном от типа и состояния почвы, а также от конструктивных параметров и типа двигателя. В зависимости от физико-механических свойств почвы для одного и того же типа двигателя тяговое усилие и другие показатели будут различными. При этом на почвах с низкой несущей способностью ниже будут тяговое усилие, тяговая мощность, скорость движения, а выше – буксование.

Из перечисленных факторов, влияющих на скорость движения дождевальной машины в условиях неравномерного сопротивления почвы (в процесс полива орошаемых земель могут возникать участки с разной степенью увлажненности), в первую очередь стоит учитывать скорости скольжения витков червяка по зубьям червячного колеса. В червячной передаче в отличие от зубчатой окружные скорости не совпадают по направлению, а являются перпендикулярными друг другу и различными по значению.

Окружные скорости червяка и червячного колеса можно определить из выражения:

$$V_1 = \frac{\omega_1 d_1}{2}; V_2 = \frac{\omega_2 d_2}{2}, \quad (1)$$

где V_1 – окружная скорость цилиндрической шестерни, м/с; V_2 – окружная скорость зубчатого колеса, м/с; ω_1 – угловая скорость вращения цилиндрической шестерни, мин^{-1} ; ω_2 – угловая скорость вращения зубчатого колеса, мин^{-1} ; d_1 – диаметр цилиндрической шестерни, м; d_2 – диаметр зубчатого колеса, м.

Скорости скольжения в червячном зацеплении определяются из параллелограмма скоростей (рис. 1) [9]:

$$V_{ck} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} = \sqrt{\left(\frac{\pi n_1 d_1}{60 \cdot 1000}\right)^2 + \left(\frac{\pi n_2 d_2}{60 \cdot 1000}\right)^2} = \frac{\pi n_1 m}{60 \cdot 1000} \sqrt{z_1^2 q^2}, \quad (2)$$

где n_1 – частота вращения червяка, мин^{-1} ; n_2 – частота вращения зубчатого колеса, мин^{-1} ; m – модуль зацепления; z_1 – число ступеней червячной передачи; q – коэффициент диаметра червяка.

Эта скорость также может быть определена из выражения [8]:

$$V_{ck} = 4,3 \cdot 10^{-4} n_1 \sqrt{T_1^2} f, \quad (3)$$

где T_1 – крутящий момент на червячном колесе, Н м; f – коэффициент сопротивления движению. Данный коэффициент учитывает неравномерности нагрузки на приводе колесной тележки дождевальной машин в зависимости от типа покрытий, по которому движутся колеса машины [10].

Если скорость скольжения $v_{ck} \leq 5$ м/с, то венцы червячных колес изготавливают из оловянных бронз (методом наплавки или запрессовки).

Для тихоходных передач ($v_{ck} \leq 5$ м/с) применяют безоловянные бронзы.

Что касается конструкции червячного колеса, то применимо к рассматриваемой в данной работе конструкции привода тележки дождевальной машины данный элемент изготавливается из чугуна СЧ20 без латунного венца. Данное конструктивное решение обусловлено низкой скоростью вращения червячной пары и стремлением снизить общую себестоимость колесного редуктора.

Результаты и их обсуждение. В процессе анализа существующих конструкций арочных дождевальных тележек был сделан вывод о необходимости оптимизации отдельных ее элементов, а именно элементов сцепки [11]. Им, на наш

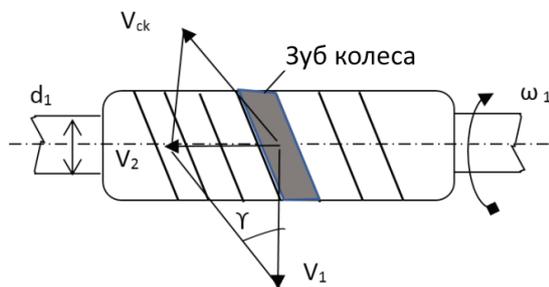


Рис. 1. Скорость скольжения в червячной передаче

Fig. 1. Sliding speed in worm gear

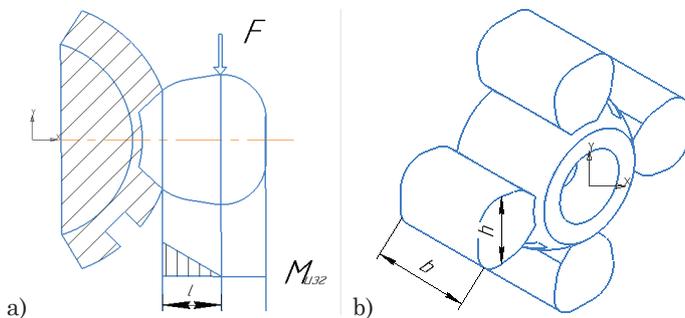


Рис. 2. К расчету элемента упругой вставки муфты на изгиб:

a) расчетная схема; b) размеры поперечного сечения

Fig. 2. To the calculation of the bending element of the elastic coupling insert:

a) – calculation scheme; b) – cross-sectional dimensions



Рис. 3. Установка прототипа упругого элемента в конструкцию муфты

Fig. 3. Installation of the prototype of the elastic element in the coupling design

взгляд, является упругий элемент муфты, выполненный из полимерного материала (в большинстве случаев из полиуретана). Для более детального изучения прочностных характеристик этого элемента методами имитационного моделирования была разработана его 3D-модель [12, 13].

Для проверки адекватности проведенного программного расчета с применением имитационного моделирования приведем методику расчета данного элемента на изгиб (рис. 2).

Для проведения аналитического расчета введем ряд допущений:

1) зуб упругой вставки будем рассматривать как консольную балку прямоугольного сечения;

2) сила F (рис. 2а) является результирующей от действия внешнего крутящего момента. Процедура определения сил от действия крутящего момента в плоскости является стандартной [8];

3) при определении момента сопротивления поперечного сечения зуба учитываются размеры в его опасном сечении (у основания зуба);

4) разрушение элемента начинается с растягивающей стороны зуба.

Условие прочности для расчета элемента «Зуб» будет выглядеть следующим образом:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_z} = [\sigma], \quad (4)$$

где σ_{max} – максимальное расчетное напряжение в опасном сечении, МПа; $[\sigma]$ – значение допускаемого напряжения для данного материала, МПа; M_{max} – значение изгибающего момента в опасном сечении, Н·м; W_z – осевой момент сопротивления сечения, Н·м.

Максимальный расчетный момент определим из выражения:

$$M_{max} = F \cdot l, \quad (5)$$

где F – внешняя сила воздействия крутящего момента, Н·м; l – плечо силы, м.

С учетом того, что принятая форма поперечного сечения – это прямоугольник, выражение для определения осевого момента сопротивления сечения при изгибе будет иметь вид:

$$W_z = \frac{bh^2}{6}, \quad (6)$$

где b – ширина поперечного сечения зуба, м; h – высота поперечного сечения зуба, м.

После прочностного анализа и оптимизации геометрических параметров упругого элемента муфты методом конечных элементов в программной среде Компас 3D его прототип был распечатан на 3D-принтере (рис. 3), и проведены

механические испытания полученного прототипа на действие крутящего момента (рис. 4).

Материал, из которого изготовлен прототип (АВС-пластик), не обладает такими же упругими свойствами, как промышленный образец, однако этот прототип дает достаточно полное представление о технологической (геометрической) совместимости с конструкцией муфты, несмотря на ряд изменений в местах наиболее опасных участков, которые являются по сути концентраторами напряжений.

При оптимизации геометрических параметров упругой вставки в конструкцию этой детали был внесен ряд изменений. Основные изменения заключаются в увеличении радиусов закругления в местах концентраторов

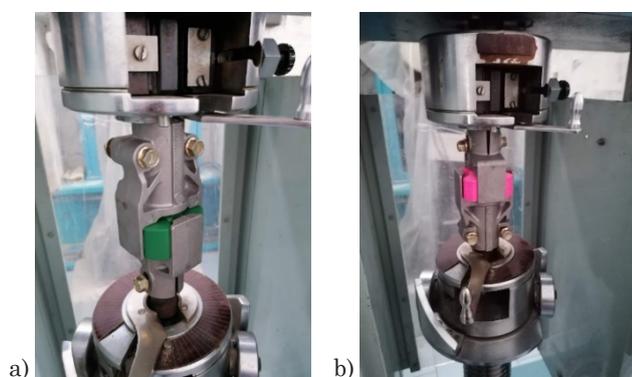


Рис. 4. Механические испытания упругого элемента муфты на торсионной машине МК50:

- а) испытание производственного образца;
б) испытание опытного образца

Fig. 4. Mechanical tests of the elastic element of the coupling on the torsion machine MK50:

- a) test of the production sample, b) test of the prototype

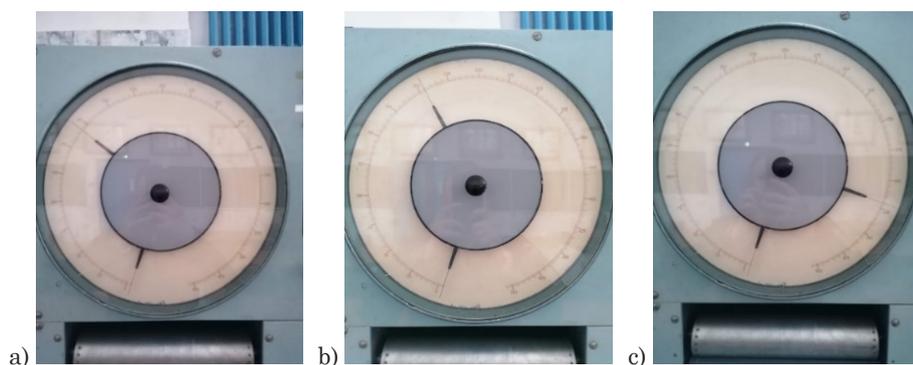


Рис. 5. Результаты механических испытаний упругого элемента муфты на торсионной машине МК50:

- а) испытание неизменного прототипа;
б) испытание производственного образца;
в) испытание прототипа оптимизированной модели

Fig. 5. Results of mechanical tests of the elastic element of the coupling on the torsion machine MK50:

- a) – test of the unchanged prototype; b) – test of the production sample;
c) – test of the prototype of the optimized model

напряжений (у основания зуба). Результаты механических испытаний серийного образца и оптимизированного прототипа приведены на рисунке 5.

Большее значение максимального разрушающего момента прототипа по сравнению с производственным образцом объясняется большей твердостью материала и измененной геометрией прототипа.

Следует отметить, что прототип с исходными геометрическими параметрами также был испытан, и здесь наблюдалась обратная картина: напечатанный прототип (рис. 5а) вышел из строя при меньшем значении крутящего момента.

Муфты, применяемые в машиностроении, являются в основном стандартизированными. В некоторых случаях приходится проектировать новые муфты, определяя расчетным путем конструктивные размеры их элементов. Одним из основных критериев работоспособности муфты является значение допускаемого номинального крутящего момента $M_{ном}$. В предложенной нами модели наиболее оптимальным является условие $M_{изл} \leq M_{ном}$.

В ходе проведенного численного и натурного эксперимента было подтверждено, что прочность конструкции исследуемого элемента, а именно упругой вставки муфты, хотя и находится в пределах допустимых ГОСТом значений крутящего момента, обеспечивается неполностью. В большинстве случаев данный элемент обеспечивает необходимую производительность дождевальная машины, но при пиковых значениях крутящего момента (движение колесной

тележки по сложному участку) возможна деформация привода ввиду недостаточной прочности. Максимальный крутящий момент, полученный в ходе механических испытаний для промышленного образца, составляет 240 Н·м (рис. 5б), для модифицированного прототипа – 430 Н·м (рис. 5с), при допустимом значении для данного типа муфт – 4...315 Н·м [14].

Оптимизация геометрических параметров упругой вставки проводилась с учетом оптимального сочетания прочностных

свойств детали и ее взаимозаменяемости с существующими промышленными образцами.

В качестве материала упругой вставки муфт допустимо использовать тот же материал, из которого был изготовлен исходный промышленный образец (полиуретан). Но при изготовлении этой детали стоит учесть рекомендации по усилению ее наиболее опасных участков, представленные в данной статье.

В отличие от традиционных методов производства быстрое прототипирование изделий с использованием послойной печати выгодно отличается от стандартной обработки заготовки со снятием материала (фрезерование, сверление, расточка) или изменением ее формы (штамповка, ковка, гибка, прокатка). Объемное быстрое прототипирование изделий осуществляется путем послойного наращивания материала, из которого состоит деталь или модель, для формирования единого целого – готового изделия. Данная технология позволяет снять все ограничения на внутреннюю структуру получаемой модели [13].

Кроме того, на физической модели можно проводить испытания до того, как изделие будет выпущено в серийное производство. Такие прототипы позволяют проводить испытания, которые невозможно выполнить на готовом изделии.

Список использованных источников

1. Мелихов В.В. Мелиорация сельскохозяйственных земель России – стратегия и тактика системного развития // Орошаемое земледелие. 2017. № 4. С. 3-4.
2. Широкозахватные дождевальные машины зарубежного производства [Электронный ресурс]. URL: //i/69html.
3. Абезин В.Г., Семенов С.Ю., Скрипкин Д.В., Беспалов А.Г. Совершенствование конструкции дождевальной машины кругового действия // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2015. № 2(38). С. 10-16.
4. Бакиров С.М. Повышение энергоэффективности при эксплуатации дождевальных машин кругового действия обоснованием способов и средств энергосбережения: Дис. ... д-ра техн. наук. Саратов: СГАУ, 2021. 406 с.
5. Рязанцев А.И., Кириленко Н.Я., Егоров Н.Н., Шереметьев А.В. Совершенствование многоопорной дождевальной техники для повышения качества сельскохозяйственной продукции // Инновации в товароведении: теория, практика, экспертиза, безопасность: сборник трудов конференции. Коломна: Коломенский государственный педагогический институт, 2009. С. 141-143.
6. Рыжко Н.Ф., Рыжко Н.В., Рыжко С.Н., Смирнов Е.С. Технические решения по модернизации дождевальных машин кругового действия и результаты их внедрения // Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации. 2019. № 2. С. 21-24.
7. Вагабов Н.М. Детали машин и основы конструирования: учебное пособие. Махачкала: ДГТУ, 2020. 130 с.
8. Монгуш Э.С., Борбак-оол Н.С. Детали машин и основы конструирования: учебно-методическое пособие. Кызыл: ТувГУ, 2020. 52 с.

Например, чтобы установить распорные кольца на трубопровод, необходимо не только спроектировать это изделие в программном пакете твердотельного моделирования, но и изготовить прототип этой детали для последующих лабораторных и натурных испытаний [15, 16].

Выводы

В процессе исследований выяснили, что повышению надежности дождевальных машин уделяется недостаточное внимание. Современные работы направлены на совершенствование дождевальных машин путем улучшения конструкции рамы и дождевальных аппаратов, совершенствования технологии полива и использования современных источников энергии. Результатом нашей работы стало повышение надежности силовых элементов привода дождевальной машины за счет использования других материалов при изготовлении упругой вставки и оптимизации геометрических параметров. Также с помощью технологии 3d-печати можно повысить ремонтпригодность элементов дождевальных машин. В будущем, возможно, удастся найти более подходящие материалы для элементов силовой муфты, чтобы улучшить эксплуатационные характеристики дождевальных машин в целом.

References

1. Melikhov V.V. Amelioration of agricultural land in Russia – strategy and tactics of system development. Irrigated Agriculture. 2017. № 4. P. 3-4.
2. Wide-cut sprinkler machines of foreign production [Electronic resource]. URL: https://itexn.com/699_shirokozahvatnye-dozhdevalnye-mashiny-zarubezhnogo-proizvodstva.html.
3. Abezin V.G., Semenenko S.Yu., Skripkin D.V., Bepalov A.G. Perfection of the design of a sprinkler machine of circular action // Proceedings of the Lower Volga Agrarian University Complex. 2015. № 2(38). P. 10-16.
4. Bakirov S.M. Increasing energy efficiency in the operation of sprinkler machines of circular action by substantiating ways and means of energy saving: doctoral thesis: 05.20.02. Saratov, SGAU. 2021. 406 p.
5. Ryazantsev A.I., Kirilenko N.Y., Egorov N.N., Sheremetev A.V. Improvement of multi-support sprinkler technology to improve the quality of agricultural products // Innovations in commodity science: theory, practice, expertise, safety. 2009. P. 141-143
6. Ryzhko N.F., Ryzhko N.V., Ryzhko S.N., Smirnov E.S. Technical solutions for modernization of circular sprinkler machines and the results of their implementation. Volga research institute of hydraulic engineering and land reclamation. 2019. № 2. P. 21-24.
7. Vagabov N.M. Machine parts and basics of construction: a training manual. Makhachkala: DSTU, 2020. 130 p.
8. Mongush E.S., N.S. Borbak-ool. Machine parts and basics of construction: teaching aid. TuvGU. 2020. P. 52
9. Pastukhov A.G. Bakharev D.N., Kolesnikov A.S. Design of geared bevel gears in mechanical drives: a training manual. BelGaU named after V.Y. Gorin. 2019. 76 c.

9. Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н., Колесников А.С. Проектирование зубчатых конических передач в механических приводах: учебное пособие. БелГАУ им. В.Я. Горина, 2019. 76 с.

10. Тверсков Б.М. Тяговый расчет трактора: Методические указания к выполнению контрольных работ, курсовых и дипломных проектов студентами направления 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства». Курган, 2016. 27 с.

11. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines // INMATEH – Agricultural Engineering. 2019. № 58(2). С. 63-74.

12. Дорохов А.С. Эффективность оценки качества сельскохозяйственной техники и запасных частей // Вестник МГАУ имени В.П. Горячкина, 2015. № 1(65). С. 31-35.

13. Загоруйко М.Г., Васильчиков В.В., Леонтьев А.А. Проектирование деталей дождевальных машин с применением технологий 3d-прототипирования. Современное состояние и перспективы развития строительства, теплогасоснабжения и энергообеспечения: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. Саратов: СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2017. С. 115-119.

14. ГОСТ 19107-97. Механические муфты. Ряд номинальных поворотных моментов. М.: 2002.files.stroyinf.ru/Data2/1/4294847/4294847401.pdf

15. Шурайц А.Л., Васильчиков В.В., Зубайлов Г.И., Волков В.С. Оценка прочностных характеристик изолирующих колец (спейсеров), устанавливаемых на газопроводы // Газ России. 2008. № 2(6). С. 70-72.

16. Васильчиков В.В. Оценка прочности изолирующих колец «спейсеров», устанавливаемых на трубопровод // Молодые ученые – агропромышленному комплексу Поволжского региона. Саратов: СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2005. С. 117-120.

10. Tverskov B.M. Traction calculation of the tractor: methodological guidelines for the performance of control works, term and diploma projects by students of the direction 23.05.01 "Land transport and technological means". Kurgan: 2016. 27 p.

11. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Akkenov A.G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines. INMATEH – Agricultural Engineering. 2019. № 58(2). P. 63-74.

12. Dorokhov A.S. Efficiency of quality assessment of agricultural machinery and spare parts. Vestnik MSAU named after V.P. Goryachkin, 2015. № 1(65). S. 31-35.

13. Zagoruyko M.G., Vasilchikov V.V., Leontev A.A. Design details of sprinkler machines using 3d prototyping technology. In the collection: The current state and prospects for the construction, heat and gas supply and energy supply. Materials of VI International scientific and practical conference. Saratov state agrarian university named after N.I. Vavilov. 2017. P. 115-119.

14. Mechanical couplings. Range of nominal turning moments // GOST 19107-97. Moscow. 2002.

15. Shuraitz A.L., Vasilchikov V.V., Zubailov G.I., Volkov V.S. Assessment of strength characteristics of insulating rings (spacers) mounted on gas pipelines. Gaz Rossii. 2008. № 2(6). P. 70-72.

16. Vasilchikov V.V. Estimation of insulating rings strength of spacers installed at the pipeline. Young scientists – to the agricultural complex of the Volga Region. 2005. P. 117-120.

Критерии авторства / Authorship criteria

Башмаков И.А., Загоруйко М.Г. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись.

Башмаков И.А., Загоруйко М.Г. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Автор заявляет об отсутствии конфликтов интересов / The authors declares that there are no conflicts of interest

Поступила в редакцию / Received 02.05.2023

Поступила после рецензирования / Revised 28.08.2023

Принята к публикации / Accepted 28.08.2023

Bashmakov I.A., Zagoruyko M.G. carried out practical and theoretical research, on the basis of which they carried out a generalization and wrote a manuscript.

Bashmakov I.A., Zagoruyko M.G. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.