

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.6:631.34

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-48-53

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ДОЖДЕВАТЕЛЯХ ШИРОКОЗАХВАТНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН

ЖУРАВЛЕВА ЛАРИСА АНАТОЛЬЕВНА^{1✉}, д-р техн. наук, доцент
dfz@yandex.ru

ПОПКОВ ИГОРЬ АНАТОЛЬЕВИЧ², канд. экон. наук, директор ООО «Русхимбио»
ipopkov@mail.ru

МАГОМЕДОВ МУРАД САЛМАНДИБИРОВИЧ¹, аспирант
dag_highlander@mail.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

² ООО Русхимбио; 121170, г. Москва, ул. Генерала Ермолова, 10/6, помещение IX, Россия

Российские и зарубежные исследователи накопили значительный опыт конструирования различного типа дождевателей и распылителей, работающих как на широкозахватной дождевальной технике, так и при проливе клумб и газонов. В основу выбора конструктивных параметров и режимов работы, как правило, легли экспериментальные исследования. Полученные на основе этого зависимости были характерны для конкретных условий эксплуатации, режимов работы и самих конструктивных исполнений дождевателей. До этого времени не сложилась обобщенная методика расчета, а следовательно, и четкие рекомендации по применимости дождевателей в различных условиях. Целью исследований является моделирование движения воды во вращающихся дождевателях для оптимизации конструктивных параметров и режимов их работы. Смоделирован процесс взаимодействия потока воды с элементами дождевателя, имеющего вращающийся дефлектор. Представлено влияние расхода жидкости на размеры капель. Увеличение расхода жидкости приводит к возрастанию медианного диаметра капель, что объясняется возрастанием толщины жидкой пленки, сходящей с дефлектора. Плотность орошения можно регулировать шириной и числом канавок на дефлекторе, а размер орошаемой поверхности – высотой канавок и углом раствора. Траектория канавок на дефлекторе оказывает существенное влияние на формирование скорости и траекторию полета капель воды. Анализ показывает, что наибольшую скорость приобретает вода при выходе с вращающегося дефлектора, имеющего канавки размером 3-5 мм при расходе 2-3,5 л/с и мелкие канавки 1,5-2,5 мм, занимающие площадь всего дефлектора при малом расходе до 2 л/с. Проведенные исследования позволили смоделировать процесс взаимодействия потока воды с конструктивными элементами дождевателя и разработать обобщенный метод расчета. Полученные зависимости и значения приведенных параметров использовались при проектировании номенклатурного ряда дождевателей для широкозахватных дождевальных машин.

Ключевые слова: дождеватели, дефлектор, скорость, расход, давление

Формат цитирования: Журавлева Л.А., Попков И.А., Магомедов М.С. Моделирование движения воды во вращающихся дождевателях широкозахватных дождевальных машин // Природообустройство. – 2022. – № 3. – С. 48-53. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-48-53.

© Журавлева Л.А., Попков И.А., Магомедов М.С., 2022

Original article

MODELING OF WATER MOVEMENT IN ROTATING SPRINKLERS OF WIDE-CUT IRRIGATION MACHINES

ZHURAVLEVA LARISA ANATOLJEVNA^{1✉}, doctor of technical sciences, associate professor
dfz@yandex.ru

ПОПКОВ ИГОРЬ АНАТОЛЬЕВИЧ², candidate of economic sciences, director ООО Ruskhimbio
ipopkov@mail.ru

MAGOMEDOV MURAD SALMANDIBIROVICH¹, *post graduate student*

dag_highlander@mail.ru

¹ Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; Institute of land reclamation, water management and building named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49, Russia

² OOO Ruskhimbio.121170, Moscow, ul. Generala Ermolovaa, 10/6, building IX., Russia

Russian and foreign researchers have accumulated considerable experience in the design of various types of sprinklers and sprayers working both on wide-cut irrigation equipment and when spilling flower beds and lawns. The choice of design parameters and modes of operation, as a rule, was based on experimental studies. The dependencies obtained on the basis of this were for specific operating conditions, operating modes and the design of the sprinklers themselves. Until that time, there was no generalized calculation methodology, and, consequently, clear recommendations on the applicability of sprinklers in various conditions. The purpose of the study is to simulate the movement of water in rotating sprinklers in order to optimize the design parameters and modes of their operation. The article simulates the process of interaction of the water flow with the elements of the sprinkler having a rotating deflector. The effect of fluid consumption on the size of the drops is presented. An increase in fluid flow leads to an increase in the median diameter of the droplets, which is explained by an increase in the thickness of the liquid film coming off the deflector. The density of irrigation can be adjusted by the width and number of grooves on the deflector, and the size of the irrigated surface by the height of the grooves and the angle of the solution. The trajectory of the grooves on the deflector has a significant impact on the formation of the speed and flight path of water droplets. The analysis shows that water acquires the highest speed when leaving a rotating deflector having grooves of 3-5 mm in size with a flow rate of 2-3.5 l/s and small grooves of 1.5-2.5 mm, occupying the area of the entire deflector with a low flow rate of up to 2 l/s. The studies carried out made it possible to simulate the process of interaction of the water flow with the structural elements of the sprinkler and to develop a generalized method of calculation. The obtained dependencies and values of the given parameters were used in the design of the nomenclature series of sprinklers for wide-cut irrigation machines.

Keywords: *sprinklers, deflector, speed, flow rate, pressure*

Format of citation: *Zhuravleva L.A., Popkov I.A., Magomedov M.S. Modeling of water movement in rotating sprinklers of wide-cut irrigation machines // Prirodobustrojstvo. – 2022. – № 3. – P. 48-53. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-48-53.*

Введение. Основными требованиями к дождевателям являются равномерность увлажнения поливной площади и снижение интенсивности водоподачи, что определяется оптимизацией конструкции, выбором конструктивного исполнения и режимом работы.

Российские и зарубежные ученые, исследователи накопили большой опыт конструирования различного типа дождевателей и распылителей, работающих как на дождевальной технике, так и при поливе клумб и газонов. В основу выбора конструктивных параметров и режимов работы, как правило, легли проведенные экспериментальные исследования. Недостатком явилось то, что полученные зависимости были характерны для конкретных условий эксплуатации, режимов работы и самих конструктивных исполнений дождевателей [1-14].

Цель исследований: моделирование движения воды во вращающихся дождевателях с целью оптимизации конструктивных параметров и режимов их работы.

Материалы и методы исследований. Под действием центробежных сил вода течет

по дефлектору и распыливается за его пределами. Конструктивными особенностями обеспечивается различный характер распределения воды по дефлектору.

Поток воды попадает в криволинейные канавки, изогнутые таким образом, что создается момент силы реакции вытекающей струи, и дефлектор начинает вращаться вокруг оси, достигая определенной частоты. В дальнейшем поток поступает на вращающийся с определенной частотой дефлектор.

Суммарное действие этих сил приводит к спиральному перемещению выделенного элемента жидкости по дефлектору, расположенному на расстоянии r от центра дефлектора с учетом вертикальной координаты z .

С ростом текущего значения радиуса r убывают толщина пленки жидкости $\delta = \delta(r)$ и осевая скорость течения w .

Рассмотрим движение воды в периферийной части дефлектора, где осевая скорость w намного меньше радиальной u , а толщина пленки δ достаточно мала. В этом случае можно считать изменение скорости течения

в направлении оси z более резким, чем в направлении оси r .

Производными скорости по r в уравнениях можно пренебречь. На поверхности пленки давление p является постоянным, жидкость считается невесомой в связи с малой толщиной пленки.

Уравнение неразрывности потока и уравнение постоянства расхода можно представить в виде зависимостей:

$$\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} \frac{dw}{dz} = 0, \quad Q_H = \int_0^\delta 2\pi r u dz, \quad (1-2)$$

где u – радиальная скорость элемента потока жидкости, м/с; w – осевая скорость течения, м/с; r – радиус (расстояние оси дефлектора до выделенного элемента жидкости), м; δ – толщина пленки жидкости, м; Q_H – расход жидкости через дождеватель, м³/с.

С учетом принятых допущений ключевые параметры потока жидкости можно определить по зависимостям [3]

$$\delta = 0,78 \frac{\mu_B^{0,33} Q_H^{0,33}}{r^{0,66} \omega^{0,66}}, \quad (3)$$

$$u = 0,78 \frac{r^{0,33} \omega^{1,33} Q_H^{0,33}}{\mu_B^{0,33}} z - 0,5 \frac{r \omega^2}{\mu_B} z^2, \quad (4)$$

$$v = r \omega \left[1 - 0,32 \frac{Q_H}{\mu_B r^2} z - 0,017 \frac{\omega^{1,33} Q_H^{0,33}}{\mu_B^{0,33} r^{0,66}} z^3 + 0,08 \frac{\omega^2}{\mu_B} z^4 \right], \quad (5)$$

$$w = 0,39 \frac{\omega^{1,33} Q_H^{0,33}}{r^{0,66} \mu_B^{0,66}} z^2 - 0,166 \frac{\omega^2}{\mu_B} z^3, \quad (6)$$

где δ – толщина пленки жидкости, м; u , v , w – соответственно радиальная, окружная и осевая составляющие скорости течения, м/с; μ_B , ρ_B – кинематическая вязкость, м²/с, и плотность воды, кг/м³; ω – угловая скорость дефлектора, с⁻¹.

На рисунке 1 представлено влияние расхода жидкости (толщины пленки, сбрасываемой с дефлектора) на размеры капель. Окружная скорость при этом остается неизменной. Увеличение расхода жидкости приводит к возрастанию медианного диаметра капель, что объясняется возрастанием толщины жидкой пленки.

В процессе схода потока жидкости с дефлектора образуются наиболее однородные по размерам основные капли (первичные) и более мелкие капельки-спутники.

Для определения диаметра образующихся основных капель, исходя из условия равенства действующих на капельку центробежных сил и силы поверхностного натяжения σ , можно воспользоваться выражением [15]

$$d_K = \frac{c}{\omega} \sqrt{\frac{\sigma}{R \rho_B}}, \quad (7)$$

где c – константа.

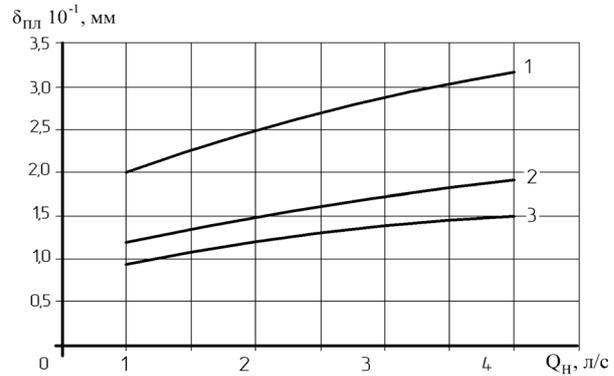


Рис. 1. Зависимость толщины пленки от расхода: 1 – $\omega = 10 \text{ с}^{-1}$; 2 – $\omega = 20 \text{ с}^{-1}$; 3 – $\omega = 30 \text{ с}^{-1}$; значения ω – согласно [15]

Fig. 1. Film thickness dependence on the flow at: 1 – $\omega = 10 \text{ с}^{-1}$; 2 – $\omega = 20 \text{ с}^{-1}$; 3 – $\omega = 30 \text{ с}^{-1}$. Values ω agree with [15]

Распределение размеров капелек-спутников приближенно соответствует нормальному закону распределения случайных величин. Мелкие капельки могут составлять значительную долю от распыленной жидкости и определяются как

$$V_{\text{МЕЛ}} = \frac{86 \omega^{0,48} \mu_B^{0,12}}{R^{0,3}} \left(\frac{\rho_B Q_H}{\sigma} \right)^{0,62}, \quad (8)$$

Плотность орошения можно регулировать шириной и числом канавок на дефлекторе, а размер орошаемой поверхности – высотой канавки и углом раствора их.

Известно, что при малом напоре поток воды сходит с дефлектора в виде пленки; дальнейшее повышение давления приводит к увеличению числа оборотов, а распад потока на капли происходит непосредственно у края.

Дефлекторы могут иметь радиальные или наклонно расположенные канавки. Траектория канавок на дефлекторе оказывает существенное влияние на формирование скорости и траектории полета капель воды.

В том случае, когда дефлектор снабжен канавками (рис. 2), учитывая вязкое трение и пренебрегая скольжением, можно составить дифференциальное уравнение для радиальной скорости, исходя из равновесия сил в элементе.

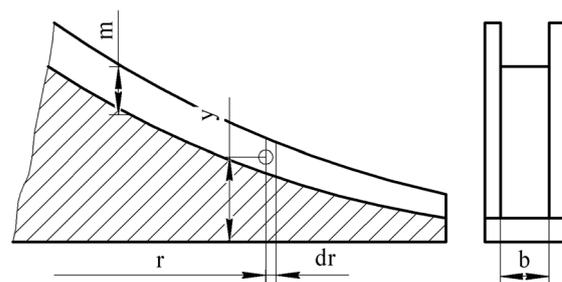


Рис. 2. Схема элемента дефлектора
Fig.2. Diagram of the deflector element

В результате численного интегрирования уравнения выражение для определения радиальной скорости воды u при выходе с дефлектора с радиальными канавками после математического преобразования будет иметь вид:

$$u = 0,75 \frac{\omega^{0,8} D^{0,4}}{B^{0,4}} \left(1 - \frac{0,9}{B^{0,92} \omega^{0,42} D^{1,43}} \right)^{0,4}, \quad (9)$$

где $B = 0,09 r_K^{0,35} \mu_B^{0,25} n_K^{0,8} Q_H^{-0,8}$ для канавок в форме параболы; $B = 0,096 b^{0,35} \mu_B^{0,25} n_K^{0,8} Q_H^{-0,8}$ для прямоугольных канавок; r_K – радиус канавки, м; b – ширина канавки, м; μ_B – кинематическая вязкость, м²/с; Q_H – объемный расход, м³/с; n_K – число канавок на дефлекторе, ед.; D – диаметр дефлектора, м.

Канавки могут быть прямоугольного, трапециoidalного, полукруглого, параболического и треугольного сечения.

К вопросу о форме канавки можно подойти с технологической и гидравлической сторон.

Гидравлически наиболее выгодным называется такая форма сечения, которая при заданных площади живого сечения и уклоне обладает наибольшей пропускной способностью.

Максимальной пропускной способностью будет обладать сечение с наименьшим смоченным периметром. Из всех видов сечений наименьшим смоченным периметром при заданной площади живого сечения будет обладать треугольное и полукруглое сечение.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 3 представлена зависимость (медианного) диаметра капель от окружной скорости вращения дефлектора при постоянном расходе воды. С увеличением окружной скорости размеры капель уменьшаются.

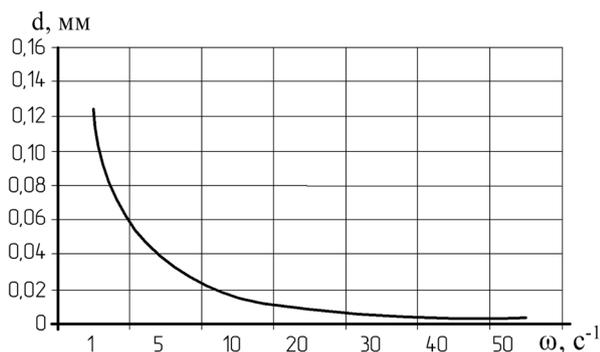


Рис. 3. Зависимость диаметра капель от угловой скорости дефлектора

Fig.3. Dependence of the diameter of the droplets on the angular velocity of the deflector

При увеличении скорости подачи воды, то есть напора из сопла, увеличивается скорость вылета капель дождя и соответственно радиус полива, а также уменьшается диаметр капель.

Анализ показывает, что наибольшую скорость приобретает вода при выходе

с вращающегося дефлектора, имеющего канавки r_K размером 3-5 мм при расходе 2-3,5 л/с и мелкие канавки 1,5-2,5 мм, занимающие площадь всего дефлектора при малом расходе до 2 л/с (рис. 4).

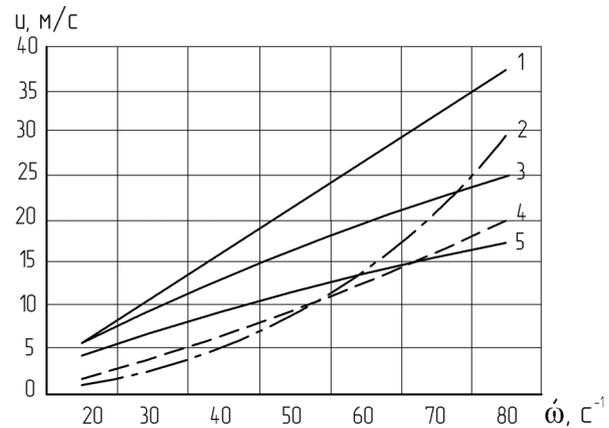


Рис. 4. Зависимость радиальной скорости u от угловой скорости дефлектора ω , м:

- 1 – $r_K = 0,005$ мм; $n_K = 14$; $D = 0,06$ м; $Q_H = 3,5$ л/с;
- 2 – $r_K = 0,005$ мм; $n_K = 14$; $D = 0,1$ м; $Q_H = 0,5$ л/с;
- 3 – $r_K = 0,0015$ мм; $n_K = 40$; $D = 0,09$ м; $Q_H = 0,5$ л/с;
- 4 – $r_K = 0,0015$ мм; $n_K = 24$; $D = 0,08$ м; $Q_H = 0,5$ л/с;
- 5 – $r_K = 0,005$ мм; $n_K = 14$; $D = 0,06$ м; $Q_H = 0,5$ л/с

Fig. 4. Dependence of the radial velocity on the angular velocity of the deflector ω , m:

- 1 – $r_K = 0,005$ мм; $n_K = 14$; $D = 0,06$ м; $Q_H = 3,5$ л/с;
- 2 – $r_K = 0,005$ мм; $n_K = 14$; $D = 0,1$ м; $Q_H = 0,5$ л/с;
- 3 – $r_K = 0,0015$ мм; $n_K = 40$; $D = 0,09$ м; $Q_H = 0,5$ л/с;
- 4 – $r_K = 0,0015$ мм; $n_K = 24$; $D = 0,08$ м; $Q_H = 0,5$ л/с;
- 5 – $r_K = 0,005$ мм; $n_K = 14$; $D = 0,06$ м; $Q_H = 0,5$ л/с

Полученные результаты использовались при конструировании дождевальных насадок широкозахватных дождевальных машин (рис. 5) [3].



Рис. 5. Дождеватель

Fig. 5. Sprinkler

Выводы

Проведенные исследования позволили смоделировать процесс взаимодействия потока воды с конструктивными элементами дождевателя и разработать обобщенный метод расчета.

Библиографический список

1. Бубенчиков М.А., Данильченко А.Н., Пасер Н.П. О снижении энергоемкости полива короткоструйными дефлекторными насадками // Экологическое и экономическое обоснование технологии и технических средств полива: сборник научных трудов ВНИИМиТП. – М.: ВНИИМиТП, 1989. – С. 42-47.
2. Есин А.И., Русинов А.В., Акпасов А.П. Обтекание конического дефлектора потоком вязкой несжимаемой жидкости // Научная жизнь. – 2018. – № 4. – С. 14-19.
3. Есин А.И., Журавлева Л.А., Соловьев В.А. Ресурсосберегающие технологии и дождевательные машины кругового действия: монография. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2019. – 203 с.
4. Исаев А.П. Гидравлика дождевательных машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 214 с.
7. Рыжко Н.Ф. Совершенствование дождеобразующих устройств для многоопорных дождевательных машин: монография. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2009. – 176 с.
5. Филимонов М.И., Новиков А.Е., Ламскова М.И. Дефлекторно-эжекторные дождевательные насадки для энерго- и ресурсосберегающего орошения / Волгоградский государственный университет // Альманах-2017. – Волгоград: ВГУ, 2017. – С. 115-123.
6. Esin A.I., Boikov V.M., Mukhin V.A. Mathematical Modeling of water Conducting Belt for Circular Action Sprinkler // Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems. – 2018. – Vol. 10. – P. 2135-2141.
7. Faria L.C., Nörenberg B.G., Colombo A. Irrigation distribution uniformity analysis on a lateral-move irrigation system. – 2019. – Vol. 37. – P. 195-206.
8. Jian Jiao, Yadong Wang, Liliang Han, Derong Su. Comparison of Water Distribution Characteristics for Two Kinds of Sprinklers Used for Center Pivot Irrigation Systems. Research Center for Grassland Resources and Ecology, Beijing Forestry University. – Published. – 2017. – P. 1-17. – 21 April.
9. Liu J.P., Yuan S.Q., Li H., Zhu X.Y. Experimental and combined calculation of variable fluidic sprinkler in agriculture irrigation // Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. – 2016. – 47 (1). – P. 82-88.
10. Liu J.P., Liu X.F., Zhu X.Y., Yuan S.Q. Droplet characterisation of a complete fluidic sprinkler with different nozzle dimensions // Biosyst Eng. – 2016. – 148 (6). – P. 90-100.
11. Liu J.P., Yuan S.Q., Darko R.O. Characteristics of water and droplet size distributions from fluidic sprinklers // Irrig Drain. – 2016.
12. Yisheng Zhang, Jinjun Guo, Bin Sun. Modeling and Dynamic-Simulating the Water Distribution of a Fixed Spray-Plate Sprinkler on a Lateral-Move Sprinkler Irrigation System // School of Water Conservancy and Science & Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou. – 2019. – September.
13. Zhu X.Y., Yuan S.Q., Liu J.P. Effect of sprinkler head geometrical parameters on hydraulic performance

Полученные зависимости и значения приведенных параметров использовались при проектировании номенклатурного ряда дождевательных машин с вращающимися дефлекторами.

References

1. Bubenchikov M.A., Danilchenko A.N., Patser N.P. O snizhenii energoemkosti poliva korotkostroynymi deflektornymi nasadkami // Ekologicheskoe i ekonomicheskoe obosnovanie tehnologii i tehniceskikh sredstv poliva: sb. nauch. tr. VNIIMiTP. – M.: VNIIMiTP, 1989. – S. 42-47.
2. Esin A.I., Rusinov A.V., Akpasov A.P. Obtekanie konicheskogo deflektora potokom vyazkoj neszhimaemoj zhidkosti // Nauchnaya zhizn. – 2018. – № 4. – S. 14-19.
3. Esin A.I. Zhuravleva L.A., Solovjev V.A. Resursosberagayushchie tehnologii i dozhdevalnye mashiny krugovogo dejstviya: monografiya. – Saratov: FGOU VPO «Saratovskiy GAU», 2019. – 203 s.
4. Isaev A.P. Gidravlika dozhdevalnyh mashin. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 214 s.
7. Ryzhko N.F. Sovershenstvovanie dozhdobra-zuyushchih ustrojstv dlya mnogoopornyh dozhdevalnyh mashin: monografiya. – Saratov: FGOU VPO «Saratovskiy GAU», 2009. – 176 s.
5. Filimonov M.I., Novikov A.E., Lamskova M.I. Deflektorno-ezhektornye dozhdevalnye nasadki dlya energo- i resursosberagayushchego orosheniya // Almanah-2017. Volgogradskiy gosudarstvennyy universitet. Volgograd: VGU, 2017. – S. 115-123.
6. Esin A.I., Boikov V.M., Mukhin V.A. Mathematical Modeling of water Conducting Belt for Circular Action Sprinkler / A.I. Esin, i dr. // Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 10, 01-Special Issue, 2018. P. 2135-2141.
7. Faria L.C., Nörenberg B.G., Colombo A. Irrigation distribution uniformity analysis on a lateral-move irrigation system / T.L. Irrig. Sci. 2019, 37, 195-206.
8. Jian Jiao, Yadong Wang, Liliang Han, Derong Su. Comparison of Water Distribution Characteristics for Two Kinds of Sprinklers Used for Center Pivot Irrigation Systems. Research Center for Grassland Resources and Ecology, Beijing Forestry University. Published: 21 April, 2017– P. 1-17.
9. Liu J.P., Yuan S.Q., Li H., Zhu X.Y. Experimental and combined calculation of variable fluidic sprinkler in agriculture irrigation / Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin America, 2016; 47(1): 82-88.
10. Liu J.P., Liu X.F., Zhu X.Y., Yuan S.Q. Droplet characterisation of a complete fluidic sprinkler with different nozzle dimensions / Biosyst Eng, 2016; 148(6): 90-100.
11. Liu J.P., Yuan S.Q., Darko R.O. Characteristics of water and droplet size distributions from fluidic sprinklers / Irrig Drain, 2016.
12. Yisheng Zhang, Jinjun Guo, Bin Sun. Modeling and Dynamic-Simulating the Water Distribution of a Fixed Spray-Plate Sprinkler on a Lateral-Move Sprinkler Irrigation System/School of Water Conservancy and Science & Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou. September 2019.
13. Zhu X.Y., Yuan S.Q., Liu J.P. Effect of sprinkler head geometrical parameters on hydraulic performance

of fluidic sprinkler // J Irrig Drain Eng ASCE. – 2012. – 138 (11). – P. 1019-1026.

14. **Zhu X.Y., Yuan S.Q., Jiang J.Y.** Comparison of fluidic and impact sprinklers based on hydraulic performance // Irrig Sci. – 2015. – 33 (5). – P. 367-374.

15. **Пажи Д.Г., Галустов Д.Г.** Основы техники распыливания жидкостей. – М.: Химия, 1984. – 256 с.

Критерии авторства

Журавлева Л.А., Попков И.А., Магомедов М.С. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись.

Имеют на статью авторское право

и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 08.05.2022

Одобрена после рецензирования 23.05.2022

Принята к публикации 24.06.2022

of fluidic sprinkler / J Irrig Drain Eng ASCE, 2012; 138(11): 1019-1026.

14. **Zhu X.Y., Yuan S.Q., Jiang J.Y.** Comparison of fluidic and impact sprinklers based on hydraulic performance // Irrig Sci, 2015; 33(5): 367-374.

15. **Pazhi D.G., Galustov D.G.** Osnovy tehniki paspylivaniya zhidkостей. – М.: Himiya, 1984. – 256 s.

Criteria of Authorship

Zhuravleva L.A., Popkov I.A., Magomedov M.S. carried out theoretical and practical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript.

Zhuravleva L.A., Popkov I.A., Magomedov M.S. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 08.05.2022

Approved after reviewing 23.05.2022

Accepted for publication 24.06.2022