

Проектирование дождевальных машин с позиции ресурсосбережения

Лариса Анатольевна Журавлева

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

e-mail: dfz@yandex.ru

Аннотация. Дождевальные машины, созданные в Советский период и все еще широко применяемые на полях в настоящее время, во многом уже не отвечают современным требованиям, не гарантируют качественный полив и надежную работу. Необходима разработка новых принципов проектирования, концепций, новых методик и подходов, уточнения требуемых параметров и характеристик. Важно не только модернизировать и восстанавливать технические средства полива, находящиеся в эксплуатации, но и производить новые надежные, высококачественные машины. Одним из актуальных направлений в проектировании дождевальных машин является принцип ресурсосбережения. В статье определены направления совершенствования конструктивно-технических параметров, представлена концепция проектирования в зависимости от условий эксплуатации. Рассмотрены способы снижения металлоемкости, а следовательно и стоимости машин. Очевидные способы снижения металлоемкости машин включают увеличение пролета между тележками и уменьшение веса ферменного водопроводящего пояса за счет усовершенствования конструкции. Оптимизация ферменного водопроводящего пояса позволила увеличить длину пролета на 22,1–33,8 % при незначительном увеличении массы на 5,8–15,1 %.

Ключевые слова: ферменный водопроводящий пояс; дождевальная машина; пролет; ресурсосбережение; металлоемкость.

Для цитирования: Журавлева Л. А. Проектирование дождевальных машин с позиции ресурсосбережения // Аграрный научный журнал. 2023. № 10. С. 161–167. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp161-167>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Design of sprinklers from a resource-saving perspective

Larisa A. Zhuravleva

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

e-mail: dfz@yandex.ru

Abstract. Sprinklers created in the Soviet period and still widely used in the fields today, in many respects no longer meet modern requirements, do not guarantee high-quality watering and reliable operation. It is necessary to develop new design principles, concepts, new techniques and approaches, to clarify the required parameters and characteristics. It is important not only to modernize and restore the irrigation equipment in operation, but also to produce new reliable, high-quality machines. One of the current trends in the design of sprinklers is the principle of resource conservation. The article defines the directions of improvement of structural and technical parameters, presents the design concept depending on the operating conditions. The ways of reducing the metal consumption, and consequently the cost of machines, are considered. Obvious ways to reduce the metal consumption of machines include increasing the span between the trolleys and reducing the weight of the truss water belt by improving the design. Optimization of the truss water belt allowed to increase the span length by 22.1–33.8% with a slight increase in weight by 5.8–15.1%.

Keywords: truss water belt; sprinkler machine; span; resource saving; metal consumption.

For citation: Zhuravleva L.A. Design of sprinklers from a resource-saving perspective. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(10):161–167. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp161-167>.

Введение. В большинстве регионов Российской Федерации сельскохозяйственное производство осуществляется в условиях с недостатком атмосферных осадков. Стабильный уровень сельскохозяйственного производства может быть достигнут только за счет дополнительного орошения.





Многие дождевальные машины, разработанные в Советское время и все еще широко используемые на полях сегодня, уже не отвечают современным требованиям.

Необходим новый подход к проектированию. Важно не только модернизировать дождевальные машины советского периода, но и проектировать и производить новые современные модели.

Цель работы – разработать новую концепцию проектирования широкозахватной дождевальной техники в соответствии с условиями эксплуатации с учетом принципов ресурсосбережения и критерии оценки технического уровня.

В настоящее время практически отсутствуют исследования, связанные с проектированием широкозахватной дождевальной техники.

Исследования Н.Ф. Рыжко [1, 2], В.К. Губера [3], В.А. Черноволова, Л.В. Кравченко [4] посвящены совершенствованию дождевальных аппаратов и насадок, их размещению вдоль трубопровода, определению оптимальных расстояний между ними, воздействию ветра на факел распыливания.

Работы Ю.Ф. Снипича [5], А.И. Рязанцева [6], С.С. Турапина, Г.В. Ольгаренко, А.О. Антипова [7], А.И. Есина, В.А. Соловьева А.И. [8], Д.А. Соловьева [9], Ф.К. Абдразакова [10], Л.А. Журавлевой [11] и др. посвящены модернизации широкозахватных дождевальных машин «Фрегат», «Кубань».

Недостаточно модернизации существующих машин и установок, есть очевидная необходимость в разработке новых, современных моделей, обеспечивающих надежную работу.

Методика исследований. Основные методы и соответствующие направления развития дождевальной техники представлены на рис. 1.



Рис. 1. Тенденции в разработке дождевальной техники

Водные и энергетические ресурсы. Практически общемировой практикой является перевод оросительных систем на низкий напор. Например, известно, что при снижении рабочего давления дождевальной машины «Фрегат» до 0,45 МПа снижается давление насосной станции и уменьшается потребление электроэнергии на 13 % [2].

Сохранение земельных ресурсов. Коэффициент земельного использования (КЗИ) в некоторой степени отражает технический уровень оросительных систем. Чем меньше площади отводится под ходовые системы дождевальных машин, трубопроводы и коммуникации, тем выше КЗИ [8]. Увеличить КЗИ можно за счет оптимизации ходовых систем, автоматического выравнивания и обеспечения полива углов участка.

Материальные ресурсы. Оросительные системы с использованием широкозахватных дождевальных машин являются достаточно дорогими по причине значительной металлоемкости. Известно, что примерно 60–75 % веса широкозахватной дождевальной машины приходится на ферменный водопроводящий пояс [10–11].

Металлоемкость, т/га, дождевальных машин [10]:

$$M = \sum m / S, \quad (1)$$

где $\sum m$ – масса машины, т; S – площадь полива, га.

Количество ходовых тележек:

$$n_T = \text{INT} \left(\frac{L - \ell_K}{\ell} \right), \quad (2)$$

где L – длина машины; ℓ_K – длина консоли; ℓ – расстояние между ходовыми тележками (длина пролета).

Масса ферменного водопроводящего пояса:

$$m_B = m_1 (L - \ell_K), \quad (3)$$

где m_1 – средняя масса ферменного водопроводящего пояса.

Очевидно, что уменьшить металлоемкость можно за счет уменьшения веса ферменного водопроводящего пояса за счет совершенствования конструктивных исполнений, использования трубопроводов с переменным диаметром и увеличения пролетов между тележками.

Конструктивный коэффициент массы машины определяется как отношение общей массы к массе ферменного водопроводящего пояса. Для дождевальных машин «Фрегат» коэффициент изменяется от 4,13 до 4,62 и для «Кубань» 3,17 до 3,97 в зависимости от модели [11].

Зависимость массы широкозахватной дождевальной машины от ее длины представлена на рис. 2.

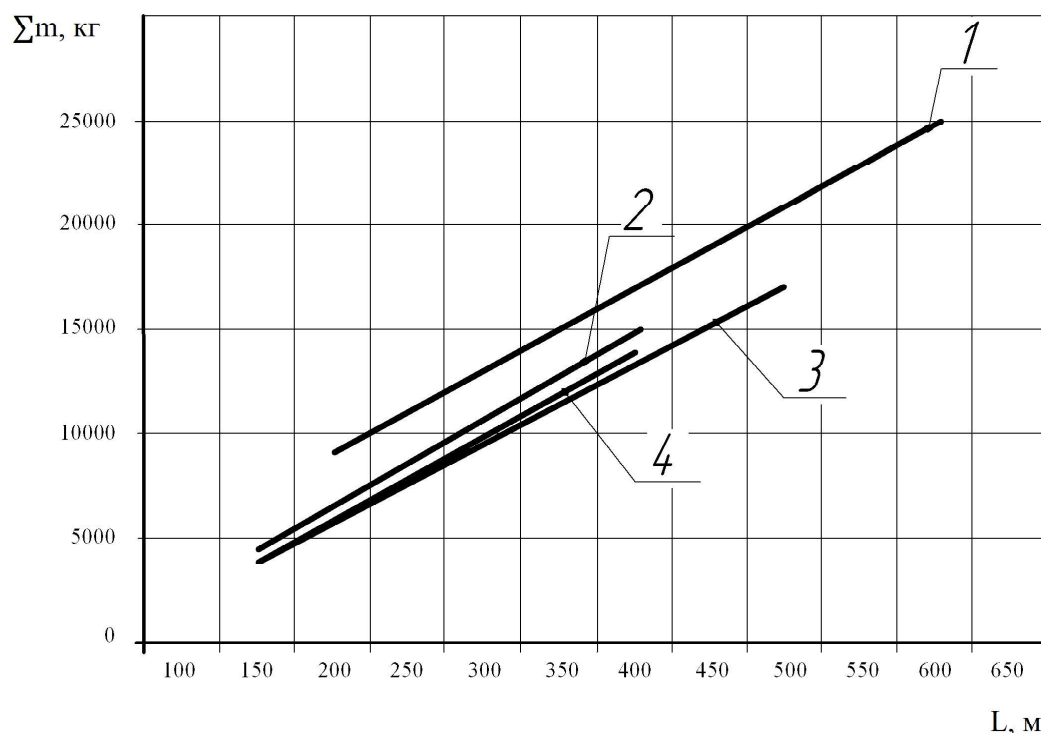


Рис. 2. Зависимость массы «Кубань» и «КАСКАД» от длины: 1 – «Кубань-ЛК1» (пролет длиной 48,7м); 2 – МДЭК «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (пролет длиной 48,7м); 3 – ДМ «КАСКАД» (пролет длиной 59,5 м); 4 – ДМ «КАСКАД» (пролет длиной 65,25 м)

Показатель, характеризующий конструктивное совершенство ферменного водопроводящего пояса, – коэффициент металлоемкости ферменной конструкции [12]:

$$K_M = \frac{\sum P}{\ell}, \quad (4)$$

где $\sum P$ – сумма периметров угольников на пролет, м; ℓ – длина пролета, м.



Показатель, характеризующий массу угольников ферменной конструкции:

$$K_{\Delta} = \frac{\sum m_{\Delta}}{\ell}, \quad (5)$$

где $\sum m_{\Delta}$ – масса всех угольников на пролет, м.

Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1

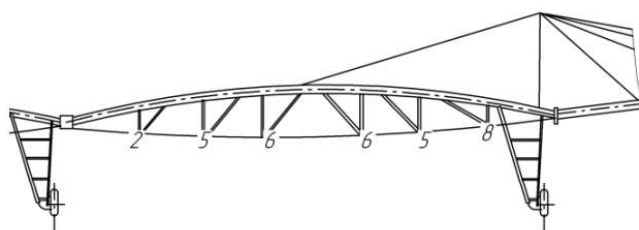
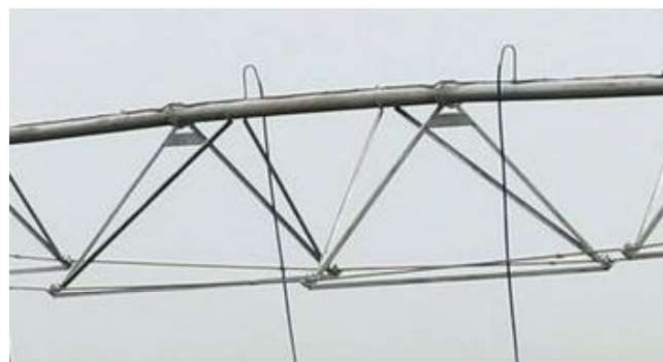
Характеристики ферменного водопроводящего пояса

Тип дождевальной машины	«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)	«КАСКАД» (пролет 59,5 м)	«КАСКАД» (пролет 65,25 м)
Масса угольников на пролет, кг	198,12	209,74	228,21
Периметр ферменной конструкции на пролет, м	58,79	62,24	67,72
Длина пролета, м	48,7	59,5	65,25
Коэффициент металлоемкости ферменной конструкции	1,2	1,04	1,04
Коэффициент массы угольников	4,0	3,5	3,5
Процент увеличения длины пролета, %	0	22,1	33,8
Степень увеличения массы угольников на пролет, %	0	5,8	15,1

На дождевальных машинах типа «Кубань» и «КАСКАД» используются следующие типы ферменного водопроводящего пояса:

на «Кубань-ЛК1М» с пролетами длиной 48,7 м в поперечном сечении – равнобедренный треугольник с разными длинами стоек и раскосов;

на «КАСКАД» с пролетами длиной 59,5 и 65,2 м в поперечном сечении равнобедренный треугольник с равновеликими тягами, раскосами и креплением в одной точке (рис. 3).



а

б

Рис. 3. Два типа ферменного водопроводящего пояса

Оптимизация ферменного водопроводящего пояса позволяет увеличивать длину пролета на 22,1–33,8 % при увеличении массы на 5,8–15,1 % [11].

Трудовые ресурсы. Определяются качеством и функциональностью системы автоматизации, позволяющей сократить трудоемкую ручную работу и управлять несколькими дождевальными машинами, насосной станцией дистанционно.

Обобщенные выше взаимозависимости позволяют наметить направления оптимизации с точки зрения ресурсосбережения.



Дождевальные машины следует рассматривать как объекты проектирования в соответствии с требованиями условий эксплуатации (параметров окружающей среды), рис. 4.

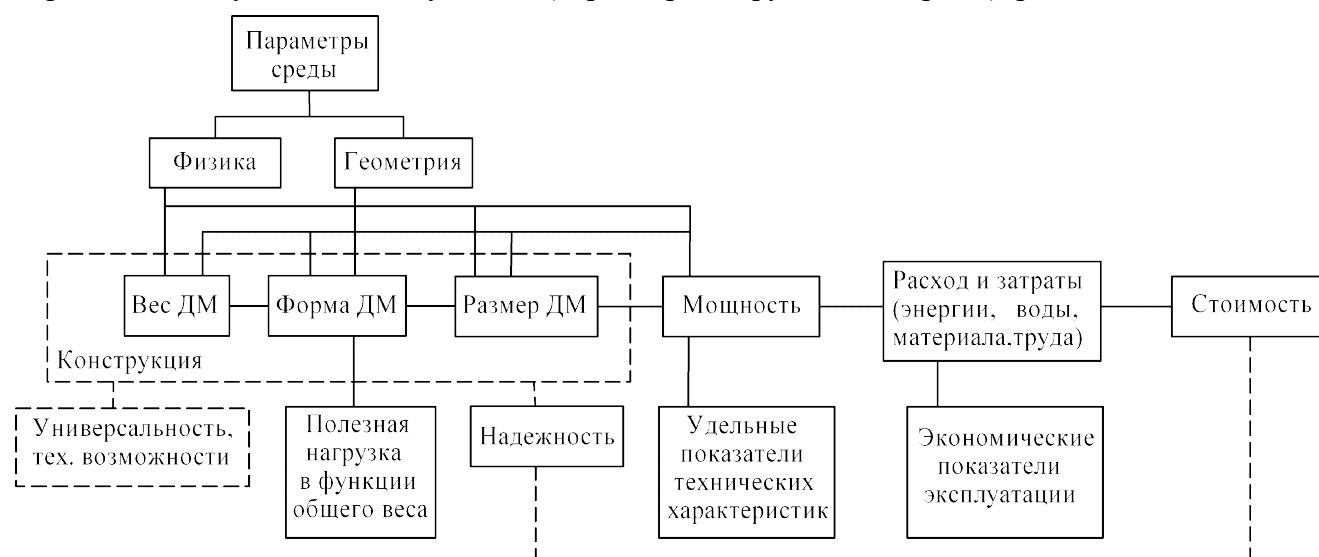


Рис. 4. Концепция проектирования дождевальных машин

Характеристики дождевальных машин (вес, форма, размер), т.е. конструкция, задаются условиями эксплуатации. Параметры «вес», «форма» и «размер» определяют мощность, необходимую для привода машины, характеризуют совершенство конструкции и влияют на стоимость.

Потребление электроэнергии является определяющим фактором категории «расход и затраты».

Категория «параметры окружающей среды» может быть разделена на две подкатегории: физические (например, физико-механические свойства почвы) и геометрические (например, размеры поля, рельеф, высота растений).

Например, физико-механические свойства почвы, ограничивают вес машины и задают тип ходового оборудования.

Размер орошаемого участка, рельеф местности, высота растений – задают форму и размер машины (длину, высоту расположения трубопровода).

Категории «Конструкция» и «мощность» характеризуют современный уровень и ресурсосберегающий потенциал.

Необходимо связать конструктивные решения по отдельным узлам и агрегатам с вытекающими из них ресурсосберегающими возможностями и ограничивающими факторами.

На рис. 5 представлена схема с указанием узлов машины с позиции оптимизации при проектировании, категорий оптимизации и факторы, являющиеся ограничивающими.

Ресурсосбережение при проектировании дождевальных машин в основном связано с уменьшением расхода металла и снижением затрат.

Например, оптимизация стальной конструкции должна рассматриваться с точки зрения экономии материальных и денежных затрат (металлоемкость и стоимость). Ограничивающими факторами снижения металлоемкости узлов являются прочность и жесткость конструкций.

На основании представленных исследований предприятием ООО «Мелиоративные машины» были спроектированы и запущены в производство дождевальные машины «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и «КАСКАД» при участии автора [10–12].

Результаты исследований. Технические характеристики «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) приведены в табл. 2. На основании ее была разработана серия ДМ «КАСКАД» с усовершенствованной ферменной конструкцией. Пролеты были увеличены до 59,5 м и 65,2 м.

Оптимизация ферменного водопроводящего пояса позволила увеличить длину пролета на 22,1–33,8 % при незначительном увеличении массы на 5,8–15,1 %.



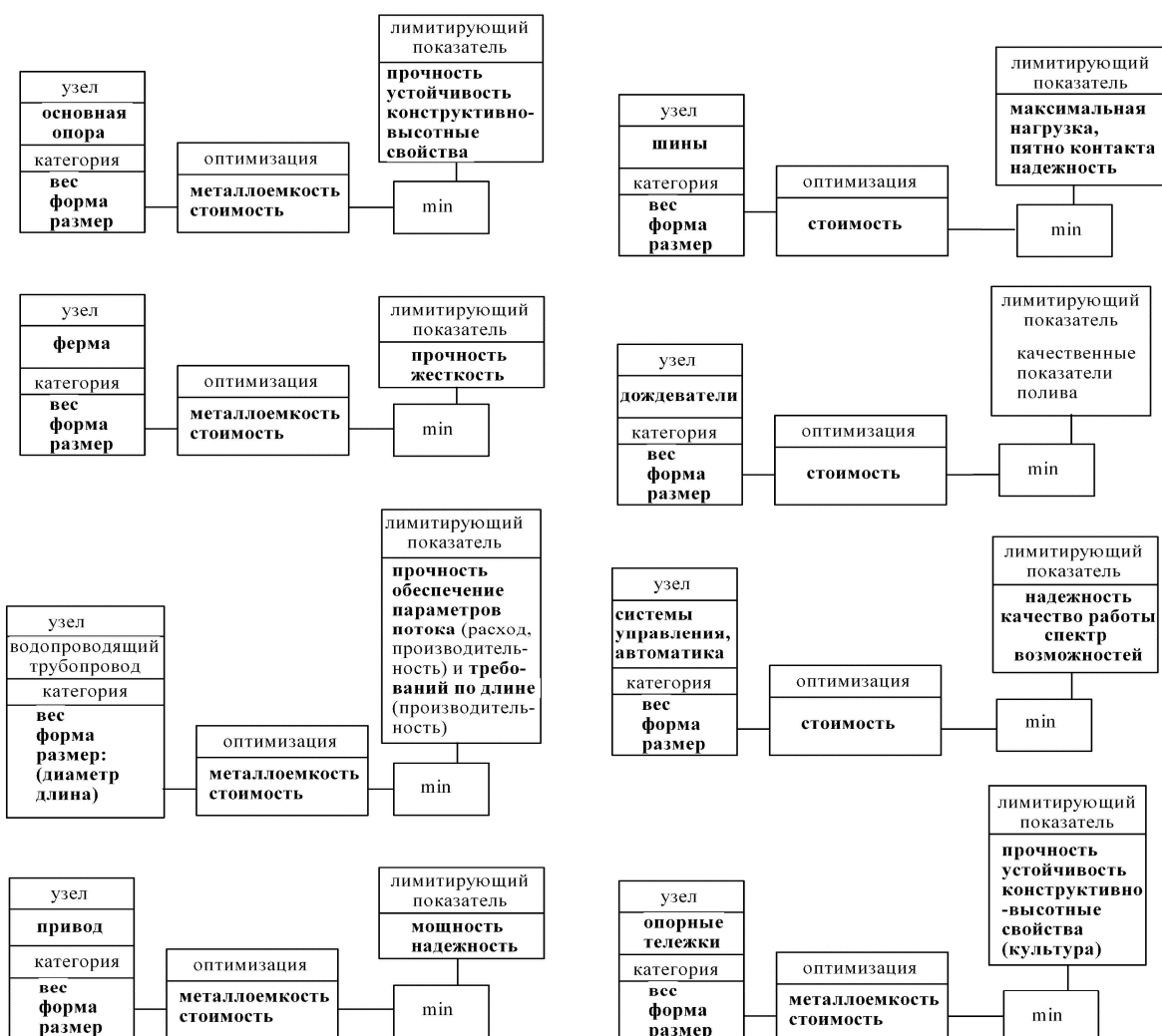


Рис. 5. Оптимизация параметров по узлам машины

Таблица 2

Основные технические характеристики машин

Показатели	Показатель	
Условное наименование	«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)	«КАСКАД»
Привод передвижения машины	Электромеханический, реверсивный, мотор-редуктора	
Источник питания	380 В, 50 Гц	
Скорость движения последней тележки в пределах, м/с, (м/мин)	(1,61–30,0) × 10 ⁻³	
Дорожный просвет, мм, не менее	450	
Расстояние до нижнего пояса металлоконструкции, м	2,7	2,8–2,9
Диаметры водопроводящего трубопровода, мм	159	219, 203, 168, 159, 133
Диаметры труб консоли, мм	133	133, 114, 108, 89
Длины пролетов, м	48,7	48,7; 59,5; 65,25
Максимальная длина машины, м (с консолью 31 м)	518	553
Колесная база	3700	3700, 4200
Максимальная длина консоли, м	31	
Расход воды, л/с	до 90	
Давление воды на входе в машину МПа при длине 500 м	0,43	
Норма полива за проход, м ³ /га	95–600	
Минимальное время оборота машины, ч, при длине 500 м	32,8	



Заключение. Проведенный анализ позволил определить критерии эффективности, выявить области для усовершенствования и разработать концепцию проектирования оросительных систем. Снижение металлоемкости основано на оптимизации параметров пролета и конструкции фермы, при этом предложены коэффициенты металлоемкости фермы и массы угольников. Исследование позволило усовершенствовать ферменный водопроводящий пояс дождевальных машин серии КАСКАД.

Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжко Н. Ф. Совершенствование технических средств и технологии орошения в Поволжье. Саратов, 2007. 110 с.
2. Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н., Смирнов Е.С., Хорин С.А. Ресурсосбережение – как основа совершенствования многоопорных дождевальных машин // Природообустройство. 2022. № 1. С. 12–19.
3. Губер К. В. Ресурсосберегающие технологии и конструкции оросительных систем при дождевании: дис. д-ра техн. наук. М., 2000. 518 с.
4. Черноволлов В.А., Кравченко Л.В. Математическое моделирование процессов распределения жидкостей в агротехнологиях. Зерноград, 2016. 208с.
5. Снипич Ю.Ф. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств орошения дождеванием: дис. д-ра техн. наук. Новочеркасск, 2011. 340 с.
6. Оценка параметров ходовой системы «Кубань-ЛК1» при заравнивании колеи / А.И. Рязанцев [и др.] // Наука в центральной России. 2023. № 1. С. 116–123.
7. Эколого-энергетическое совершенствование многоопорных дождевальных машин / С.С. Турапин [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 3. С. 30–36.
8. Есин А.И., Журавлева Л.А., Соловьев В.А. Ресурсосберегающие технологии и дождевальные машины кругового действия. Саратов. 2019. 214 с.
9. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. Роботизированный оросительный комплекс // Аграрный научный журнал. 2020. № 1. С. 74–78.
10. Абдразаков Ф.К., Журавлева Л.А., Соловьев В.А. Рациональное снижение металлоемкости при конструировании широкозахватных дождевальных машин // Аграрный научный журнал. 2018. № 5. С. 37–41.
11. Журавлева Л.А., Нгуен В.Т. Совершенствование конструктивных параметров широкозахватных дождевальных машин кругового действия // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 90–94.

REFERENCES

1. Ryzhko N.F. Improvement of technical means and irrigation technology in the Volga region. Saratov, 2007. 110 p.
2. Ryzhko N.F., Ryzhko S.N., Smirnov E.S., Khorin S.A. Resource saving - as the basis for improving multi-support irrigation machines. *Nature Management*. 2022; 1: 12–19.
3. Guber K.V. Resource-saving technologies and designs of irrigation systems for sprinkling (dis. Dr. Tech. Sci.). Moscow, 2000. 518 p.
4. Chernovolov V.A., Kravchenko L.V. Mathematical modeling of liquid distribution processes in agricultural technologies. Zernograd, 2016. 208 p.
5. Snipich Yu.F. Intensification of technologies and improvement of technical means of sprinkling irrigation (dis. Dr. Tech. Sci.). Novocherkassk, 2011. 340 p.
6. Evaluation of the parameters of the Kuban-LK1 chassis system when leveling the track / A.I. Ryazantsev et al. *Science in central Russia*. 2023; 1: 116–123.
7. Ecological and energy improvement of multi-support sprinkler machines / S.S. Turapin et al. *Land reclamation and water management*. 2021; 3: 30–36.
8. Esin A.I., Zhuravleva L.A., Solovyov V.A. Resource-saving technologies and circular sprinklers. Saratov. 2019. 214 p.
9. Solovyov D.A., Zhuravleva L.A. Robotic irrigation complex. *The agrarian scientific journal*. 2020; 1: 74–78.
10. Abdrazakov F.K., Zhuravleva L.A., Soloviev V.A. Rational reduction of metal consumption when designing wide-spread irrigation machines *The agrarian scientific journal*. 2018; 5: 37–41.
11. Zhuravleva L.A., Nguyen V.T. Improving the design parameters of wide-cut circular irrigation machines. *The agrarian scientific journal*. 2021; 8: 90–94.

*Статья поступила в редакцию 30.04.2023; одобрена после рецензирования 27.05.2023; принята к публикации 8.06.2023.
The article was submitted 30.04.2023; approved after reviewing 27.05.2023; accepted for publication 8.06.2023.*

