

Оригинальная статья

УДК 631.67:631.3

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-1-32-38>



## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЛИВА СПРИНКЛЕРОВ С ДИАФРАГМОВЫМ ЗАПОРНЫМ МЕХАНИЗМОМ

Л.А. Журавлева<sup>1✉</sup>, Д.М. Бенин<sup>2</sup>, Н.В. Гавриловская<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; Москва, Российская Федерация

<sup>1</sup> dfz@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-1168-4001

<sup>2</sup> dbenin@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0003-1265-4071

<sup>3</sup> gavrilovskayanv@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0001-5060-7837

**Аннотация.** Цель исследований – разработка конструкции и оптимизация параметров работы и расстановки вдоль трубопровода дождевальной машины спринклеров с диафрагмовым запорным механизмом. В статье рассмотрены конструкция и теоретические предпосылки спринклера с диафрагмовым запорным элементом. Дана расходно-напорная характеристика спринклера с учетом диаметра отверстия диафрагмового запорного механизма и определенного положения микродвигателя. Представлено распределение воды при установке спринклеров на спускных трубах приповерхностного полива, а также спринклеров, установленных непосредственно на трубопроводе машины с диафрагмовым запорным элементом с шагом 2 и 3 м.

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-26-00132).**

**Ключевые слова:** дождевальная машина, диафрагмовый запорный механизм, расход, спринклер, распределение осадков

**Для цитирования:** Журавлева Л.А., Бенин Д.М., Гавриловская Н.В. Оценка качества полива спринклеров с диафрагмовым запорным механизмом. Природобустройство. 2026;Т.19(1):32-38. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-1-32-38>

Original article

## EVALUATION OF THE QUALITY OF SPRINKLER IRRIGATION WITH A DIAPHRAGM SHUT-OFF MECHANISM

L.A. Zhuravleva<sup>1✉</sup>, D.M. Benin<sup>2</sup>, N.V. Gavrilovskaya<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; A.N. Kostyakov Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction; Moscow, Russian Federation

<sup>1</sup> dfz@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-1168-4001

<sup>2</sup> dbenin@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0003-1265-4071

<sup>3</sup> gavrilovskayanv@rgau-msha.ru; ORCID: 0000-0001-5060-7837

**Abstract.** The purpose of this article is to develop a design and optimize the operating parameters and placement of sprinklers with a diaphragm shut-off mechanism along the pipeline of a sprinkling machine. The article discusses the design and theoretical background of a sprinkler with a diaphragm shut-off element. It provides the flow-pressure characteristic of the sprinkler, taking into account the diameter of the diaphragm shut-off mechanism and the specific position of the micro-engine. The article presents the distribution of water when sprinklers are installed on the discharge pipes of surface irrigation, as well as sprinklers installed directly on the pipeline of a machine with a diaphragm shut-off element with a 2- and 3-meter step.

**The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project no. 25-26-00132).**

**Keywords:** sprinkler machine, diaphragm locking mechanism, flow rate, sprinkler, precipitation distribution

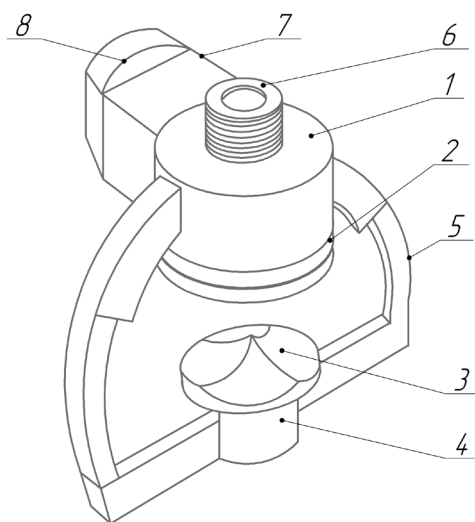
**For citation:** Zhuravleva L.A., Benin D.M., Gavrilovskaya N.V. Evaluation of the quality of sprinkler irrigation with a diaphragm shut-off mechanism. *Prirodoobustroystvo*. 2026;19(1):32-38. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-1-32-38>

**Введение.** В России площадь мелиорируемых площадей составляет порядка 9,4 млн га. Это менее 5% пашни, которые обеспечивают до 25% от всего урожая. Урожайность орошаемого 1 га до 5 раз выше, чем на богаре [1].

Основной проблемой является малое количество новых опытно-конструкторских российских разработок и производства технических средств полива, а также наличие значительного количества иностранных производителей. Техника же полива «советского периода» уступает иностранным аналогам по автоматизации процессов работы и функционалу, зачастую не отвечает экологическим требованиям – в частности, характеризуется высокой интенсивностью полива.

Одним из направлений совершенствования конструкций спринклеров являются технические решения с возможностью конструктивного регулирования характеристик спринклера. Это подпружиненные перфорированные диски, перекрывающие проходное сечение полностью или частично; штоки, частично перекрывающие сопла; электромагнитные клапаны, устанавливаемые на входе в спринклер или в отводах приповерхностного полива, применяемые для «точного полива» [2, 3].

Подобные устройства позволяют менять расходно-напорные характеристики дождя, радиус захвата дождем и интенсивность полива.



**Рис. 1. Общая схема спринклера:**

- 1 – корпус; 2 – диафрагмовый запорный механизм; 3 – дефлектор; 4 – втулка;
- 5 – ножки крепления; 6 – патрубок;
- 7 – корпус привода; 8 – микрошаговый двигатель

**Fig. 1. General scheme of the sprinkler:**

- 1 – body, 2 – diaphragm locking mechanism,
- 3 – deflector, 4 – bushing, 5 – mounting legs,
- 6 – nozzle, 7 – drive housing, 8 – microstep motor

Электромагнитные клапаны позволяют перекрывать поступление воды, что может требоваться при точном поливе.

Важным направлением исследований и конструктивных разработок является обеспечение повышения равномерности полива [4-12].

Цель исследований: разработка конструкции и оптимизация параметров работы и установки вдоль трубопровода дождевальной машины спринклеров с диафрагмовым запорным механизмом.

**Материалы и методы исследований.** Разработанные спринклеры (рис. 1, 2) представляют собой корпус, ножки крепления втулки, в которую устанавливаются сменные дефлекторы, и диафрагмовый запорный механизм, приводимый в действие шаговым двигателем.

Диафрагмовый запорный механизм позволяет практически бесступенчато изменять проходное сечение сопла, соответственно меняя расходно-напорные характеристики. При этом чем больше пластин в диафрагмовом механизме, тем более плавно меняется диаметр, и по форме многогранник становится ближе к окружности.

Предлагаемый диафрагменный запорный механизм имеет 8 пластин. Диаметр отверстия можно изменять шаговым двигателем от 5 до 12 мм. Большое количество пластин является нецелесообразным ввиду сложности конструкции и снижения надежности работы.

Площадь сечения, образуемого диафрагмовым запорным механизмом, можно определить геометрически (рис. 3) по выражению, м<sup>2</sup>:

$$S = \pi \{ [x'_3 \sin(\alpha'_2)] + [\sqrt{r^2 - (r \cos(\alpha_1) - z_2)^2} - r_1] - B \}^2, \quad (1)$$

где (в формуле и на рисунке) следующие обозначения:  $x'_3$  – сторона треугольника, м;  $\alpha'_2$  – угол треугольника;  $r$  – радиус отверстия в начальном положении, определяемый как сумма значений  $r_1$  и  $r_2$ ;  $\alpha_1$  – внутренний угол треугольника в начальном положении, град.;  $z_2$  – отрезок  $x_2$  в начальном положении, м;  $r_1$  – отрезок радиуса в начальном положении, м;  $B$  – ширина кромки в начальном положении, м.

Геометрические параметры изменяются в процессе движения пластин, то есть работы диафрагмового запорного механизма.

Расход через отверстие гидравлически определяется как, м<sup>3</sup>/с,

$$q = CS\sqrt{2gH}, \quad (2)$$

где  $H$  – рабочий напор, м;  $C$  – коэффициент расхода.

Тогда

$$q = C\pi \{ [x_3 \sin \alpha_2] + [\sqrt{r^2 - (r \cos \alpha_1 - z_2)^2} - r_1] - B \}^2 \sqrt{2gH}. \quad (3)$$

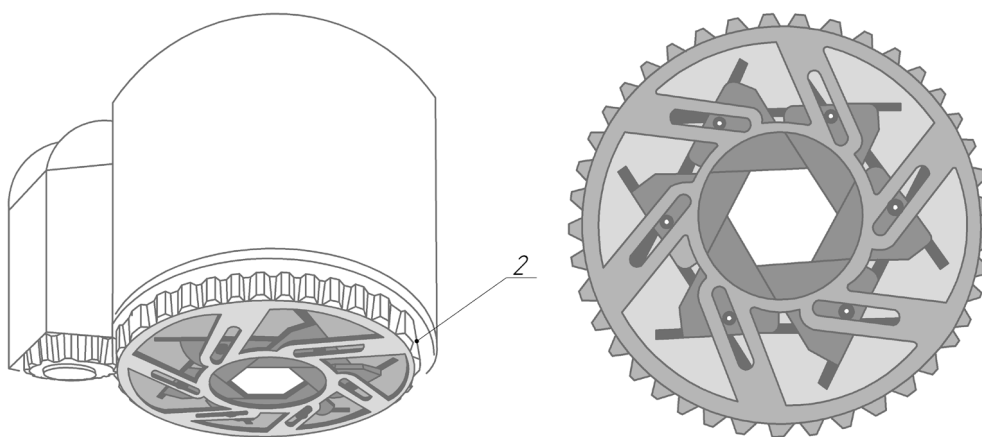


Рис. 2. Диафрагмовый запорный механизм спринклера  
Fig. 2. Sprinkler diaphragm locking mechanism

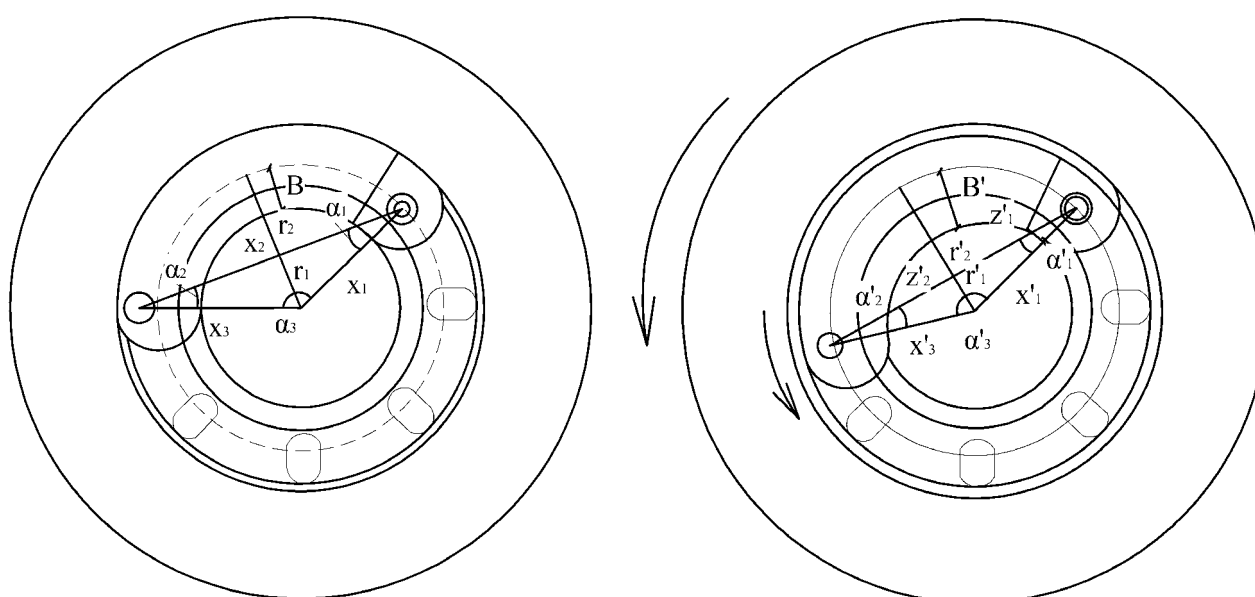


Рис. 3. Геометрическая схема диафрагмового запорного механизма  
Fig. 3. Geometric diagram of the diaphragm locking mechanism

**Результаты и их обсуждение.** Экспериментальные исследования включали в себя:

- определение расходно-напорных лабораторных характеристик спринклера на стенде;
- оценку равномерности распределения осадков при установке спринклеров с управлением микрошаговым двигателем непосредственно на трубопроводе мини-модели дождевальной машины кругового действия и стандартных спринклеров на трубках приповерхностного полива.

Для привода в действие механизма разработанных дождевателей использовалась платформа Arduino. Микрошаговый двигатель модели 28BYJ-48. Редуктор 1:64.

Расходно-напорная характеристика спринклера с учетом диаметра отверстия диафрагмового запорного механизма в определенном положении микродвигателя представлена



Рис. 4. Спринклер, сменные дефлекторы  
Fig. 4. Sprinkler, replaceable deflectors

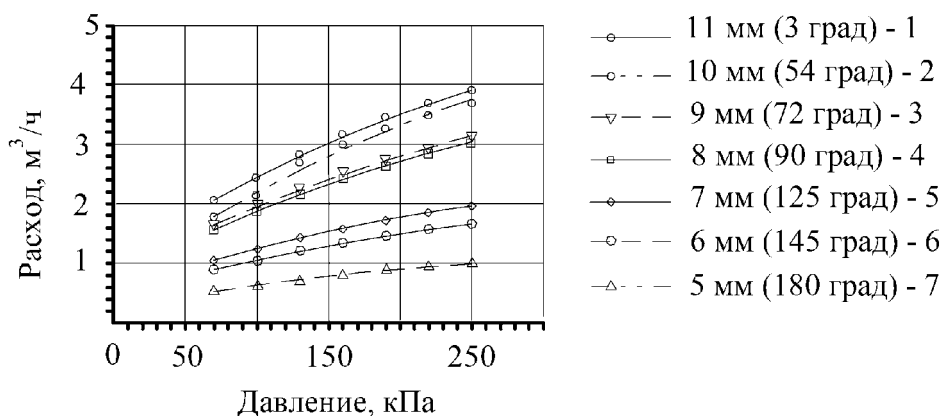


Рис. 5. Расходно-напорная характеристика спринклера с учетом диаметра отверстия диафрагмового запорного механизма в определенном положении микродвигателя

Fig. 5. Flow and pressure characteristics of the sprinkler taking into account the diameter of the diaphragm locking mechanism opening in a certain position of the micromotor

на рисунке 5. На входе в трубопровод устанавливалось давление 0,15 МПа. Длина машины – 10 м.

Высота установки над землей составляла 0,9 м. Сменные дефлекторы: гладкий (авторский), с продольными насечками (Komet).

Экспериментальные исследования проводились для следующих условий:

– Спринклеры установлены на устройствах приповерхностного полива. Диаметры сопла – 5 мм. Шаг расстановки спринклеров – 2 м.

– Спринклеры с мембранным запорным устройством. Дефлектор базовый. Диаметры сопла – 5 мм. Шаг – 2 и 3 м.

– Спринклеры с мембранным запорным устройством. Дефлектор с продольными насечками. Диаметры сопла – 5 мм. Шаг – 2 и 3 м.

Цель заключалась в том, чтобы получить участок полива длиной 10 м с полным перекрытием зоны полива по боковой линии. Диаметр трубопровода составлял 126 мм. Требуемое количество спринклеров и диаметр сопла стандартных спринклеров или диаметр открытия запорного мембранного механизма подбирались в зависимости от определенного на лабораторном стенде радиуса захвата дождем и полученной расходно-напорной характеристики.

Поскольку испытания проводились на однопролетной мини-модели дождевальной машины, диаметр отверстия спринклера вдоль трубопровода не изменялся и составлял в опытах 5 мм. Устанавливались дефлекторы базовой модели и с продольными насечками. Высота установки спринклеров на трубах приповерхностного полива составляла 0,9 м.

Целью было получение участка полива длиной 10 м с полным перекрытием зоны полива по боковой линии. Расстояния между спринклерами в опытах составляли 2 и 3 м. Диаметр трубопровода – 126 мм. Требуемое количество спринклеров и диаметр сопла для стандартных спринклеров и диаметр открытия мембранного механизма подбирались в зависимости от определенного на лабораторном стенде радиуса захвата и расходно-напорной характеристики.

Поскольку испытания проводились на однопролетной мини-модели дождевальной машины, диаметр отверстия спринклера вдоль трубопровода не изменялся и составлял в опытах 5 мм. Устанавливались дефлекторы базовой модели и с канавками. Высота установки спринклеров на трубах приповерхностного полива составляла 0,9 м (рис. 6.)

Высота установки спринклеров непосредственно на трубопроводе дождевальной мини-модели составляла 1,6 м.

Разрабатываемые диафрагмовые спринклеры при установке на многопролетные дождевальные машины легко регулируют проходное отверстие шаговым двигателем и, в частности, являются удобными для использования при дифференцированном поливе.

Полученные результаты интерполированы с помощью программного обеспечения Surfer (рис. 7-9).

Результаты исследований показали, что сама конструктивная модель дефлекторного спринклера имеет недостатки с позиции равномерности распределения дождя. Это тенденция распределения большей части воды



Рис. 6. Мини-модель дождевальной машины

Fig. 6. Mini sprinkler

по дальнему радиусу от оси, в то время как область вокруг оси получает меньшее количество воды.

По мере увеличения расстояния между спринклерами значения коэффициента

однородности Кристиансена для всех спринклеров уменьшались, особенно для спринклеров, установленных на трубках приповерхностного полива. Подобные системы требуют учащенных схем установки.

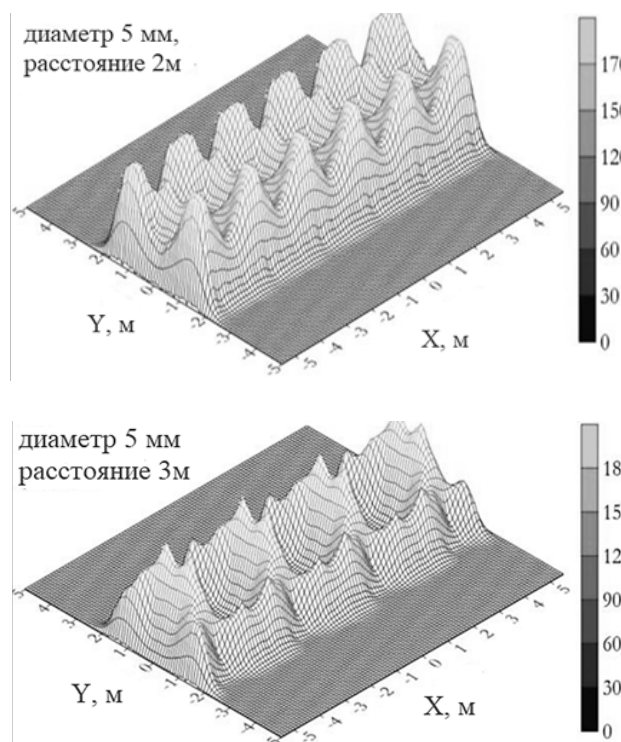


Рис. 7. Распределение осадков при установке спринклеров на спускных трубах приповерхностного полива

Fig. 7. Distribution of precipitation when installing sprinklers on the drain pipes of near-surface irrigation

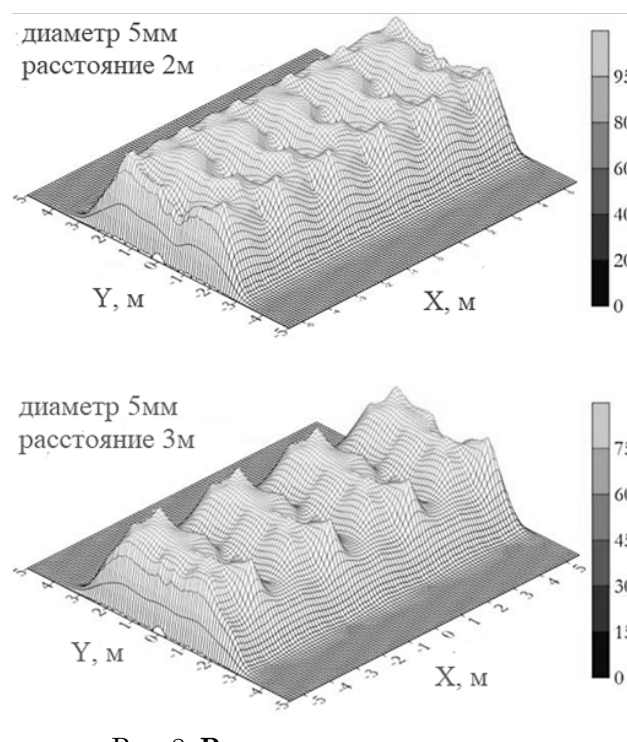
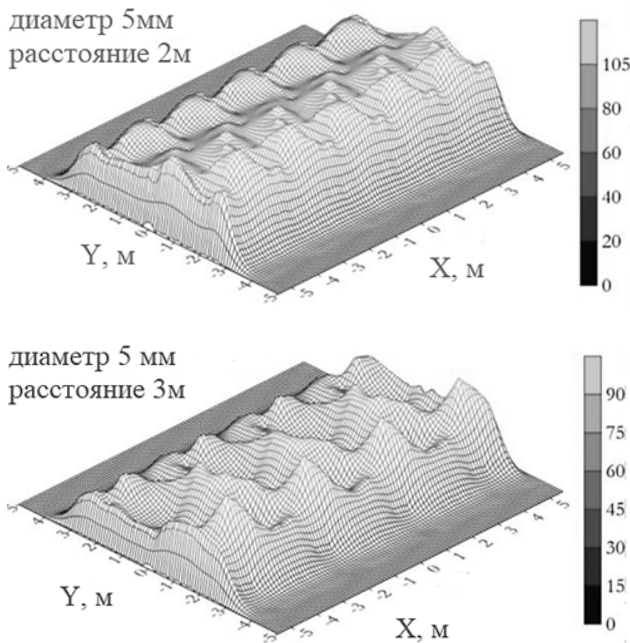


Рис. 8. Распределение осадков при установке спринклеров с диафрагмовым запорным механизмом на трубопроводе машины, дефлектор с насечками

Fig. 8. Precipitation distribution during sprinkler installation with diaphragm locking mechanism on the machine pipeline, notched deflector



**Рис. 9. Распределение осадков при установке спринклеров с диафрагмовым запорным механизмом на трубопроводе машины, дефлектор с продольными насечками**

**Fig. 9. Precipitation distribution during sprinkler installation with longitudinal notches**

**Список использованных источников**

1. Библиодосье: «Круглый стол» / Комитет Государственной Думы по аграрным вопросам. Москва, 2025. Декабрь.
2. Журавлева Л.А., Попков И.А., Магомедов М.С., Бассел Х. Дождеватели широкозахватных дождевальных машин: Монография. Москва, 2022. 140 с.
3. Слюсаренко В.В., Журавлева Л.А., Рыжко Н.Ф. Опыт эксплуатации ДМ «Фрегат» на низконапорном режиме // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 1. С. 22-26.
4. Журавлева Л.А. Оценка равномерности полива дефлекторными дождевателями Nelson // Природоустройство. No. 2. 2025. С. 20-23. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-20-23>
5. Костенко М.Ю., Мельничук Д.С., Тетерин В.С. Повышение равномерности распределения дождя за счет применения дождевальной установки с траекторией полива, близкой к прямоугольной // Вестник РГАТУ. 2021. № 4. С. 138-143.
6. Васильев С.М., Шкура В.Н. Дождование: Учебное пособие. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 352 с. EDN: WCALMH
7. Акпасов А.П., Туктаров Р.Б., Аверин Д.А. Повышение равномерности распределения интенсивности дождя при комбинированном орошении автоматизированной системой полива // Московский экономический журнал. 2023. № 4. С. 56-65. EDN: TDFS VH
8. Zhao W., Li J., Li Y. Modeling sprinkler efficiency with consideration of microclimate modification effects. Agricultural and Forest Meteorology. 2012. Pp. 116-122.
9. Issaka Z., Li H., Yue J., Tang P., Darko R.O. Water-smart sprinkler irrigation, prerequisite to climate change

**Выводы**

Спринклеры с мембранным запорным механизмом и дефлектором с канавками, установленные на трубопроводе машины, показали меньшую чувствительность к увеличению расстояния между спринклерами.

В целом равномерность спринклеров, установленных на трубопроводе машины, значительно выше, однако необходимо учитывать, что потери воды на испарение и снос ветром также будут выше.

Известно, что установка дефлекторов с продольными насечками несколько снижает потери на испарение и снос ветром за счет формируемых плотных струек, противостоящих влиянию ветра.

Рекомендовать подобную комплектацию для дифференцированного полива можно при невысоко расположенном трубопроводе над поверхностью почвы, то есть для полива низких культур или для регионов, где преобладает безветренная погода.

**References**

1. Bibliodossier. State Duma Committee on Agrarian Issues, "Round Table". Moscow, December 2025. (Where can I find the material?)
2. Zhuravleva L.A., Popkov I.A., Magomedov M.S., and Bassel H. Sprinklers for Wide-Area Irrigation Machines: A Monograph. Moscow, 2022. 140 p.
3. Slyusarenko V.V., Zhuravleva L.A., Ryzhko N.F. Experience of operation of DM "Fregat" on low-pressure mode // Melioration and water management. 2004. No. 1. P. 22-26.
4. Zhuravleva L.A. Assessment of uniformity of irrigation by deflector sprinklers Nelson // Prirodoobustrojstvo. No. 2. 2025. P. 20-23. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-2-20-23>
5. Kostenko M.Yu., Melnichuk D.S., Teterin V.S. Increasing the uniformity of rain distribution by using a sprinkler system with a watering trajectory close to a rectangular one // Vestnik RGATU. No. 4. 2021. P. 138-143.
6. Vasilyev S.M., Shkura V.N. Sprinkling. Study Guide. Novocherkassk: RosNIIPM, 2016. 352 p. EDN: WCALMH
7. Akpasov A.P., Tuktarov R.B., Averin D.A. Increasing the uniformity of the 7. Akpasov A.P., Tuktarov R.B., Averin D.A. Improving the uniformity of rain intensity distribution during combined irrigation using an automated irrigation system // Moscow Economic Journal. No. 4. 2023. P. 56-65. EDN: TDFS VH
8. Zhao W., Li J., Li Y. Modeling sprinkler efficiency with consideration of microclimate modification effects. Agricultural and Forest Meteorology. 2012. P. 116-122.
9. Issaka Z., Li H., Yue J., Tang P., Darko R.O. Water-smart sprinkler irrigation, prerequisite to climate change adaptation: A review // Journal of Water and Climate Change. 2018. V. 9. P. 383-398.

adaptation: A review // *Journal of Water and Climate Change*. 2018. V. 9. Pp. 383-398.

10. Shiva Shankar M., Ramanjaneyulu A.V., Neelima T.L., Anup Das. Sprinkler Irrigation – An Asset in Water Scarce and Undulating Areas. 2018. Pp. 259-283.

11. Dehkordi D.K. Evaluation of uniformity coefficient of water distribution in sprinkler irrigation under different conditions // *Advances in Environmental Biology*. 2014. Pp. 781-786.

12. Yuan S.Q., Darko R.O., Zhu X.Y., Liu J.P., Tian K. Optimization of movable irrigation system and performance assessment of distribution uniformity under varying conditions // *Int J Agric & Biol Eng*. 2017. Pp. 72-79.

#### Сведения об авторах

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

**Дмитрий Михайлович Бенин**, канд. с.-х. наук, доцент; ORCID: 0000-0003-1265-4071; SPIN-код 6243-0567; AuthorID708496; dbenin@rgau-msha.ru

**Надежда Владимировна Гавриловская**, канд. техн. наук, доцент; ORCID: 0000-0001-5060-7837; SPIN-код 6622-7736; AuthorID576125; gavrilovskayanv@rgau-msha.ru

#### Вклад авторов

Л. А. Журавлёва: проведение теоретических исследований, участие в проведении полевых опытов.

Д.М. Бенин: обработка результатов полевых опытов, определение направлений дальнейших исследований.

Н.В. Гавриловская: редакция и оформление текстового и графического материалов статьи, формулировка выводов.

#### Конфликт интересов / Conflict of interests

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

Поступила в редакцию / Received 20.12.2025

Поступила после рецензирования / Received 23.01.2026

Принята к публикации / Accepted 23.01.2026

10. Shiva Shankar M., Ramanjaneyulu A.V., Neelima T.L., Anup Das. Sprinkler Irrigation – An Asset in Water Scarce and Undulating Areas. 2018. P. 259-283.

11. Dehkordi D.K. Evaluation of uniformity coefficient of water distribution in sprinkler irrigation under different conditions // *Advances in Environmental Biology*. 2014. P. 781-786

12. Yuan S.Q., Darko R.O., Zhu X.Y., Liu J.P., Tian K. Optimization of movable irrigation system and performance assessment of distribution uniformity under varying conditions // *Int J Agric & Biol Eng*. 2017. P. 72-79.

#### Information about the authors

**Larisa A. Zhuravleva**, DSs (Tech), Associate Professor; ORCID: 0000-0002-1168-4001; Scopus: 57204785451; RSCI ID: WOS Research ID: AAO-7123-2020; dfz@yandex.ru

**Dmitry M. Benin**, CSs (Agro), Associate Professor; ORCID: 0000-0003-1265-4071; SPIN code 6243-0567; AuthorID708496; dbenin@rgau-msha.ru

**Nadezhda V. Gavrilovskaya**, CSs (Tech), Associate Professor; ORCID: 0000-0001-5060-7837; SPIN-code 6622-7736; AuthorID576125; gavrilovskayanv@rgau-msha.ru

#### Author Contribution

L.A. Zhuravleva: conducting theoretical research, participating in field experiments.

D.M. Benin: processing the results of field experiments, determining the directions for further research.

N.V. Gavrilovskaya: editing and design of text and graphic materials of the article, formulation of conclusions.