

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.347.3

doi: 10.31774/2712-9357-2026-16-2-56-75

Повышение основных показателей качества и улучшение структуры искусственного дождя при применении барабанно-шланговой дождевальнoй установки

Дмитрий Владимирович Яланский¹, Юрий Анатольевич Мажайский²,
Михаил Иванович Голубенко³

¹Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки,
Республика Беларусь

²Мещерский филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации
имени А. Н. Костякова, Рязань, Российская Федерация

³Мещерский научно-технический центр, Рязань, Российская Федерация

¹dimka-045@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7808-8204>

²director@mntc.pro, <https://orcid.org/0000-0002-0743-8289>

³golubenko-mihail@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-8543-4448>

Аннотация. Цель: повышение основных показателей качества и улучшение структуры искусственного дождя в процессе использования барабанно-шланговой дождевальной установки посредством модернизации заводской конструкции дождевального аппарата, обеспечивающей мелкодисперсное дождевание при полном отсутствии поверхностного стока. **Материалы и методы.** Интенсивность дождя измеряли на лабораторном стенде, учитывая при этом технические возможности аппарата. Равномерность дождя определяли по коэффициенту равномерности распределения осадков, учитывая при этом среднюю и максимальную интенсивность дождя. Крупность капель была найдена с применением индикаторной бумаги, изменяющей цвет при попадании воды. Исследования базировались на актуальных научных концепциях и проверенных методологиях. Для оценки достоверности наблюдений применены современные методы математической статистики. **Результаты.** Средняя интенсивность дождя от 0,25 до 0,35 мм/мин была получена при испытании дождевальных насадок аппарата типа SR-140 типоразмеров от 16 до 30 мм (всего 8 шт.), для аппарата новой конструкции при диаметре поливных отверстий 2,5 мм она составила от 0,16 до 0,20 мм/мин. Для аппарата типа SR-140 при использовании насадки диаметром 30 мм размер дождевых капель составил 3,2 мм, при использовании насадки 16 мм – 2,7 мм, при этом получен коэффициент равномерности 0,62. Для модернизированного аппарата средний диаметр капель составил 2,4 мм при отношении $H/d_{отв} = 2000$ и 2,1 мм при отношении $H/d_{отв} = 8000$, при этом коэффициент равномерности изменился от 0,83 до 0,91 при работе в том же диапазоне. **Выводы.** Предложенная модель дождевального аппарата (патент № 2759221) позволила повысить все основные показатели качества дождя и улучшить его структуру. Отмечено соответствие средней интенсивности дождя, создаваемого аппаратом новой конструкции (0,16–0,20 мм/мин), и установившихся скоростей впитывания воды почвой (0,24–0,20 мм/мин), что обуславливает целесообразность конструкторского предложения.

Ключевые слова: интенсивность дождя, крупность капель, равномерность осадков, дождевальный аппарат, реактивная крыльчатка, структура дождя

Источник финансирования: хозрасчетные средства для ремонта и эксплуатации мелиоративных систем Управления Мелиоводхоз в Республике Беларусь.

Сведения о научно-исследовательской работе, по результатам которой публикуется статья: исследования начаты в рамках написания кандидатской диссертации, продолжены в учебно-опытном оросительном комплексе «Гушково-1» Белорусской государственной сельскохозяйственной академии в Могилевской области Республики Беларусь, отвечают требованиям знаний на конкретном объекте выращивания сельскохозяйственных культур.

Для цитирования: Яланский Д. В., Мажайский Ю. А., Голубенко М. И. Повышение основных показателей качества и улучшение структуры искусственного дождя при применении барабанно-шланговой дождевальной установки // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 2. С. 56–75. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-56-75>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Improving the key quality indicators and improving the artificial rain structure using a hose-reel sprinkler

Dmitry V. Yalansky¹, Yuri A. Mazhaysky², Mikhail I. Golubenko³

¹Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Republic of Belarus

²Meshchersky branch of the All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Ryazan, Russian Federation

³Meshchersky Scientific and Technical Center, Ryazan, Russian Federation

¹dimka-045@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7808-8204>

²director@mntc.pro, <https://orcid.org/0000-0002-0743-8289>

³golubenko-mihail@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-8543-4448>

Abstract. Purpose: to improve the key quality indicators and artificial rainfall structure using a drum-reel-hose sprinkler by upgrading the factory-made sprinkler design, ensuring mist irrigation in the complete absence of surface runoff. **Materials and methods.** Rainfall intensity was measured on a laboratory bench, taking into account the technical capabilities of the equipment. Rainfall uniformity was determined by the precipitation distribution uniformity coefficient, taking into account the average and maximum rainfall intensity. Droplet size was determined using indicator paper, which changes color when exposed to water. The research was based on current scientific concepts and proven methodologies. Modern methods of mathematical statistics were used to assess the reliability of observations. **Results.** The average rainfall intensity from 0.25 to 0.35 mm/min was obtained by testing sprinkler nozzles of the SR-140 type with sizes from 16 to 30 mm (8 pcs. in total). For the newly designed apparatus with a 2.5 mm diameter irrigation hole, it was from 0.16 to 0.20 mm/min. For the SR-140 type apparatus, when using a 30 mm diameter nozzle, the droplet size was 3.2 mm, while with a 16 mm nozzle it was 2.7 mm, while the uniformity coefficient was 0.62. For the modernized apparatus, the average droplet diameter was 2.4 mm with an H/d_{hole} ratio of 2000 and 2.1 mm with an H/d_{hole} ratio of 8000, while the uniformity coefficient changed from 0.83 to 0.91 when operating in the same range. **Conclusions.** The proposed sprinkler model (Patent No. 2759221) improved all key rainfall quality indicators and rainfall patterns. The correlation between the average rain intensity generated by the new-design apparatus (0.16–0.20 mm/min) and the steady rates of water absorption by the soil (0.24–0.20 mm/min) is noted, which determines the expediency of the design proposal.

Keywords: rainfall intensity, droplet size, precipitation uniformity, sprinkler, jet impeller, drop size distribution

Funding source: self-supporting funds for repair and operation of reclamation systems of the Meliovodkhoz Department in the Republic of Belarus.

Information about the research work, on results of which the article is published: the research was initiated as part of a PhD thesis and continued at the Tushkovo-1 training and experimental irrigation complex of the Belarusian State Agricultural Academy in the Mogilev region of the Republic of Belarus. It meets the knowledge requirements for a specific agricultural crop cultivation site.

For citation: Yalansky D. V., Mazhaysky Yu. A., Golubenko M. I. Improving the key quality indicators and improving the artificial rain structure using a hose-reel sprinkler. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2026;16(2):56–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-56-75>.

Введение. В последнее время в практике орошаемого земледелия значительное внимание уделяется барабанно-шланговым дождевальным установкам (БШДУ). Причинами тому могут служить потепление климата, снижение количества выпадающих атмосферных осадков в течение вегетационного периода, а также экономическая эффективность их применения при орошении дождеванием. Поэтому и в дальнейшем потребность в применении барабанно-шланговых дождевателей при орошении будет только возрастать в силу увеличивающегося естественного недостатка ресурсов влаги при возделывании сельскохозяйственных культур [1].

За годы проведения наблюдений (2016–2018 гг.) при орошении дождеванием сенокосно-пастбищной травосмеси с помощью заводской конструкции дождевального аппарата типа SR-140 наблюдается увеличение плотности сложения почвы по годам исследований в слоях почвенного профиля, что предопределяет негативную динамику водно-физических свойств почвы на опытном участке из-за воздействия орошения дождеванием, а также проходов сельскохозяйственной техники. Отмечено, что плотность сложения почвы за 2016–2018 гг. изменилась от 1,40 до 1,50 г/см³. Вместе с тем анализ влияния величины поливной нормы и интенсивности искусственного дождя на объем поверхностного стока позволил установить, что для одной и той же интенсивности дождя с увеличением поливной нормы наблюдается рост объема поверхностного стока, при этом возрастает и средняя глубина промачивания почвы.

В ходе производственных испытаний было выявлено несоответствие

интенсивности искусственного дождя (0,25 и 0,35 мм/мин), создаваемого дождевателем БШДУ Bauer Rainstar T-61 при непрерывном дождевании, и установившихся скоростей впитывания воды, которые изменялись за годы наблюдений в вариантах с орошением от 0,24 до 0,20 мм/мин, это вызывало сток и провоцировало эрозионные процессы.

Величина допустимой интенсивности в общем виде зависит от типа почвы, уклона местности и диаметра капель.

Качество дождевого полива обеспечивается соответствующими условиями, параметрами отдельных операций технологии его проведения и оценивается (определяется):

- размером капель искусственного дождя и степенью их (его) воздействия на почвенный и растительный покров;
- равномерностью увлажнения поверхности сельхозугодий и почвенного корнеобитаемого слоя, соответствием интенсивности дождя впитывающей способности почвы.

В настоящее время дождевальные машины и установки, наряду с другими показателями, оцениваются по «среднекубическому» диаметру капель в трех зонах, который не должен превышать 1,5 мм, средней интенсивности дождя, которая в зависимости от типа почв не должна превышать 0,2–0,3 мм/мин, и коэффициентам эффективного полива ($K_{эф} > 0,80$), недополива ($K_{нд} < 0,10$) и переполива ($K_{пп} < 0,10$). То есть 80 % поливаемой площади должно быть полито со средней интенсивностью $P_{ср}$, менее 10 % площади полито с меньшей интенсивностью, меньшим слоем осадков (менее $0,25 P_{ср}$) и 10 % площади с большим слоем осадков (более $0,25 P_{ср}$).

При выборе технологии полива необходимо обеспечить увязку параметров поливного режима (поливных норм, интенсивности, продолжительности и характера их выдачи) с технологическими возможностями средств дождевания (машин, установок, дождевателей). При планировании режимов дождевого орошения используются различные подходы к назна-

чению поливных норм, количества (периодичности) поливов, сроков и продолжительности их проведения.

Следует привести некоторых авторов. По А. И. Безменову, при поливе тяжелых почв интенсивность дождя не должна превышать 0,06–0,15 мм/мин, на средних почвах допустимая интенсивность дождя может составить 0,10–0,25 мм/мин, на легких – 0,15–0,45 мм/мин, а наилучшей интенсивностью является 0,06–0,15 мм/мин при диаметре капель дождя менее 1–2 мм. При превышении указанных пределов структура почвы разрушается, а на ее поверхности образуются лужи и сток воды, эродирующий почвенный покров.

По мнению Б. П. Фокина, первым обязательным условием бесстокового полива дождеванием является соблюдение ограничения допустимой интенсивности искусственного дождя.

Отметим, что, оперируя понятием допустимой интенсивности искусственного дождя, специалисты часто дают неоднозначные определения, примером тому нижеследующие.

По Л. И. Голованову, под допустимой интенсивностью дождя понимается «интенсивность искусственного дождя, которая обеспечивает в данных условиях подачу требуемой нормы полива без стока воды».

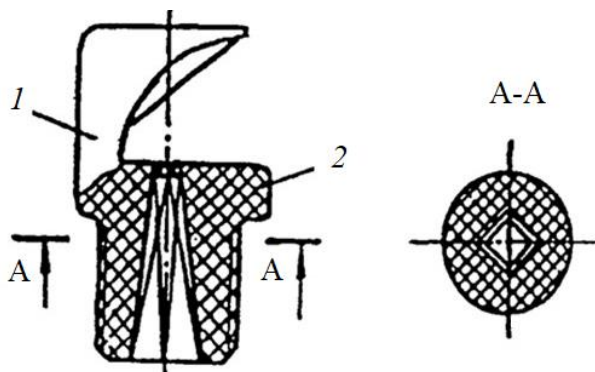
Б. П. Фокин и Л. К. Носов под допустимой интенсивностью искусственного дождя понимают «интенсивность дождя, равную скорости впитывания воды в почву».

В ряде толкований термина допустимая интенсивность дождя увязывается с впитывающей способностью почвы, т. е. со скоростью безнапорного впитывания поливной воды в почву, и количественно приравнивается к ней, что является обоснованным, так как обеспечивает дождевой полив без образования луж и поверхностного стока. В связи с этим отметим, что скорость безнапорного впитывания воды в почву изменяется во времени и имеет множество значений, при которых в конкретных условиях дож-

девого полива процесс поглощения воды почвой протекает без образования луж и поверхностного стока (течения) воды [2, 3].

Нами была изучена соответствующая научная и техническая литература и осуществлен патентный обзор с целью дальнейшего проектирования и разработки модельного образца дождевального аппарата, способного сформировать мелкодисперсный полив.

Ю. Ф. Снопич и др. [4] отмечают, что при использовании дефлекторной дождевальной насадки обеспечивается полив по сектору с диапазонами изменения радиуса $160\text{--}185^\circ$. Дождевальная насадка, разработанная известными авторами, приведена на рисунке 1.

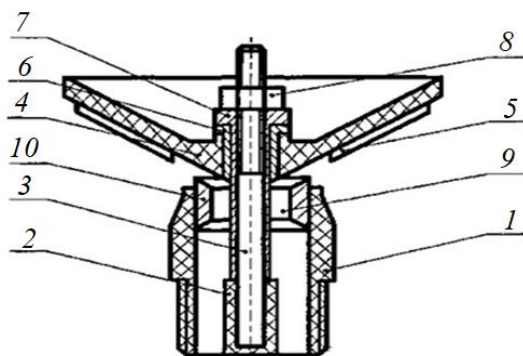


1 – дефлектор в форме ложки; 2 – корпус дождевальной насадки
1 – spoon-shaped deflector; 2 – sprinkler nozzle body

Рисунок 1 – Дождевальная насадка, работающая по сектору [4]
Figure 1 – Sprinkler nozzle operating in a sector [4]

А. М. Земцев разработал ряд дождевальных аппаратов, в основе которых лежит принцип функционирования гидротурбины (патенты № 2257051, 2262991). На рисунке 2 приведем аппарат, работающий по данному принципу.

На основании проведенного анализа поставлена цель работы – повышение показателей качества и улучшение структуры искусственного дождя в процессе использования барабанно-шланговой дождевальной установки посредством модернизации заводской конструкции дождевального аппарата, обеспечивающей мелкодисперсное дождевание при полном отсутствии поверхностного стока.



1 – корпус дождевального аппарата; 2 – перегородка; 3 – направляющий палец;
4 – дефлектор в виде конуса; 5 – лепестки; 6 – фторопластовая прокладка;
7 – регулировочная гайка; 8 – фиксирующая контргайка; 9 – выходное
отверстие; 10 – дождевальная насадка

1 – sprinkler body; 2 – partition; 3 – guide pin; 4 – deflector in the form of a cone; 5 – lobes;
6 – fluoroplastic gasket; 7 – adjusting nut; 8 – fixing locknut; 9 – outlet; 10 – sprinkler nozzle

Рисунок 2 – Дождевальный аппарат с реактивной крыльчаткой

Figure 2 – Sprinkler with jet impeller

Материалы и методы. Научные эксперименты проводились с 2016 по 2018 г. на территории учебно-опытного оросительного комплекса «Гушково-1». Этот объект, находящийся в Могилевской области Беларуси, недалеко от пос. Чарны Горецкого района, представляет собой опытный участок со средним уклоном 0,002. Инфраструктура оросительного комплекса включает искусственный водоем площадью 12,2 га и объемом 153 тыс. м³, постоянно действующую насосную станцию, способную работать при производительности 0,136 м³/с, сеть трубопроводов различного назначения, предназначенных для обеспечения бесперебойной работы имеющейся дождевальной техники.

При проведении полевых опытов для оценки эффективности применения орошения была выбрана дождевальная установка Bauer Rainstar T-61 вследствие ее высокой экономической эффективности и возможности ее использования на участках различной конфигурации.

Почвогрунты исследуемой территории представлены дерново-подзолистыми суглинками. По результатам агрохимического анализа пахотный слой почвы периода проведения наблюдений характеризовался оптималь-

ным уровнем кислотности ($pH = 6,39$) с достаточно высоким содержанием подвижных форм фосфора (267,6 мг/кг) и обменного калия (280 мг/кг). Согласно О. В. Савиной, Н. Н. Дубенку и др. [5, 6], указанные цифровые данные в полном объеме удовлетворяют критериям оптимального роста и развития многолетних трав, в т. ч. сенокосно-пастбищного вида, которые и явились наблюдаемой культурой в опытах.

Определение средней интенсивности дождя проводили для дождевального аппарата заводской конструкции (тип SR-140) при использовании насадок в диапазоне от 16 до 30 мм. Всего было испытано восемь насадок различного диаметра, при этом для конкретных дождевальных насадок были экспериментально подобраны значения напора при работе дождевального аппарата для обеспечения необходимой структуры искусственного дождя и соблюдения его основных геометрических характеристик (дальность полета струи, захват нужного поливного сектора и т. д.).

Учет показателей качества функционирования шлангового дождевателя БШДУ типа Bauer Rainstar T-61 проводился в соответствии с требованиями стандарта отрасли¹.

Рабочая зона действия дождевального аппарата с учетом отношения напора к диаметру насадок составила $H/d_{отв} = 1250–1833$, что обосновывается величиной рабочих напоров в дождевальном аппарате в диапазоне 20–55 м.

Интенсивность дождя, мм/мин, определяется по известной формуле [7]:

$$p_i = \frac{10 \cdot v_i}{F_d \cdot t_d}, \quad (1)$$

где p_i – экспериментально установленная интенсивность дождя, создаваемого заводским аппаратом, мм/мин;

v_i – объем воды в дождемере, см³;

¹СТО АИСТ 11.1-2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей / ФГБНУ «Росинформагротех». М., 2012. 54 с.

F_d – площадь дождемера, см²;

t_d – время наполнения дождемера, мин.

Средний диаметр капель дождя для заводской конструкции дождевального аппарата определяли при применении насадок от 16 до 30 мм. Сама же крупность капель дождя определена с применением индикаторной бумаги, изменяющей цвет при попадании на нее воды и размещаемой непосредственно на поверхности участка.

В процессе орошения участка дождеванием измеряли на индикаторной бумаге след от дождевых капель и пересчитывали их в реальный размер капель дождя в соответствии с рекомендациями М. Ю. Костенко и др. [8]:

$$d_k = \frac{0,75n_1 + 1,5n_2 + 2,5n_3}{n_1 + n_2 + n_3}, \quad (2)$$

где d_k – реальный размер капель искусственного дождя, полученный на основании пересчета;

n_1, n_2, n_3 – количество капель с диаметрами, равными соответственно 0,5–1,0; 1,1–2,0; 2,1–3,2 мм.

Равномерность слоя дождя вычисляли через коэффициент равномерности посредством нахождения и учета средней и максимально возможной интенсивности дождя как на всем поливном массиве, так и на конкретном поливном участке [8]:

$$K_p = \frac{P_{cp}}{P_{max}}, \quad (3)$$

где K_p – коэффициент равномерности;

P_{cp} – средняя интенсивность дождя на всем поливном массиве, мм/мин;

P_{max} – максимальная интенсивность на конкретном поливном участке, мм/мин.

Результаты и обсуждение. Средняя интенсивность дождя на всем орошаемом массиве при проведении опытов составила 0,31 мм/мин.

Результаты проведенного эксперимента покажем на рисунке 3.

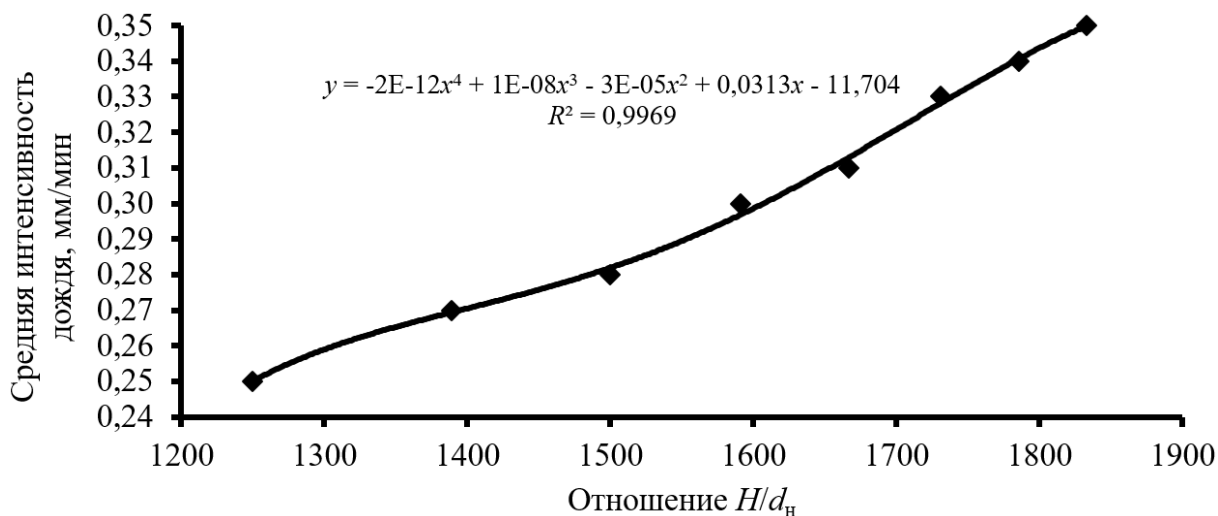


Рисунок 3 – Изменение интенсивности дождя, выдаваемого аппаратом известной конструкции, по всему орошаемому массиву при изменении соотношения H/d_n

Figure 3 – Change in rainfall intensity produced by the apparatus of known design across the entire irrigated area with a change in the H/d_n ratio

Как видно из данных рисунка 3, наименьшее значение средней интенсивности дождя наблюдалось при отношении $H/d_n = 1250$ и составило 0,25 мм/мин, наибольшее значение – при отношении $H/d_n = 1833$, оно было равно 0,35 мм/мин, при этом увеличивалось в случае установки дождевальных насадок большего диаметра.

В данном исследовании рабочая зона действия дождевального аппарата с учетом отношения напора к диаметру насадок не изменялась и составила $H/d_n = 1250–1833$, что было достигнуто при величине напора в дождевальном аппарате в диапазоне 20–55 м.

Результаты проведенного исследования диаметра капель приведем на рисунке 4.

Отмечено, что при использовании дождевальных насадок большего диаметра увеличивается и средний диаметр капель дождя. Так, при напоре в дождевальном аппарате 55 м для насадки диаметром 30 мм размер дождевых капель составил 3,2 мм, при напоре 20 м при использовании насадки диаметром 16 мм размер дождевых капель составил 2,7 мм.

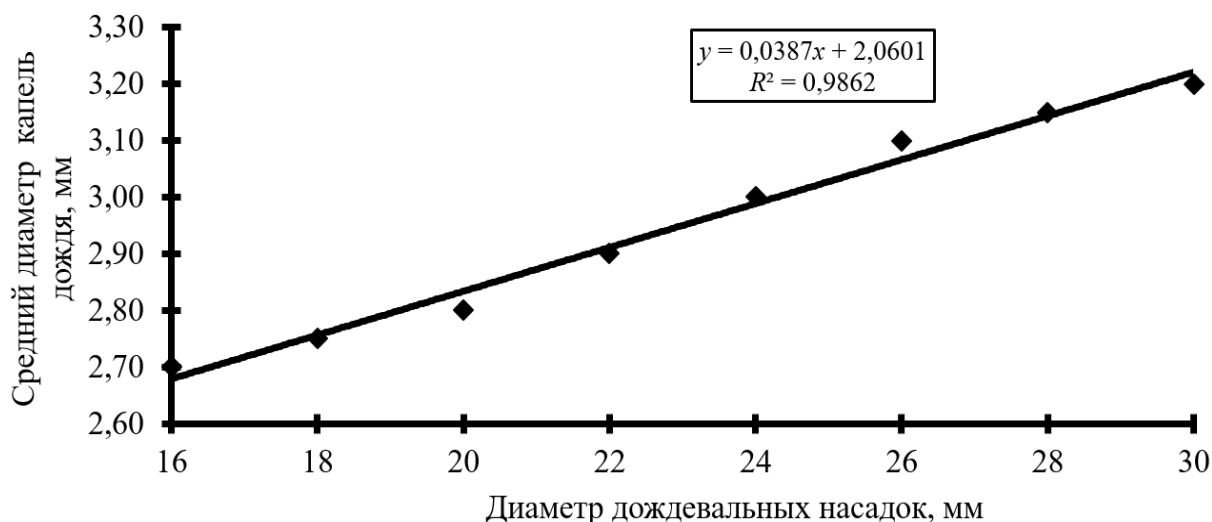


Рисунок 4 – Средний диаметр капель при насадках от 16 до 30 мм
Figure 4 – Average droplet diameter for nozzles from 16 to 30 mm

При исследовании равномерности слоя дождя рабочая зона действия дождевального аппарата с учетом отношения напора к диаметру насадок была прежней: $H/d_n = 1250\text{--}1833$, что соответствовало напору в дождевальном аппарате в диапазоне 20–55 м. Динамику коэффициента равномерности с учетом отношения H/d_n приведем на рисунке 5.

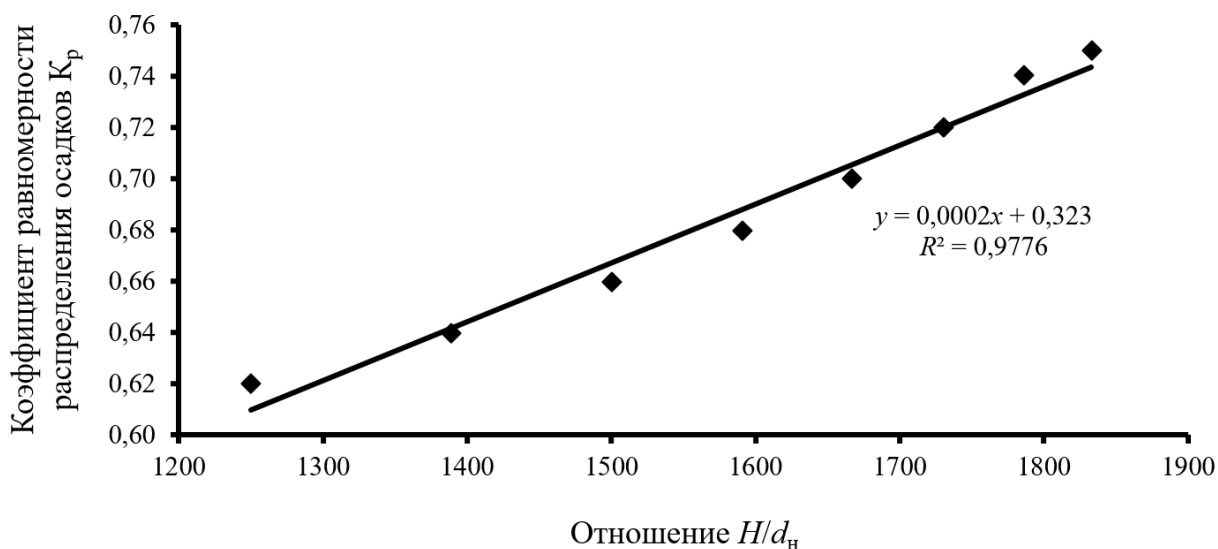


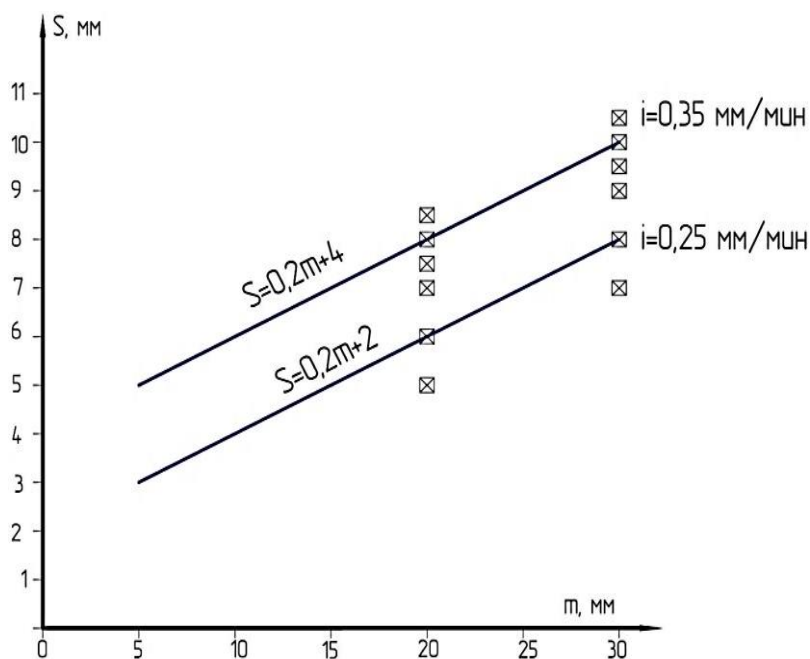
Рисунок 5 – Динамика коэффициента равномерности с учетом H/d_n
Figure 5 – Dynamics of the uniformity coefficient taking into account H/d_n

Анализ данных рисунка 5 позволяет утверждать, что при повышении отношения H/d_n растет и коэффициент равномерности. Так, при $H/d_n = 1250$

коэффициент равномерности составил 0,62, а уже при $H/d_n = 1833$ коэффициент равномерности равен 0,75.

Дальнеструйный дождевальный аппарат SR-140, используемый в опытах, устанавливается на передвижной тележке БШДУ и имеет радиус полива 20–25 м и более при расходе (потреблении) воды 3,61–19,17 л/с.

Было отмечено, что при проведении орошения дождеванием в опытах имеют место вымочки и лужи на отдельных площадях опытного участка. В связи с этим был проведен специальный эксперимент для установления объемов поверхностного стока с учетом методики, описанной в работах А. В. Агейкина, Б. М. Мамедова и др. [9, 10]. Полученный экспериментальный материал приведем на рисунке 6.



S – объем поверхностного стока, мм; m – величина поливной нормы, мм;
 i – средняя интенсивность искусственного дождя, мм/мин
 S – the surface runoff volume, mm; m – the irrigation rate, mm;
 i – the average intensity of artificial rain fall, mm/min

Рисунок 6 – Изменение объема поверхностного стока S
Figure 6 – Change in surface runoff volume S

Приведенные на рисунке 6 данные, полученные в процессе измерения объема поверхностного стока, свидетельствуют о повышении средней интенсивности дождя, приводящем к увеличению объема стока.

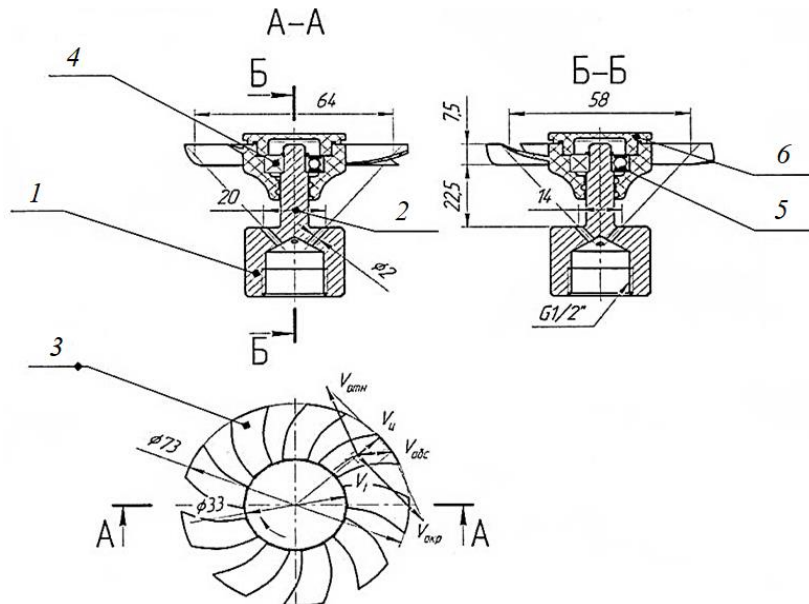
Предложенная конструкция дождевального аппарата применялась в пределах поливной нормы 20–30 мм, для которых были проведены исследования в конкретных условиях.

За период проведения наблюдений (2016–2018 гг.) определяли водопроницаемость методом заливаемых площадок в соответствии с методикой, описанной в работе Н. Н. Дубенка и др. [11]. Результаты ее определения продемонстрировали тенденцию к уменьшению скорости впитывания воды (0,24–0,20 мм/мин). В данном случае речь идет об установившейся скорости впитывания. Была выявлена причина возникновения стока в ходе опытов, заключающаяся в несоответствии средней интенсивности дождя (0,25–0,35 мм/мин) и скоростей впитывания воды почвой (0,24–0,20 мм/мин).

На основании анализа научно-технической литературы и патентного поиска нами была создана и запатентована новая конструкция дождевального аппарата (патент № 275922). Его ключевой особенностью является реактивная крыльчатка турбинного типа, которая составляет основу устройства. В нашей запатентованной конструкции использовано девять лепестков криволинейной формы. На рисунке 7 приведем схему дождевального аппарата новой конструкции.

Для новой предложенной конструкции насадки исследования интенсивности дождя проводились в диапазоне соотношений $H/d_{\text{отв}}$ от 2000 до 8000, что эквивалентно напору перед аппаратом от 5,0 до 20 м при диаметре отверстий 2,5 мм. При этом количество отверстий диаметром 2,5 мм дождевального аппарата турбинного равно четырем. Дождемеры размещались в четырех радиальных направлениях, с шагом 0,5 м. По завершении каждого эксперимента с поливом объем воды, собранной в каждом дождемере, фиксировался с использованием мерных цилиндров. Радиус полива предлагаемой конструкции дождевального аппарата варьирует от 5 до 8 м при расходе (потреблении) воды от 0,6 до 0,8 л/с, данная конструкция дождевального аппарата предполагает его установку на передвижной фер-

ме с расстоянием между насадками от 2 до 3 м. Поэтому в дождевальном аппарате турбинного типа среднюю интенсивность дождя необходимо определять с учетом наложения дождя от соседних аппаратов.



1 – пробка; 2 – ось; 3 – крыльчатка; 4 – подшипник; 5 – уплотнитель; 6 – крышка
 1 – plug; 2 – axle; 3 – impeller; 4 – bearing; 5 – gasket; 6 – cover

Рисунок 7 – Схема дождевального аппарата турбинного типа
Figure 7 – Schematic diagram of a turbine sprinkler

На рисунке 8 приведем результаты нахождения средней интенсивности с учетом отношения $H/d_{отв}$.

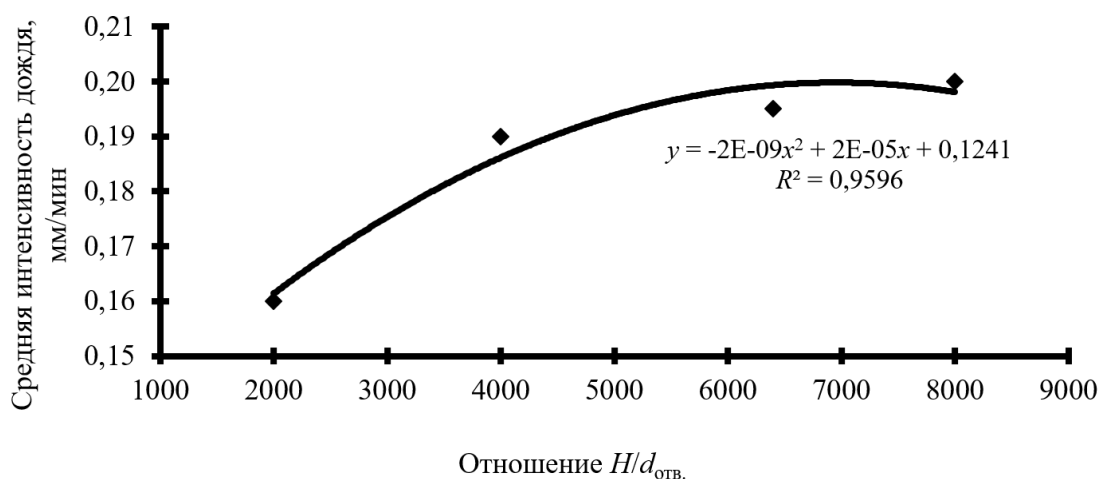
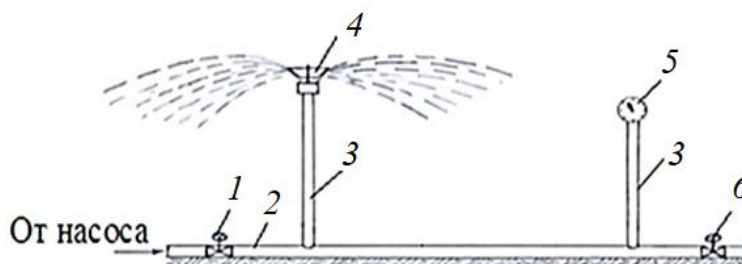


Рисунок 8 – Изменение средней интенсивности дождя для новой конструкции при изменении соотношения $H/d_{отв}$

Figure 8 – Change in average rain intensity for a new structure with a change in the H/d_{hole} ratio

Данные рисунка 8 показывают, что с ростом отношения $H/d_{\text{отв}}$ увеличивается и интенсивность дождя в диапазоне 0,16–0,20 мм/мин.

Установление крупности дождевых капель и других показателей качества искусственного дождя осуществлялось в лабораторных условиях с применением установки, показанной на рисунке 9.



- 1, 6 – краны для изменения расхода и напора; 2 – трубопровод; 3 – стояки;
 4 – дождевальная аппаратура турбинного типа; 5 – манометр
 1, 6 – taps for changing flow and pressure; 2 – pipeline; 3 – risers;
 4 – turbine type sprinkler; 5 – pressure gauge

Рисунок 9 – Схема лабораторной установки
Figure 9 – Laboratory setup diagram

Средний диаметр капель дождя был определен в том же рабочем диапазоне, т. е. при отношении $H/d_{\text{отв}} = 2000–8000$, что соответствовало напору перед аппаратом от 5,0 до 20 м. На рисунке 10 показаны полученные результаты.

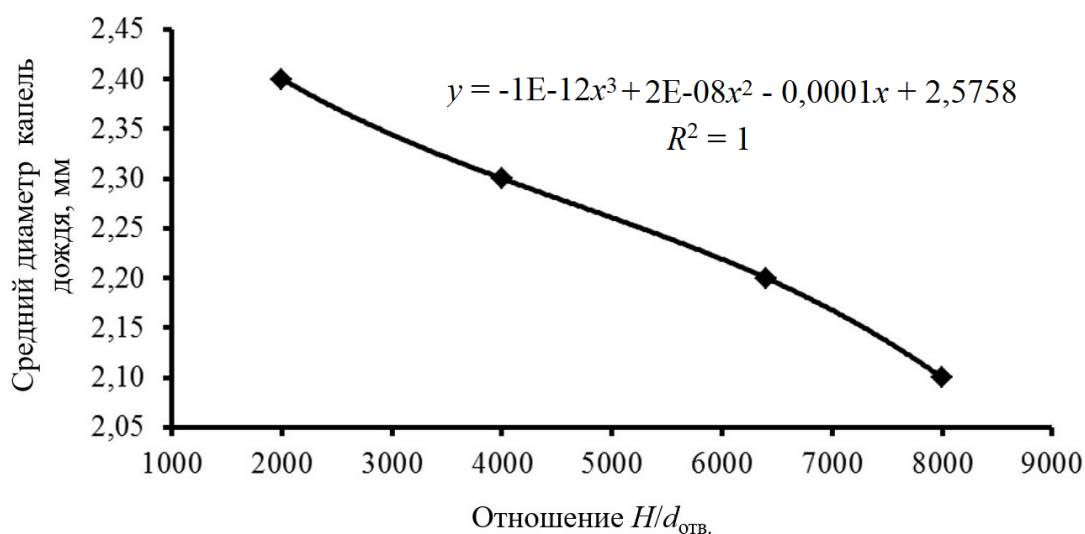


Рисунок 10 – Средний диаметр капель с учетом отношения $H/d_{\text{отв}}$
Figure 10 – Average droplet diameter taking into account the H/d_{hole} ratio

Установлена обратная зависимость между крупностью капель искусственного дождя и отношением $H/d_{\text{отв}}$. Так, при отношении $H/d_{\text{отв}} = 2000$ размер капель составил 2,4 мм, а при отношении $H/d_{\text{отв}} = 8000$ крупность капель была равна 2,1 мм.

Рабочий диапазон при определении коэффициента равномерности распределения осадков по площади дождевания был прежним: $H/d_{\text{отв}} = 2000\text{--}8000$, что соответствовало напору перед дождевальным аппаратом в диапазоне 5,0–20 м. Динамику коэффициента равномерности с учетом отношения $H/d_{\text{отв}}$ приведем на рисунке 11.

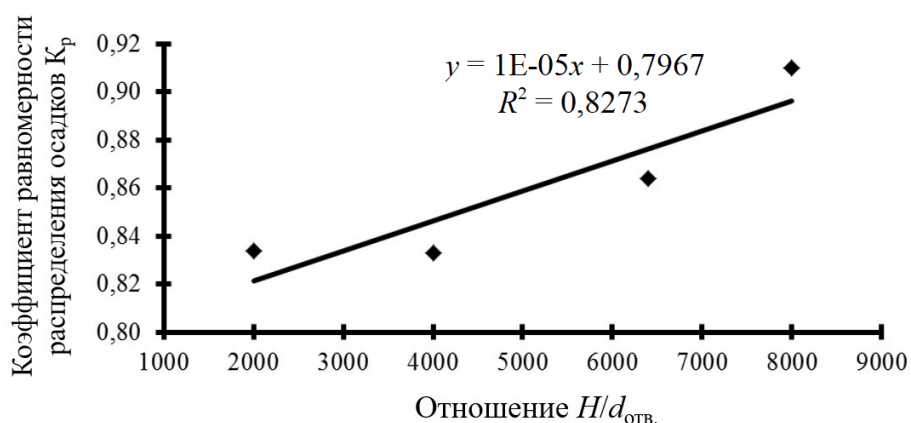


Рисунок 11 – Динамика коэффициента равномерности с учетом $H/d_{\text{отв}}$
Figure 11 – Uniformity coefficient dynamics taking into account H/d_{hole}

Исследование, результаты которого представлены на рисунке 11, выявило прямую корреляцию между отношением $H/d_{\text{отв}}$ и коэффициентом. Так, при отношении $H/d_{\text{отв}} = 2000$ коэффициент равномерности составил 0,83, а при $H/d_{\text{отв}} = 8000$ коэффициент равномерности был равен 0,91.

Все данные, полученные в ходе экспериментальных исследований и отражающие показатели качества искусственного дождя, создаваемого аппаратами разных конструкций, обобщены и приведены в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 позволяет отметить, что получено улучшение показателей качества дождя в результате применения аппарата новой конструкции за счет более рационального полива с выдачей дождевых капель меньшего размера, меньшей интенсивностью и с лучшей равномер-

ностью распределения. Это убедительно свидетельствует о преимуществах и целесообразности разработанного нами конструкторского решения.

Таблица 1 – Показатели качества искусственного дождя, создаваемого дождевальными аппаратами различных конструкций

Table 1 – Artificial rain quality indicators created by sprinklers of various designs

| Показатель | Дождевальный аппарат | |
|--|--------------------------------|-----------------|
| | типа SR-140 | турбинного типа |
| | Диапазон варьирования значений | |
| Диапазон рабочих напоров (давлений) при работе дождевального аппарата, м | 20–55 | 5–20 |
| Средняя интенсивность искусственного дождя, мм/мин | 0,25–0,35 | 0,16–0,20 |
| Крупность капель дождя, мм | 2,7–3,2 | 2,1–2,4 |
| Коэффициент равномерности распределения осадков | 0,62–0,75 | 0,83–0,91 |

Выводы. В процессе исследования установлено, что интенсивность искусственного дождя, который создается дождевальным аппаратом типа SR-140, используемым в дождевальной установке Bauer Rainstar T-61, составляющая 0,25–0,35 мм, а также крупность капель в диапазоне 2,7–3,2 мм не соответствуют требованиям исследуемых почв сенокосно-пастбищных угодий, это приводит к образованию поверхностного стока и переуплотнению почв.

Разработанная конструкция дождевального аппарата турбинного типа защищена патентом № 2759221, имеет среднюю интенсивность дождя 0,16–0,20 мм, крупность капель 2,1–2,4 мм при давлении от 5 до 20 м. Дождевальные аппараты предложенной конструкции, установленные на шланговом дождевателе, показали равномерность дождя 0,83–0,91. Экспериментальные исследования в учебно-опытном оросительном комплексе показывают, что орошение предложенным аппаратом позволяет надежно осуществить полив без образования поверхностного стока.

Список источников

1. Ольгаренко Г. В., Рязанцев А. И., Терпигорев А. А. Совершенствование технологического процесса орошения и конструкции шланго-барабанных дождевальных

машин с плосковорачиваемым шлангом // Экология и строительство. 2020. № 1. С. 32–41. DOI: 10.35688/2413-8452-2020-01-004. EDN: UUPRTC.

2. The Future of Smart Agriculture / H. Mohapatra, S. R. Mishra, K. M. Bhabendu (ed.). NOVA, 2023. DOI: 10.52305/JVHX6655.

3. Zhuravileva L. The method of calculating sprinklers for wide-reach sprinklers // BIO Web of Conferences. 2024, July. Vol. 116. DOI: 10.1051/bioconf/202411601015. EDN: OFOFVR.

4. Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров дефлекторной насадки / Ю. Ф. Снопич, А. А. Чураев, Л. В. Юченко, М. В. Вайнберг, В. М. Филимонова // Мелиорация и гидротехника. 2019. № 2(34). С. 104–120. DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-104-120. EDN: ZIFKRV.

5. Савина О. В. Изменение физических и агрохимических характеристик почвы при проведении земельных работ // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2021. № 3. С. 68–75. DOI: 10.36508/RSATU.2021.64.80.010. EDN: JNUEPA.

6. Эффективность использования водных ресурсов в орошаемом земледелии / Н. Н. Дубенок, Д. А. Болотин, А. А. Новиков, А. Г. Болотин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3(51). С. 83–90. EDN: YQTCРВ.

7. Рязанцев А. И., Агейкин А. В. Регулирующие расходно-напорные характеристики шланговых дождевателей барабанного типа на продольном уклоне // Вестник мелиоративной науки. 2019. № 1. С. 48–54. EDN: QMDVDU.

8. 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 Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2021. № 4. С. 138–143. DOI: 10.36508/RSATU.2021.90.45.017. EDN: XVHXOU.

9. Математическая модель распределения искусственного дождя шлангового дождевателя / А. В. Агейкин, Р. А. Чесноков, Ю. Н. Тимошин, Ю. Х. Шогенов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2024. Т. 16, № 3. С. 102–108. DOI: 10.36508/RSATU.2024.60.14.025. EDN: BEXPMML.

10. Мамедов Б. М. К вопросу оценки качества полива при орошении дождеванием // Мелиорация и гидротехника. 2019. № 2(34). С. 150–164. DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-150-164. EDN: PSHGTG.

11. Дубенок Н. Н., Левшунов И. А., Гемонов А. В. Водопроницаемость почвы и поверхностный сток при дождевании суданской травы в условиях восточной части Бельаруси // Мелиорация. 2025. № 3(113). С. 39–44. EDN: JLDDOP.

References

1. Olgarenko G.V., Ryazantsev A.I., Terpigorev A.A., 2020. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo protsessa orosheniya i konstruksii shlango-barabannykh dozhdeval'nykh mashin s ploskosvorachivaemym shlangom* [Improving the technological process of irrigation and the design of hose-reel sprinklers with a flat-turtable hose]. *Ekologiya i stroitel'stvo* [Ecology and Construction], no. 1, pp. 32-41, DOI: 10.35688/2413-8452-2020-01-004, EDN: UUPRTC. (In Russian).

2. Mohapatra H., Mishra S.R., Bhabendu K.M. (ed.), 2023. The Future of Smart Agriculture. NOVA, DOI: 10.52305/JVHX6655.

3. Zhuravileva L., 2024. The method of calculating sprinklers for wide-reach sprinklers. BIO Web of Conferences, July, vol. 116, DOI: 10.1051/bioconf/202411601015, EDN: OFOFVR.

4. Snipich Yu.F., Churaev A.A., Yuchenko L.V., Vainberg M.V., Filimonova V.M., 2019. *Teoreticheskoe i eksperimental'noe obosnovanie parametrov deflektornoy nasadki* [Theoretical and experimental justification of deflector-cap parameters]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], no. 2(34), pp. 104-120, DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-104-120, EDN: ZIFKRV. (In Russian).

5. Savina O.V., 2021. *Izmenenie fizicheskikh i agrokhimicheskikh kharakteristik pochvy pri provedenii zemel'nykh rabot* [The change in physical and agrochemical characteristics of the soil during land works]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P. A. Kostycheva* [Bulletin of Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev], no. 3, pp. 68-75, DOI: 10.36508/RSATU.2021.64.80.010, EDN: JNUEPA. (In Russian).

6. Dubenok N.N., Bolotin D.A., Novikov A.A., Bolotin A.G., 2018. *Effektivnost' ispol'zovaniya vodnykh resursov v oroshaemom zemledelii* [The water use efficiency in irrigated agriculture]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower Volga Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3(51), pp. 83-90, EDN: YQTCPB. (In Russian).

7. Ryazantsev A.I., Ageikin A.V., 2019. *Reguliruyushchie rashodno-napornye kharakteristiki shlangovykh dozhdevateley barabannogo tipa na prodol'nom uklone* [Regulating head-capacity characteristics of hose-reel sprinklers on a longitudinal slope]. *Vestnik meliorativnoy nauki* [Bulletin of Meliorative Science], no. 1, pp. 48-54, EDN: QMDVDU. (In Russian).

8. Kostenko M.Yu., Melnichuk D.S., Teterin V.S., 2021. *Povyshenie ravnomernosti raspredeleniya dozhdya za schet primeneniya dozhdaval'noy ustanovki s traektoriey poliva blizkoy k pryamougol'noy* [Increasing the uniformity of rain distribution due to the use of a sprinkler system with an irrigation trajectory close to rectangular one]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P. A. Kostycheva* [Bulletin of Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev], no. 4, pp. 138-143, DOI: 10.36508/RSATU.2021.90.45.017, EDN: XVHXOU. (In Russian).

9. Ageikin A.V., Chesnokov R.A., Timoshin Yu.N., Shogenov Yu.Kh., 2024. *Matematicheskaya model' raspredeleniya iskusstvennogo dozhdya shlangovogo dozhdavatela* [A mathematical model of artificial rain distribution of a reel-hose sprinkler]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P. A. Kostycheva* [Bulletin of Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev], vol. 16, no. 3, pp. 102-108, DOI: 10.36508/RSATU.2024.60.14.025, EDN: BEXPML. (In Russian).

10. Mamedov B.M., 2019. *K voprosu otsenki kachestva poliva pri oroshenii dozhdvaniem* [On watering quality assessment during sprinkler irrigation]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], no. 2(34), pp. 150-164, DOI: 10.31774/2222-1816-2019-2-150-164, EDN: PSHGTG. (In Russian).

11. Dubenok N.N., Levshunov I.A., Gemonov A.V., 2025. *Vodopronitsaemost' pochvy i poverkhnostnyy stok pri dozhdvanii sudanskoj travy v usloviyakh vostochnoy chasti Belarusi* [Soil permeability and surface runoff by sprinkling of sudawan grass in the eastern part of Belarus]. *Melioratsiya* [Land Reclamation], no. 3(113), pp. 39-44, EDN: JLDDOP. (In Russian).

Информация об авторах

Д. В. Яланский – доцент кафедры гидротехнических сооружений и водоснабжения, кандидат технических наук, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (213410, Республика Беларусь, Могилевская область, г. Горки, ул. Мичурина, д. 5), dimka-045@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7808-8204;

Ю. А. Мажайский – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Мещерский филиал Федерального научного центра гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова (390021, г. Рязань, ул. Мещерская (Солотча), д. 1А), director@mntc.pro, ORCID: 0000-0002-0743-8289;

М. И. Голубенко – научный сотрудник, Заслуженный изобретатель Российской Федерации, Мещерский научно-технический центр (390013, Рязанская обл., г. Рязань, ул. Типанова, д. 7), golubenko-mihail@mail.ru, ORCID: 0009-0003-8543-4448.

Information about the authors

D. V. Yalansky – Associate Professor of the Department of Hydraulic Structures and Water Supply, Candidate of Technical Sciences, Belarusian State Agricultural Academy (213410, Republic of Belarus, Mogilev region, Gorki, Michurin St., 5), dimka-045@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7808-8204;

Yu. A. Mazhaysky – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Meshchersky branch of the All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation Named After A. N. Kostyakov (390021, Ryazan, Meshcherskaya (Solotcha) St., 1A), director@mntc.pro, ORCID: 0000-0002-0743-8289;

M. I. Golubenko – Researcher, Honored Inventor of the Russian Federation, Meshchersky Scientific and Technical Center (390013, Ryazan region, Ryazan, Tipanova St., 7), golubenko-mihail@mail.ru, ORCID: 0009-0003-8543-4448.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 25.03.2026; одобрена после рецензирования 29.05.2026;
принята к публикации 23.06.2026.
The article was submitted 25.03.2026; approved after reviewing 29.05.2026; accepted for
publication 23.06.2026.*