

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-37-43>

УДК 631.6:631.311.5



## ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНО-ВЫСОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШИРОКОЗАХВАТНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

Л.А. Журавлева, Алдиаб Анас

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

**Аннотация.** Одним из наиболее эффективных и распространенных в средней полосе Российской Федерации методов полива является дождевание, а наиболее распространенные – широкозахватные дождевальные машины кругового действия. Целью исследований стала оптимизация конструктивно-высотных параметров дождевальной техники в зависимости от условий эксплуатации и поливаемых агрокультур. В статье рассматривается оптимизация конструктивно-высотных параметров, длины пролетов машины в зависимости от рельефа местности и высоты поливаемых агрокультур. Агротехническая проходимость оценивалась посредством отношения агропросвета к высоте растений на наиболее сложном рельефе. Проведенные исследования показывают, что в целях повышения эффективности эксплуатации (снижения буксования и исключения остановки), а также исключения заминаемости растений отношение величины агропросвета к высоте растений должно составлять более 0,7. Представлены результаты экспериментальных исследований и рекомендации оптимальных соотношений высоты профиля, пролета машины, уклона местности и поливаемых культур. При эксплуатации на уклонах величиной более 0,08 высота подъема трубопровода над поверхностью земли 2,7 м при величине пролетов 59,5 и 65 м является недостаточной – необходимы более высокопрофильные модели. При этом увеличение профиля ограничивается металлоемкостью и тягово-сцепными свойствами. Значение выбирается как минимально возможное при обеспечении агротехнической проходимости.

**Ключевые слова:** параметры, дождевальная машина широкозахватного действия, условия эксплуатации, пролет, агропросвет, уклон, рельеф

**Формат цитирования:** Журавлева Л.А., Алдиаб Анас. Оценка конструктивно-высотных параметров широкозахватных дождевальных машин кругового действия // Природообустройство. 2024. № 3. С. 37-43. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-37-43>

Original article

## EVALUATION OF THE STRUCTURAL AND HEIGHT PARAMETERS OF WIDE-SPAN CIRCULAR SPRINKLER MACHINES

L.A. Zhuravleva , Aldiab Anas

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov; 49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia

**Abstract.** One of the most effective and widespread irrigation methods in the central part of the Russian Federation is sprinkling, and the most common are wide-range circular sprinkler machines. The aim is to optimize the design and height parameters of sprinkler equipment, depending on the operating conditions and irrigated crops. The article considers the optimization of structural and height parameters, machine span lengths depending on the terrain and height of irrigated crops. Agrotechnical patency was assessed by the ratio of agricultural illumination to the height of plants on the most difficult terrain. The conducted studies show that in order to increase the efficiency of operation (reduce slipping and eliminate stopping), as well as eliminate plant jamming, the ratio of the value of agricultural illumination to plant height should be more than 0.7. The results of experimental studies and recommendations of optimal ratios of profile height, machine span, terrain slope and watered crops are presented. When operating on slopes of more than 0.08, the lifting height of the pipeline above the ground is 2.7 m with spans of 59.5 and 65 m is not sufficient, higher-profile models are needed. At the same time, the increase in the profile is limited by metal consumption and traction properties. The value is selected as the minimum possible while ensuring agro technical passability.

**Keywords:** parameters of wide-range sprinkler machines, operating conditions, span, agricultural illumination, slope, relief

**Format of citation:** Zhuravleva L.A., Aldiab Anas. Evaluation of the structural and height parameters of wide-span circular sprinkler machines // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 37-43. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-3-37-43>

**Введение.** Агропроизводство на территории Российской Федерации осуществляется в достаточно сложных природно-климатических условиях, при недостатке атмосферных осадков на 80% пахотных земель. Без дополнительного полива гарантировать высокий урожай достаточно сложно.

Одним из эффективных в средней полосе Российской Федерации методов полива является дождевание, а наиболее распространенные – широкозахватные дождевальные машины кругового действия.

При проектировании широкозахватной дождевальной техники важно соблюдать такие пропорции металлоконструкции, как длина пролета, высота подъема водопроводящего трубопровода над уровнем земли, клиренс ходовых тележек и другие с точки зрения обеспечения полива культур определенной высоты (в частности, высокостебельных) и проходимости. При этом увеличение высоты конструкции, а значит, и металлоемкости является экономически нецелесообразным.

Проблемам оптимизации конструктивно-технологических параметров дождевальной техники посвящены работы многих ученых [1-14]. Целью оптимизации конструктивно-технологических параметров является обеспечение минимальной металлоемкости, а значит, стоимости при сохранении технологических возможностей и обеспечении качества полива.

Большинство моделей как российского, так и западного производства, различается по высоте профиля. Западные производители классифицируют его на 4 категории по высоте [15-18]: низкого профиля – 1,8-2,5 м; стандартного – порядка 2,7-3,0 м; высокого – 3,5-4,4 м; сверхвысокого – более 4,5 м (например, для полива кукурузы, стебли которой могут достигать высоты 4-5 м).

Российская классификация отсутствует, поскольку большинство новых российских компаний – производителей современных широкозахватных дождевальных машин – находятся на рынке не более 10 лет и только наращивают номенклатуру различных моделей.

Основным принципом выбора варианта модели, в том числе по высоте, является обеспечение надежности конструкции, возможности выполнения технологии полива требуемых культур при минимальных затратах.

Разработка широкозахватной дождевальной техники российского производства с высокими эксплуатационными характеристиками в доступном ценовом диапазоне является актуальной

задачей, требующей теоретических исследований и решения практических вопросов.

**Цель исследований:** оптимизация конструктивно-высотных параметров дождевальной техники в зависимости от условий эксплуатации и поливаемых агрокультур.

**Материалы и методы исследований.** Одними из способов экономии материальных ресурсов являются оптимизация конструктивных элементов и узлов дождевальных машин, снижение металлоемкости при обеспечении прочности.

Снижение металлоемкости широкозахватных дождевальных машин может быть обеспечено:

– уменьшением количества ходовых тележек на ту же длину машины за счет увеличения расстояния между ними;

– снижением металлоемкости тележек со счет совершенствования форм деталей и узлов;

– уменьшением массы фермы за счет совершенствования конструкции, применения трубопровода с уменьшенной массой (толщины трубопровода) или использования переменного диаметра труб, что ограничивается требуемым расходом воды.

Увеличение расстояния между ходовыми тележками (пролета) ограничивается прочностью конструкции и условиями эксплуатации, то есть проходимостью. Наиболее существенное влияние оказывает совместимость профильных свойств машины с рельефом местности.

Профильные свойства можно подразделить на 2 категории: рельефную проходимость, зависящую от гибкости и прочности водопроводящего трубопровода; агротехническую проходимость, характеризующуюся конструктивно-высотными параметрами.

Гибкость и прочность трубопровода обеспечиваются конструктивными решениями фермы, установкой гибких соединений, исполнениями шпренгельных систем и соединительных муфт.

От конструктивно-высотных параметров машины зависят заминаемость растений, буксование, останки или поломки, что усугубляется при уклонах поверхности.

Агротехнический просвет ДМ «Фрегат» Н уменьшается по причине прогиба трубопровода и образования колеи (рис. 1). Известно, что только колея может к концу сезона достигать 1/3 диаметра колеса. В этих случаях может не обеспечиваться полив.

Известно, что наибольшее влияние на колею образования оказывает влажность. Этот

процесс особенно выражен при поливе большими поливными нормами. В таких случаях почва увлажняется до предела текучести, и при воздействии ходовых систем происходит не уплотнение, а ее пластическое течение.

Для машин ферменной конструкции водопроводящего пояса типа «Кубань» просвет уменьшается по причине выпуклости рельефа и колее образования при незначительных прогибах от веса конструкции (рис. 2).

Агротехническую проходимость можно оценить как отношение агропросвета к высоте растений в наиболее сложных условиях рельефа. Значение должно составлять не менее определенной величины:

$$H_2/h \geq \text{const}, \quad (1)$$

где  $H_2$  – агротехнический просвет;

$$H_2 = H - S, \quad (2)$$

где  $h$  – высота растений, м;  $S$  – величина уменьшения агротехнического просвета, м.

Допускаемое уменьшение агропросвета:

$$S = f_1 + f_2 + H; \quad (3)$$

$$S = h_2 + h_3 + H, \quad (4)$$

где  $f_1$  и  $f_2$  – прогиб гибкого пролета от уклона поверхности и веса трубопровода машины, м;  $h_2$  и  $h_3$  – уменьшение агропросвета по причине выпуклостей рельефа и прогиба пролета, м;  $H$  – глубина погружения колес, м.

Рассмотрим условия работы для машин с вантовой и жесткой системой подвески на примерах машин ДМ «Фрегат» и ДМ типа «Кубань-ЛК1». В соответствии с техническими характеристиками агротехнический просвет для «Фрегата» составляет 2,2 м. Высота, например, кукурузы составляет 3 м. Тогда для ровного рельефа  $2,2/3 = 0,7 \geq \text{const}$ .

Для ДМ «Кубань-ЛК1», ДМ «КАСКАД»:

$$2,7/3 = 0,9 \geq \text{const}.$$

Для ДМ «КАСКАД» с пролетом 59,5 м и высотой 2,9 м:

$$2,9/3 = 0,96 \geq \text{const}.$$

Согласно руководству [4] допускается прогиб до 0,6 м при пролетах 48 м и трубопроводе диаметром 159 мм. При увеличении глубины колеи до 0,25 м агропросвет уменьшается до 0,61.

Глубина колеи зависит в основном от нагрузки конструкции на ходовые тележки, характеристик почвы и поливной нормы и определяется как [4]

$$H = \frac{1,2F}{[P - (1,4M_D^{0,65} + 8 \cdot 1,01^M)]b\sqrt{D}}, \quad (5)$$

где  $F$  – нагрузка на колесо, кН;  $P$  – несущая способность почвы, МПа;  $M_D$  – достокочная поливная норма, м<sup>3</sup>/га;  $M$  – величина образуемого стока, м<sup>3</sup>/га;  $b$  – ширина обода, м;  $D$  – диаметр колеса, м.

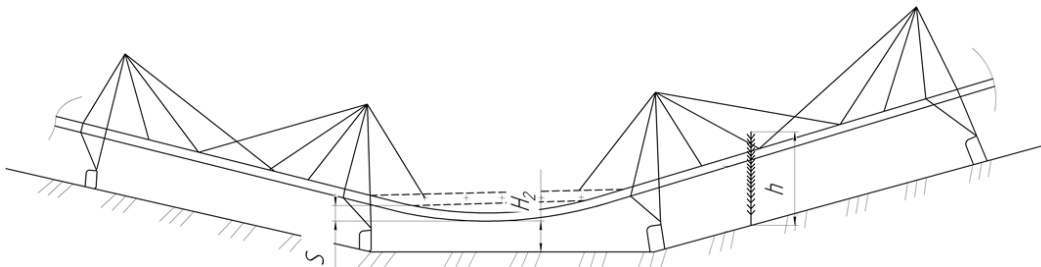


Рис. 1. Конструктивно-высотные свойства машин вантовой конструкции водопроводящего пояса

Fig. 1. Structural and height properties of machines of the cable-stayed construction of the water conducting belt

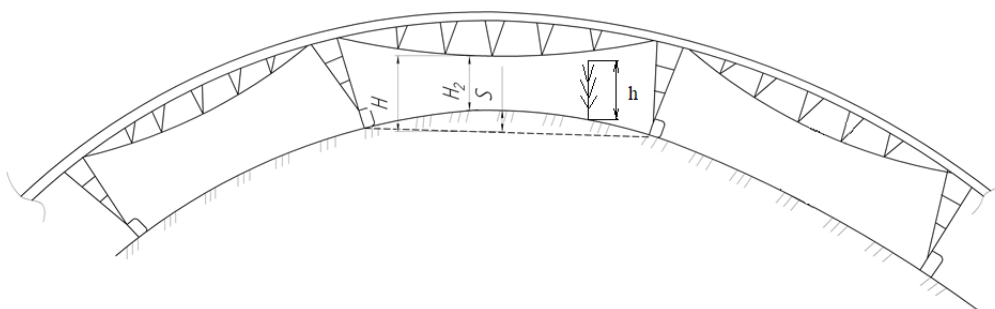


Рис. 2. Конструктивно-высотные свойства машин ферменной конструкции водопроводящего пояса

Fig. 2. Structural and high-altitude properties of machines of the truss structure of the water belt

При увеличении длины пролета необходимо поднимать высоту трубопровода. Тем не менее нужно понимать, что при этом увеличится металлоемкость и снизится проходимость. Не допустить увеличения металлоемкости можно применением тонкостенных трубопроводов, установкой трубопроводов переменного диаметра или уменьшением диаметра труб, если позволяет расчетный расход, то есть норма полива.

Для модели машины с длиной пролета 65 м допускаемая величина прогиба составляет 0,7 [8, 9], и при глубине колеи 0,25 м для обеспечения агропросвета в пределах 0,6 необходимо увеличить высоту подъема трубопровода минимум до 2,8 м.

При местных выпуклостях рельефа, в том числе технологических, снижение агропросвета может быть более значительным.

С точки зрения себестоимости машины при увеличенных пролетах целесообразным является применение машин на ровном рельефе и невысоких агрокультурах. При увеличении профиля машины для обеспечения полива высокостебельных культур резко увеличивается стоимость, а при увеличении длины пролета снижается проходимость.

Полевые исследования проводились на базовых модификациях дождевальных машин «Фрегат» и «Кубань» с пролетами 48, 59 и 65 м. При этом определялись прогиб, глубина погружения колес, агротехнический просвет на ровном рельефе и его снижение в начале, середине и конце водопроводящего трубопровода при движении по местным неровностям и уклонам. Прогиб ферм измерялся посредством визиров и реек. Техническая характеристика машин приведена в таблице 1.

Максимально допустимый общий уклон вдоль трубопровода машины для ДМ «Фрегат» и «Кубань-ЛК1М» с пролетами 48 м составляет 0,05; для моделей «Кубань-ЛК1» и «КАСКАД» с пролетами 59 м и моделями «КАСКАД» с пролетами 65 м – 0,07. Допустимый уклон по ходу движения для всех моделей машин составляет 0,07.

Таблица 1. Технические характеристики ДМ [5, 8]

Table 1. Technical specifications of DM [5, 8]

Показатель Indicator	Марка/пролет в метрах / Grade/span in meters				
	ДМУ-В 463-90	«Кубань-ЛК1»	«Кубань-ЛК1М» / 48	«КАСКАД» / 59	«КАСКАД» / 65
<b>Расстояние от трубопровода до поверхности земли, м (без уклона)</b> <i>Distance from the pipeline to the ground surface, m (without slope)</i>	2,20	2,70	2,70	2,80	2,90
<b>Дорожный просвет, м / Ground clearance, m</b>	0,50	0,45	0,5	0,5	0,5
<b>Тип ходовой системы / Type of running system</b>	<b>Жесткие</b> <i>Rigid</i>	<b>Пневматические</b> <i>Pneumatic</i>			

Максимально допустимая разность местных уклонов тележки относительно двух соседних для «Фрегат» составляет 0,16-0,22; для моделей «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» с пролетами 48 м – 0,08; для моделей «КАСКАД» с пролетами 59 м и с пролетами 65 м – 0,07.

Агротехнический просвет машин «Фрегат» составляет 2,2 м; машин моделей «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» – 2,7 м; моделей «КАСКАД» – 2,9 м.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты полевых исследований глубины колеи для ДМ «Кубань-ЛК1М» (шины 14,9-24) показаны на рисунке 3. Величина глубины колеи при первом проходе зависит от порядкового номера опорной тележки, то есть от расстояния от основной опоры, что объясняется временем воздействия нагрузки на почву.

В конце поливного сезона глубина колеи ближе к концу трубопровода может увеличиваться за счет увеличения расхода и крупности капель дождевателей с большим диаметром сопла.

Полученные результаты полевых исследований представлены в таблице 2.

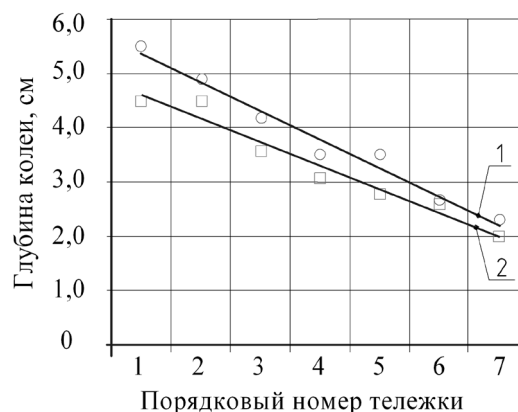


Рис. 3. Зависимость глубины колеи от расстояния от основной опоры:

1 – пролет 59,5 м; 2 – пролет 48,7 м

Fig. 3. Dependence of the track depth on the distance from the main support:

1 – span 59.5 m; 2 – span 48.7 m

Таблица 2. Результаты полевых исследований

Table 2. Results of field research

Марка Grade	Высота агро- культуры, м Height of the agro crop, m	Уменьшение агропросвета, м Reduction of agricultural clearance, m	Агро-про- свет м Agro-clear- ance, m	Результат наблюдений Observation result	H <sub>2</sub> /h
«Фрегат»	2,3	0,40 0,63	1,80 1,57	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	0,78 0,68
	2,0	0,60 0,80 1,00	1,6 1,7 1,2	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	0,80 0,85 0,60
«Кубань-ЛК1М	2,0	0,60 1,00 1,30	2,1 1,7 1,4	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	1,05 0,85 0,7
	2,6	0,70 0,90 1,10	2,0 1,8 1,6	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	0,74 0,69 0,61
	3,2	0,70 0,90 1,00	2,0 1,8 1,7	<b>Остановка машины</b> <i>Machine stop</i>	0,62 0,56 0,53
«КАСКАД»	2,3	0,5 0,9 1,1	2,4 2,0 1,8	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	1,04 0,86 0,78
	2,8	0,90 1,20 1,50	2,0 1,7 1,4	<b>Раминаемости нет</b> <i>There is no crop jamming</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Остановка / Stop</i>	0,71 0,60 0,50
	3,0	0,50 0,80 1,30 1,50	2,4 2,1 1,6 1,4	<b>заминаемости нет</b> <i>There is no crop jamming</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Остановка / Stop</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Остановка / Stop</i>	0,82 0,70 0,55 0,48
«Фрегат»	2,3	0,40 0,63	1,80 1,57	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	0,78 0,68
	2,0	0,60 0,80 1,00	1,6 1,7 1,2	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	0,80 0,85 0,60
«Кубань-ЛК1М	2,0	0,60 1,00 1,30	2,1 1,7 1,4	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	1,05 0,85 0,7
	2,6	0,70 0,90 1,10	2,0 1,8 1,6	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	0,74 0,69 0,61
	3,2	0,70 0,90 1,00	2,0 1,8 1,7	<b>Остановка машины</b> <i>Machine stop</i>	0,62 0,56 0,53
«КАСКАД»	2,3	0,5 0,9 1,1	2,4 2,0 1,8	<b>Заминаемости агрокультур нет</b> <i>There is no crop jamming</i>	1,04 0,86 0,78
	2,8	0,90 1,20 1,50	2,0 1,7 1,4	<b>Заминаемости нет</b> <i>There is no crop jamming</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Остановка / Stop</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Остановка / Stop</i>	0,71 0,60 0,50
	3,0	0,50 0,80 1,30 1,50	2,4 2,1 1,6 1,4	<b>заминаемости нет</b> <i>There is no crop jamming</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Остановка / Stop</i> <b>Остановка / Stop</b> <i>Остановка / Stop</i>	0,82 0,70 0,55 0,48

Рельеф при проведении полевых исследований оценивался как ровный. Агрокультура – кукуруза. Тип почвы и название по механическому составу – темно-каштановый суглинок. Полевые испытания: Саратовская область, Марковский район. Испытания проведены на соответствие требованиям ТУ по рабочей программе-методике ФГБУ «Поволжская МИС», ПД 100-00-000СБ «Обоснования безопасности дождевальной машины электрифицированной круговой «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД).

Проведенные полевые исследования показывают, что в целях повышения эффективности и надежности эксплуатации (снижения буксования и исключения останковки), а также исключения заминаемости растений отношение величины агропросвета к высоте растений должно составлять более 0,7.

Очевидно, что при эксплуатации на уклонах величиной более 0,08 высота подъема трубопровода над поверхностью земли 2,7 м при величине пролетов 59 и 65 м является недостаточной – необходимы более высокопрофильные модели. Однако увеличение профиля ограничивается

металлоемкостью и тягово-цепными свойствами. Значение выбирается как минимально возможное при обеспечении агротехнической проходимости.

При эксплуатации на уклонах более 0,08 и в сложных грунтовых условиях рациональными с точки зрения проходимости являются модификации с меньшими пролетами длиной 48 м и увеличенной колесной базой, а также трехколесной ходовой системой.

### Выводы

Разработка широкозахватной дождевальной техники с высокими эксплуатационными характеристиками и надежностью в доступном ценовом диапазоне является актуальной задачей, требующей оптимизации конструктивно-технологических параметров с учетом условий эксплуатации.

Проведенные исследования показали, что в целях повышения эффективности эксплуатации и исключения заминаемости растений отношение величины агропросвета к высоте растений должно составлять более 0,7.

### Список использованных источников

1. 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.
2. Евсеев Е.Ю., Рязанцев А.И., Рембалович Г.К. и др. Технические решения по повышению производительности многофункциональной машины кругового действия на склоновых участках // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2023. Т. 15, № 2. С. 119-124.
3. Есин А.И., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. Математическое моделирование водопроводящего пояса дождевальных машин // Научная жизнь. 2017. № 9. С. 20-28.
4. Журавлева Л.А., Нгуен В.Т. Экспериментально-теоретические исследования системы «Норма полива – почва – дождевальная машина» // Аграрный научный журнал. 2021. № 10. С. 103-107.
5. Руководство по эксплуатации ЭК-100.000РЭ. Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1». Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции ЭК-100.000РЭ. СКБ ДМ «Дождь». М., 1991. 99 с.
6. Слюсаренко В.В., Журавлева Л.А., Рыжко Н.Ф. Опыт эксплуатации ДМ «Фрегат» на низком напоре // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 1. С. 22.
7. Снопич Ю.Ф. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств орошения дождеванием: Дис. ... д-ра техн. наук. Новочеркасск, 2011. 340 с.
8. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. Влияние режима движения дождевальных машин на норму полива // Вестник АПК Верхневолжья. 2018. № 1 (41). С. 38-43.
9. Патент на изобретение RU2654341 С1 / Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Кузнецов П.Е., Журавлева Л.А.,

### References

1. Abdrazakov F.K., Zhuravleva L.A., Soloviev V.A. Rational reduction of metal intensity in the design of wide-span sprinkling machines / F.K. Abdrazakov, L.A. Zhuravleva, V.A. Soloviev. // Agrarian scientific journal. 2018. № 5. P. 37-41.
2. Evseev E.Yu. Technical solutions to improve the productivity of a multifunctional circular machine in slope areas / E.Yu. Evseev A.I. Ryazantsev, G.K. Rembalovich [and others] // Bulletin of the Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev. 2023. V. 15. № 2. P. 119-124.
3. Esin A.I. Mathematical modeling of the water-conducting belt of sprinkler machines. / A.I. Esin, D.A. Soloviev, L.A. Zhuravleva. Scientific life. 2017. № 9. P. 20-28.
4. Zhuravleva L.A., V.T. Nguyen. Experimental and theoretical studies of the system "irrigation rate – soil – sprinkler machine" // Agrarian scientific journal. 2021. № 10. P. 103-107.
5. EK-100.000RE operation manual. Kuban-LK1 electric circular sprinkler machine. Instruction manual. Technical description and instructions of the EK-100.000RE. SKB DM "Rain" Moscow: 1991. 99 p.
6. Slyusarenko V.V. Experience of operating the DM "Fregat" at a low head. / V.V. Slyusarenko, L.A. Zhuravleva, N.F. Ryzhko. Land reclamation and water management. 2004. № 1. P. 22.
7. Snipich Yu.F. Intensification of technologies and improvement of technical means of sprinkling irrigation: dis. of the doctor of technical sciences. – Novocherkassk, 2011. – 340 p.
8. Soloviev D.A., Zhuravleva L.A. Influence of the movement regime of sprinkler machines on the irrigation rate. 2018. № 1 (41). P. 38-43.

Гомберг С.В. Многосекционная дождевальная машина кругового действия. 17.05.2018. Заявка № 2016146578 от 28.11.2016.

10. **Рязанцев А.И. и др.** Повышение тягово-сцепных свойств ходовых систем широкозахватных дождевальных машин кругового действия «Фрегат» // Техника и технологии агропромышленного комплекса: Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2009. № 3. С. 19-22.

11. **Рязанцев А.И.** Оценка параметров ходовой системы «Кубань-ЛК1» при выравнивании колеи / Зазюля А.Н., Евсеев Е.Ю. и др. // Наука в центральной России. 2023. № 1 (61). С. 116-123.

12. **Смирнов А.И.** Некоторые пути снижения сопротивления качению многоопорных электрифицированных дождевальных машин / Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю. и др. // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии. 2021. С. 271-274.

13. **Esin A.I., Zhuravleva L.A., Boikov V.M., Mukhin V.A.** Mathematical modeling of water conducting belt for circular action sprinkler // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. Т. 10, № 10. Special Iss. С. 2135-2141.

14. Zhuravleva L.A. Fedyunina T.V., Evsyukova L.Yu., Rusinov A.V., Kolganov D.A. Features of Investing in Reconstruction of Reclamation Objects by the Example of Irrigation Systems of the Saratov Region // Revista Turismo Estudos & Práticas. 2020. № 4. P. 19.

15. Каталог BAUER. Самая эффективная система под солнцем. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.bauer-at.com](http://www.bauer-at.com) (дата обращения: 28.05.2024).

16. Каталог ирригационной продукции Zimmatic by Lindsay. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.lindsay.com](http://www.lindsay.com) (дата обращения: 28.05.2024).

17. Каталог T-L Irrigation Company sales@tlirr.com. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.tlirr.com](http://www.tlirr.com) (дата обращения: 28.05.2024).

18. Каталог продукции Valley. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.valmont.com/](http://www.valmont.com/) (дата обращения: 28.05.2024).

9. Patent for invention of RU2654341 C1. / Authors: Soloviev D.A., Soloviev V.A., Kuznetsov R.E., Zhuravleva L.A., Gomberg S.V. Multisectional circular sprinkler machine. 17.05.2018. Application No 2016146578 dated 28.11.2016.

10. **Ryazantsev A.I.** Improving the traction and coupling properties of running systems of wide-span sprinkling machines of circular action "Fregat" / A.I. Ryazantsev [and others] // Technics and technologies of the agro-industrial complex / Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education of the Moscow State Agrarian University. 2009. № 3. P. 19-22.

11. **Ryazantsev A.I.** Assessment of the parameters of the running system "Kuban-LK1" when levelling the track / A.I. Ryazantsev, A.N. Zazulya, E.Yu. Evseev [and others] // Science in the Central Russia. 2023. № 1 (61). P. 116-123.

12. **Smirnov A.I.** Some ways for reduction of rolling resistance of multi-support electrified sprinkler machines / A.I. Smirnov, A.I. Ryazantsev, E. Yu/ Evseev [and others] // Development of scientific and resource potential of agrarian production: priorities and technologies. 2021. P. 271-274.2021.

13. **Esin A.I.** Mathematical modeling of water conducting belt for circular action sprinkler. / A.I. Esin, L.A. Zhuravleva, V.M. Boikov, V.A. Mukhin // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. Т. 10. № 10 Special Issue. P. 2135-2141

14. **Zhuravleva L.A.** Features of Investing in Reconstruction of Reclamation Objects by the Example of Irrigation Systems of the Saratov Region. / L.A. Zhuravleva, T.V. Fedyunina, L.Yu. Evsyukova., A.V. Rusinov, D.A. Kolganov. Revista Turismo Estudos & Práticas. 2020. № S4. P. 19.

15. Catalogue BAUER. The most effective system under sun [Electronic resource]. – Access mode: [www.bauer-at.com](http://www.bauer-at.com). – (Access date: 28.05.2024).

16. Catalogue of irrigation products Zimmatic by Lindsay [Electronic resource]. – Access mode: [www.lindsay.com](http://www.lindsay.com). – (Access date: 28.05.2024).

17. Catalogue T-L Irrigation Company sales@tlirr.com [Electronic resource]. – Access mode: [www.tlirr.com](http://www.tlirr.com) – (Access date: 28.05.2024).

18. Catalogue of products Valley [Electronic resource]. – Access mode: / [www.valmont.com/](http://www.valmont.com/) – (Access date: 28.05.2024).

#### Об авторах

**Лариса Анатольевна Журавлева**, д-р техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-1168-4001; Scopus: 57204785451; РИНЦ ID: WOS Research ID: AAO-7123-2020; [dfz@yandex.ru](mailto:dfz@yandex.ru)

**Алдиаб Анас**, аспирант кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ; [anasaldiab123@gmail.com](mailto:anasaldiab123@gmail.com)

#### About the authors

**Larisa A. Zhuravleva**, DSC (Eng), associate professor; ORCID: 0000-0002-1168-4001; Scopus: 57204785451; RINTS ID: WOS Research ID: AAO-7123-2020; [dfz@yandex.ru](mailto:dfz@yandex.ru)

**Aldiab Anas**, post graduate student of the department of organization and technologies of hydro reclamation and building works; [anasaldiab123@gmail.com](mailto:anasaldiab123@gmail.com)

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Журавлева Л.А., Алдиаб Анас выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов / Criteria of authorship

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

#### Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / The authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.11.2023

Поступила после рецензирования / Received after peer review 21.02.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 21.02.2024

Zhuravleva L.A., Aldiab Anas carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.