

Научная статья

Original article

УДК 631.6

doi: 10.55186/2413046X_2023_8_4_184

**ПОВЫШЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ИНТЕНСИВНОСТИ ДОЖДЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ
ОРОШЕНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ПОЛИВА
INCREASING THE UNIFORMITY OF THE DISTRIBUTION OF RAIN
INTENSITY WITH COMBINED IRRIGATION BY AN AUTOMATED
IRRIGATION SYSTEM**



Акпасов Антон Павлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего отделом оросительных систем и гидротехнических сооружений, ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации» (413123 Россия, Саратовская обл., Энгельсский р-н, р.п. Приволжский, ул. Гагарина, д. 1), тел. 8(8453) 75-44-20, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3252-7849>, 1a9@mail.ru

Туктаров Ренат Бариевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела оросительных систем и гидротехнических сооружений, заместитель директора по науке, ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации» (413123 Россия, Саратовская обл., Энгельсский р-н, р.п. Приволжский, ул. Гагарина, д. 1), тел. 8(8453) 75-44-20, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6063-3801>, tuktarov.rb@gmail.com

Аверин Дмитрий Александрович, младший научный сотрудник отдела оросительных систем и гидротехнических сооружений ФГБНУ «Волжский

научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации» (413123 Россия, Саратовская обл., Энгельсский р-н, р.п. Приволжский, ул. Гагарина, д. 1), тел. 8(8453) 75-44-20,

Akpasov Anton P., candidate of technical sciences, senior researcher, acting head of department of irrigation systems and hydraulic structures, Federal State Budgetary Scientific Institution «Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation» (Gagarina st., 1, w. s. Privolzhsky, Engels district, Saratov region 413123 Russia), tel. 8(8453) 75-44-20, <https://orcid.org/0000-0002-3252-7849>, 1a9@mail.ru

Tuktarov Renat B., candidate of agricultural sciences, leading researcher of department of irrigation systems and hydraulic structures, deputy director of science, Federal State Budgetary Scientific Institution «Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation» (Gagarina st., 1, w. s. Privolzhsky, Engels district, Saratov region 413123 Russia), tel. 8(8453) 75-44-20, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6063-3801>, tuktarov.rb@gmail.com

Averin Dmitry A., junior researcher of department of irrigation systems and hydraulic structures, deputy director of science, Federal State Budgetary Scientific Institution «Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation» (Gagarina st., 1, w. s. Privolzhsky, Engels district, Saratov region 413123 Russia), tel. 8(8453) 75-44-20,

Аннотация. В настоящей работе рассматривается влияние конструктивных параметров кольцевой канавки дефлектора дождевальной насадки кругового действия на равномерность распределения интенсивности защитного полива автоматизированной системой комбинированного орошения. Описано влияние коэффициента сопротивления поверхности дефлектора, числа Фруда, конусности дефлектора и радиуса сопла на радиус полива дефлекторной насадкой. Представлены результаты лабораторных и полевых исследований влияния кольцевой канавки на дефлекторе дождевальной насадки на равномерность полива.

Abstract. In this paper, the influence of the design parameters of the annular groove of the circular sprinkler nozzle deflector on the uniformity of the distribution of the intensity of protective irrigation by an automated combined irrigation system is considered. The influence of the deflector surface resistance coefficient, Froude number, deflector taper and nozzle radius on the irrigation radius of the deflector nozzle is described. The results of laboratory and field studies of the effect of the annular groove on the deflector of the sprinkler nozzle on the uniformity of watering are presented.

Ключевые слова: дефлекторная насадка с кольцевой канавкой, равномерность полива, интенсивность дождя, обтекание

Keywords: deflector nozzle with annular groove, uniformity of watering, intensity of rain, flow

Несовершенство конструктивных параметров дождеобразующих устройств, применяемых на оросительном оборудовании, приводит к большой потере воды на сток и инфильтрацию, негативному воздействию дождя на почву и растения, неравномерности распределения интенсивности полива по площади орошения, испарению и снос ветром.

Эффективность применения дополнительного дождевания в дополнении к капельному орошению сельскохозяйственных культур доказали научные труды таких ученых, как В.В. Бородычев, Н.Н. Дубенок, А.С. Овчинников, А.В. Майер и др [4, 5, 10].

При комбинированном орошении периодический мелкодисперсный полив в жаркое время суток обеспечивает покрытие водяной пленкой листовой поверхности растений, что существенно снижает негативное влияние высоких атмосферных температур и суховеев в условиях выращивания сельскохозяйственных культур в сухостепных зонах Российской Федерации.

Мелкодисперсный полив обеспечивает дождевое облако средним диаметром капли $d_K = 0,1 \div 0,6$ мм. Капли диаметром $0,05 \div 0,1$ мм

рассматриваются как водяная пыль, которые легко сносятся ветром и могут испариться в воздухе [12]. При увеличении температуры воздуха до 40 °С и дефиците упругости пара до 70% потери воды на испарение для капли диаметром 0,5 мм составят соответственно 20 и 38%.

При увеличении температуры воздуха с 10 до 30 °С испарение возрастает пропорционально и составляет от 15 до 40% подаваемой воды. При увеличении относительной влажности наблюдается падение испарения, при этом скорость ветра с увеличением с 1 до 3 м/с практически на 10% увеличивает количество испарившейся воды при дождевании.

Испарение и снос ветром существенно влияют на коэффициент эффективного полива при работе оросительного оборудования, а интенсивность неравномерно распределена по площади орошения дождеобразующим устройством.

За последние годы на различных образцах оросительного оборудования как отечественного, так и зарубежного производства широкое применение нашли дефлекторные насадки кругового действия и среднеструйные дождевальные аппараты (рисунок 1) за счет возможности работы при низком давлении воды, получения дождя с оптимальным диаметром капель, равномерного распределения интенсивности дождя и небольшой стоимости.

Крупность капель дождя у дефлекторных насадок составляет 0,67...0,87 мм, что в 2 раза меньше чем у среднеструйных дождевальных аппаратов, а скорость падения капель изменяется в пределах 3...6 м/с, у СДА – 6...12 м/с [11].

Как показала практика, наиболее целесообразным в этой связи является определение влияния оптимальных форм и размеров дождевателей на качество дождя. Так, например, на качество дождя большое влияние оказывает толщина пленки воды на конусообразующей поверхности дефлектора.



Рисунок 1 – Дождеобразующие устройства: а) дефлекторная насадка; б) среднеструйный дождевальный аппарат

Равномерность полива, при применении дефлекторных насадок кругового действия, может быть достигнута путем стабилизации интенсивности дождя по всей площади орошения. Для достижения этой цели необходимо совершенствовать конструктивные параметры дефлектора [2].

Основным элементом конструкции насадки, влияющим на крупность капель и равномерность полива при орошении, является дефлектор, чтобы распределить капли одинакового размера равномерно по всей площади орошения при работе дождевальных машин необходимо на конусе раскателя дефлекторной насадки выполнить конусную канавку на определенном расстоянии от оси дефлектора и определенной ширины и формы. В связи с этим была предложена дождевальная насадка (Патент РФ № 2 616 842 С1 опубл. 18.04.2017 Бюл. № 11) (рисунок 2), включающая в себя присоединяемый к муфте на водоподводящем трубопроводе с помощью резьбы 1 на корпусе 2 с соплом 3 и ножки дефлектора 4 с дефлектором 5. Полость сопла 3 выполнена в виде усеченного конуса. Уменьшающееся проходное сечение сопла 3 ориентировано в сторону дефлектора 5. Каждая ножка дефлектора 4 выполнена каплевидной формы переменного сечения[2].

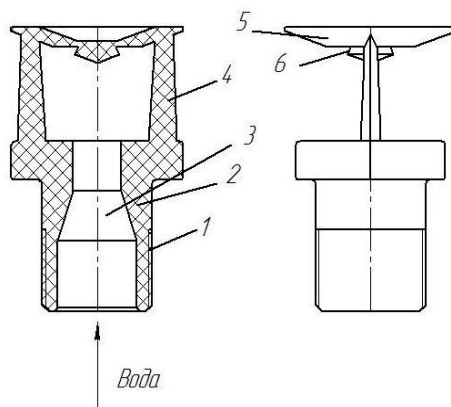


Рисунок 2 - Предлагаемая дождевальная дефлекторная насадка: 1 – резьба; 2 – корпус; 3 – сопло; 4 – ножка дефлектора; 5 – дефлектор; 6 – канавка

Дефлектор 5 выполнен или круглой, или многогранной формы, на конусной поверхности которой выполнена, по крайней мере, одна канавка 6 по концентричной окружности, а на периферийной части рассекателя 7 в виде гребенки с высотой зубьев не менее толщины водяной пленки на дефлекторе.

Дождевальная дефлекторная насадка работает следующим образом. Вода под напором проходит по усеченному конусу сопла 3 и попадает на дефлектор 5, где, растекаясь, попадает в канавки 6, соударяясь с рассекателем 7, разрушается на мелкодисперсный дождь, равномерно распределяющийся по площади полива [2].

Как показали исследования дождеобразования [3, 6], улучшение равномерности может быть достигнуто путем изменения характера течения пленки воды по поверхности конуса. Общеизвестно, преграды на пути потока воды могут изменить не только направление, но и характер течения. Мы воспользуемся канавкой, которая обеспечит отрыв капель от пленки на ранних стадиях, что позволит увеличить равномерность полива. Рассмотрим процесс истечения жидкости из сопла и формирование дождевого облака.

Для этого рассмотрим параметры насадок. К параметрам дождевателя относятся: диаметр дюзы, расстояние от дюзы до дефлектора, форма и

толщина ножек, угол конуса, диаметр основания дефлектора и геометрические параметры канавки на конусе дефлектора. Исследованиями Б. М. Лебедева [9] и А. П. Исаева [8] доказано, что толщина пленки на сходе с дефлектора определяется геометрическими размерами дефлектора и не зависит от скорости потока. Толщина пленки на сходе с дефлектора зависит от диаметра основания конуса. Для обеспечения формирования мелкокапельного дождя, диаметр дефлектора определяется

$$D_d = 5,0 \cdot d_c, \quad (1)$$

где d_c – средний диаметр сопла дефлекторной насадки, мм.

С целью уменьшения вероятности засорения дефлекторной насадки различными механическими включениями высота ножек дефлектора должна соответствовать условию: $h = D_d$. Для минимального сопротивления при обтекании ножи дефлектора выполняют каплевидной формы с увеличением толщины сверху вниз к корпусу насадки.

Ветровая нагрузка изменяет траекторию струи и нарушает ее компактность, что ведет к уменьшению площади полива и увеличивает неравномерность распределения дождя. При скорости ветра 3 – 8 м/с дальность полета струи уменьшается на 30 – 60 %, равномерность распределения дождя ухудшается в несколько раз.

Угол конуса при вершине выберем 140° . При этом струя, выходящая из сопла вертикально вверх, обтекает конический рассекатель и принимает коническую форму с наклоном к горизонту 20° . Как показали опыты, форма сечения потока не зависит от напора, если он выше 0,5 м. Установлено, что на всем протяжении поток занимает всю площадь поперечных сечений, не имея отрывов или застойных и завихренных зон. Поэтому расход воды, являющийся постоянной величиной для каждого сечения, поделенный на площадь сечения, дает среднюю скорость потока. Эта скорость меняется от одного сечения к другому, имея минимум вблизи вершины конуса.

Изменение скорости от входа на конусе до выхода с него составляет около 30% [1].

В соответствии с уравнением Бернулли естественно предположить, что давление p вдоль потока также не является постоянным, а имеет характер изменения, обратный изменению скорости впри соблюдении равенства

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \text{const.} \quad (2)$$

Следовательно, при определении расположения точки отрыва струи от конуса дефлектора при построении экспериментальной кривой значением скорости потока можно пренебречь.

Поток жидкости, попадая на дефлектор, не сразу начинает распадаться, а в определенной точке, условно называемой точкой С, оказывает минимальное воздействие и начинается отрыв капель. Расположение данной точки С на дефлекторе насадки зависит от конструктивных особенностей дефлектора и диаметра выходного отверстия сопла.

Обозначим через r_* наибольшее значение радиуса дефлектора, при котором возможно безотрывное обтекание насадки (рисунок 2), которое находится из выражения [7]:

$$r_* = k_0 \frac{r_0^2}{2\delta_*} - \frac{\delta_*}{2} \cos \beta \quad (3)$$

Как видно из формулы r_* должно зависеть от полного гидравлического коэффициента сопротивления ζ и числа Фруда Fr_0 , радиуса сопла r_0 и угла конусности β .

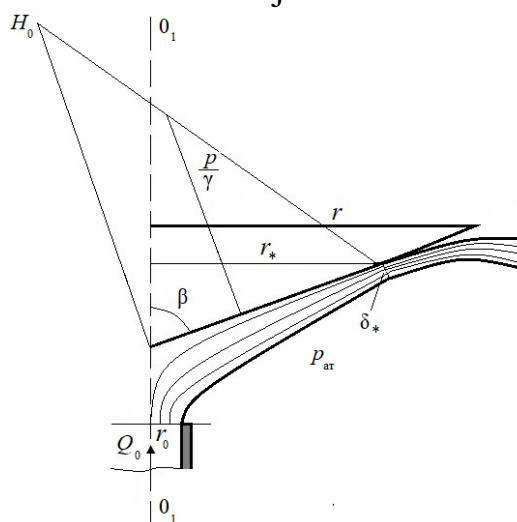


Рисунок 3 – Определение точки отрыва струи

Определено, что при диаметре выходного отверстия сопла 10 мм, расстояние от оси точки С составляет 14,4 мм. Данный факт говорит о том, что на этом расстоянии на насадке полностью заканчивается воздействие дефлектора на поток.

Основной поток капель, отрываясь от дефлектора в точке С, летит на большие расстояния (до 8 м), в зависимости от напора воды перед насадкой, создавая необходимую интенсивность, а в непосредственной близости от насадки образует недостаточное число капель меньшего диаметра, создавая при этом недостаточную интенсивность полива на этом участке орошения.

Для увеличения интенсивности полива вблизи насадки необходимо образовать разрыв сплошности воды в форме канавки до точки отрыва С, которая позволит уменьшить давление в потоке жидкости и способствует отрыву капель за счет увеличения давления растворенных газов.

В потоке возникает турбулентность, что впоследствии насыщает поток воздухом, что естественно нарушает его целостность, и он начинает распадаться на капли малого диаметра почти сразу на конусе дефлектора. Подходя к точке С турбулентность потока во много раз возрастает, поток окончательно отрывается, и струи жидкости с каплями различного диаметра образуют дождь.

Основной поток капель, отрываясь от дефлектора в точке С, летит на большие расстояния (до 8 м) в зависимости от напора воды перед насадкой, создавая там необходимую интенсивность, а на площадь в непосредственной близости от насадки подают недостаточное число капель меньшего диаметра, создавая при этом недостаточную интенсивность полива на этом участке орошения [2].

При диаметре выходного отверстия сопла 10 мм, расстояние от оси точки С составляет 14,4 мм, это говорит о том, что на этом расстоянии на насадке полностью заканчивается воздействие дефлектора на поток. В связи с тем, что вблизи дефлектора возникает избыточное давление воды, равное давлению потока воды на конус, а на поверхности потока оно равно нулю, то вследствие волнообразного волнения потока возникает тенденция завихрений и поперечных потоков. В связи с этим на расстоянии 14,4 мм от оси насадки, поток полностью турбулизируется и распадается на более мелкие капли. Канавка должна быть выполнена или до этой точки или в непосредственной близости, чтобы усилить турбулентность потока до схода с конуса дефлектора и обеспечить более ранний отрыв капель от потока воды в непосредственной близости от конуса. Воздействие канавки на поток изображено на рисунке 4.

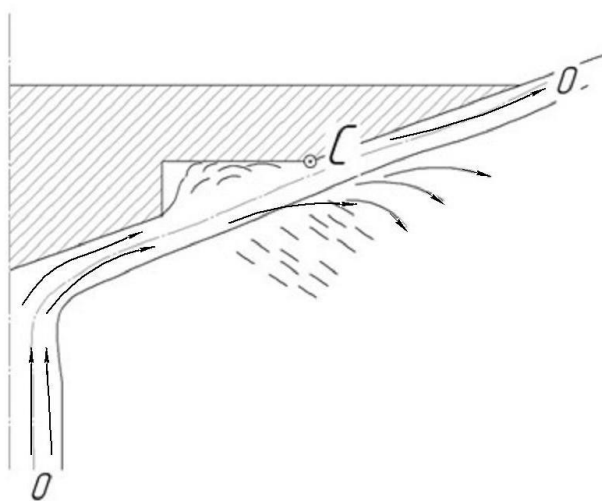


Рисунок 4 - Воздействие канавки на дефлекторе на поток воды

Вода под напором проходит по усеченному конусу сопла и попадает на дефлектор, где, растекаясь, поток воды в близости от конуса попадает в канавки, приобретает усиленное турбулентное движение и распадается на мелкие капли, которые, отрываясь от общего потока воды, образуют мелкодисперсный дождь с достаточной интенсивностью непосредственно вблизи от насадки, а струя у поверхности потока продолжает свое движение по периферии к сходу с дефлектора.

В ходе проведения лабораторных испытаний дефлекторной насадки с кольцевой канавки и анализа их результатов было установлено, что при давлении воды перед насадкой 0,1 – 0,15 МПа и выходном диаметре сопла 8 мм дефлекторной насадки, необходимо выполнять центр канавки от оси дефлектора на расстоянии 12,4 мм шириной 4 мм, так как при увеличении или уменьшении расстояния начала канавки от оси дефлектора коэффициент равномерности полива будет меньше.

График зависимость значений коэффициентов равномерности полива по Кристиансену для дефлекторных насадок от различного расположения относительно центра канавки от оси дефлектора представлена на рисунке 5.

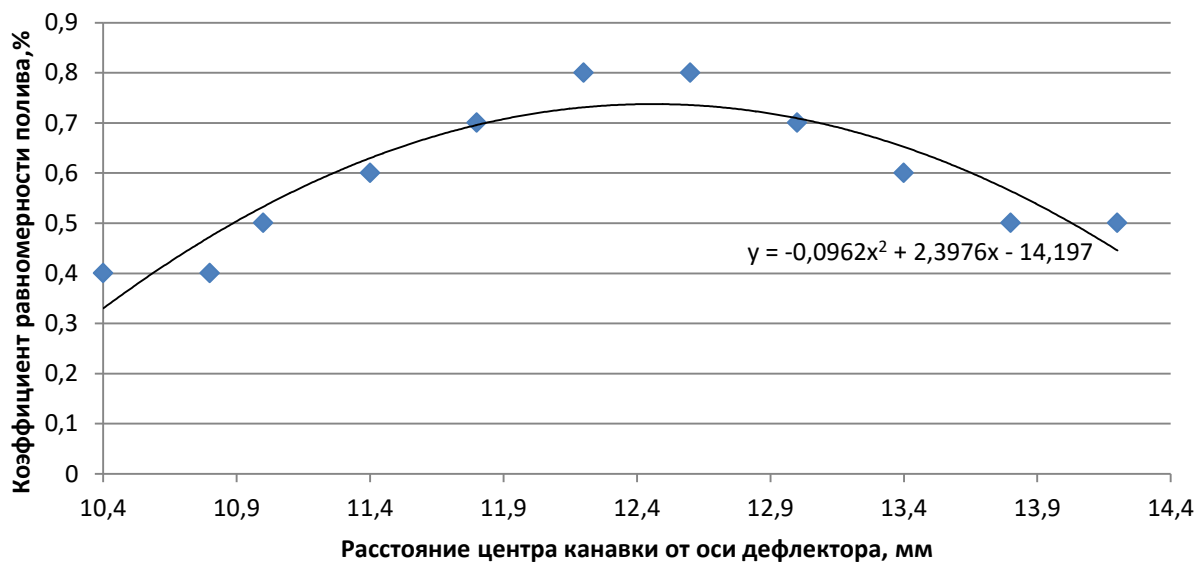


Рисунок 5 - Зависимость коэффициента равномерности от расположения канавки от оси дефлектора шириной 4 мм.

Анализируя график, можно определить, что высокие значения коэффициента равномерности полива по Кристиансену находятся в пределах 12,2...12,6 мм, а точка схода C потока воды с конуса дефлектора для дождевальнoй насадки кругового действия находится на расстоянии 12,4 мм. При отдалении начала канавки от точки C наблюдается резкое понижение значений коэффициентов равномерности. Исходя из этого, канавку необходимо выполнять таким образом, чтобы центр ее был на расстоянии 12,2...12,6 мм от оси дефлектора.

Распределение средней интенсивности дождя по радиусу полива дефлекторной насадки с канавкой шириной 4 мм представлена на рисунке 6.

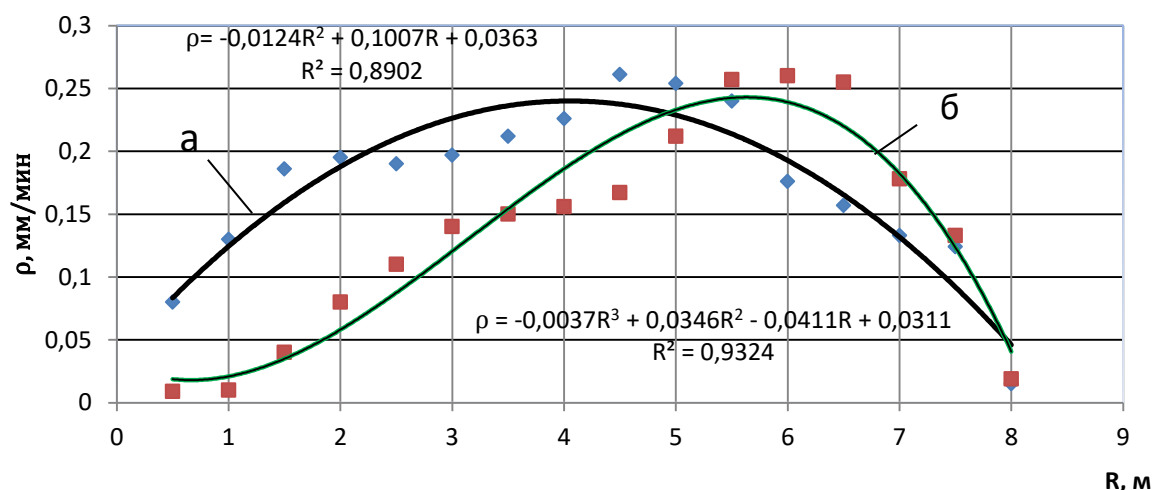


Рисунок 6 - График распределения интенсивности полива по радиусу захвата: а) дефлекторной насадки с канавкой шириной 4 мм с расположением начала канавки от оси насадки 12,4 мм; б) серийная дефлекторная насадка кругового действия

Как видно из графика, при увеличении ширины канавки интенсивность распределения дождя по радиусу более равномерна. На расстоянии 0,5 м от насадки она сразу принимает значение 0,15 мм/мин, затем до 4 м возрастает до 0,26 мм/мин и после до 7 м постепенно убывает. На графике нет резких перепадов интенсивности, и до пиковой точки на расстоянии 4 м

интенсивность почти такая, как и на расстоянии от 5 до 7 м, что говорит о том, что относительно аналогу насадка обладает лучшей равномерностью распределения дождя. Это подтверждается и высоким коэффициентом равномерности по Кристиансену $C_n = 74,6 \%$.

Анализируя полученные графики распределения интенсивности дождя по радиусу захвата, можно сделать вывод, что канавка на дефлекторе действительно влияет на равномерность распределения дождя по площади полива. При испытании дефлекторной насадки кругового действия разработки ВолжНИИГиМ наблюдался резкий скачек до 0,3 мм/мин на расстоянии 5 м от насадки и малые показатели интенсивности распределения в непосредственной близости от насадки, а коэффициент равномерности по Кристиансену менее 55 %.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что кольцевая канавка на конусе дефлекторной насадки кругового действия с диаметром выходного отверстия 8 мм должна быть треугольного сечения для простоты изготовления и шириной 4 мм с расположением середины канавки на расстоянии 12,4 мм от оси насадки. Именно такие конструктивные параметры позволяют получать оптимальный мелкодисперсный дождь с диаметром капель 0,6 – 0,8 мм и высокий коэффициент равномерности полива, достигающий 80%.

Научные исследования проводились в рамках выполнения государственного задания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации по теме «Провести исследования и разработать конструкторскую (эскизную) документацию, изготовить и испытать систему автоматизированного полива при комбинированном орошении сельскохозяйственных культур».

Список источников

1. Абрамов, Г. Ф. Исследование структуры дождя при орошении дождеванием: автореф. дис. канд. техн. наук / Абрамов Г. Ф. – М., 1952. – 20 с.

2. Акпасов А.П. Повышение эффективности дождеобразования с обоснованием конструктивных параметров дефлекторных насадок кругового действия: Автореф. дисс. канд. техн. наук. /2018./18 с.
3. Бородин, В. А. Распыливание жидкостей / В. А. Бородин. – М. : Машиностроение, 1967. – 262 с.
4. Дубенок Н.Н. Майер А.В., Гуренко В.М., Бородычев В.В. Система комбинированного орошения и эффективность производства овощной продукции // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2 (54). С. 253-265.
5. Дубенок Н.Н., А.В. Майер Совершенствование системы мелкоструйчатого внутрипочвенного орошения многолетних насаждений в сочетании с аэрозольным увлажнением // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3 (51). С. 269-275.
6. Волынский, М. С. Труды о дроблении капель жидкости в потоке воздуха / Волынский М. С. // - Москва, 1984. – 12 с.
7. Есин А.И. Обтекание конического дефлектора потоком вязкой несжимаемой жидкости [Текст] / А.И. Есин, А.П. Акпасов, А.В. Русинов, Ю.В. Бондаренко, Л.А. Журавлева // Научная жизнь. – 2018. - №4 – С. 14-19.
8. Исаев, А. П. Гидравлика дождевальных машин / А. П. Исаев. – М. : Машиностроение, 1973. – 215 с.
9. Лебедев, Б. М. Дождевальные машины: теория и конструкции/ Б. М. Лебедев. – М. : Машиностроение, 1977. – 246 с.
10. Овчинников, А.С. Бородычев В.В., Храбров М.Ю., Гуренко В.М., Майер А.В., Бородычев С.В. Перспективная система управления водным режимом почвы и микроклиматом насаждений // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 3 (43). С. 175-184.
11. Рыжко, Н. Ф. Влияние равномерности полива дождевальными машинами «Фрегат» на урожайность сельскохозяйственных культур / Н. Ф. Рыжко//

Научно-технический прогресс в мелиорации земель Поволжья : сб. науч.тр. / ВолжНИИГиМ– М.: ВНИИГиМ, 1990. – С. 160–167.

12. Слюсаренко В.В. Потери воды на испарение и снос при поливе дождеванием и способы их снижения / В.В. Слюсаренко, Н.Ф. Рыжко// Нива Поволжья. – 2009. – №1 (10). – С. 43-46.

References

1. Abramov, G. F. Issledovanie struktury` dozhdyia pri oroshenii dozhdevaniem: avtoref. dis. kand. texn. nauk / Abramov G. F. – М., 1952. – 20 s.

2. Akpasov A.P. Povy`shenie e`ffektivnosti dozhdeobrazovaniya s obosnovaniem konstruktivny`x parametrov deflektorny`x nasadok krugovogo dejstviya: Avtoref. diss. kand. texn. nauk. /2018./18 s.

3. Borodin, V. A. Raspy`livanie zhidkostej / V. A. Borodin. – М. : Mashinostroenie, 1967. – 262 s.

4. Dubenok N.N. Majer A.V., Gurenko V.M., Borody`chev V.V. Sistema kombinirovannogo orosheniya i e`ffektivnost` proizvodstva ovoshhnoj produkcii // Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vy`sshee professional`noe obrazovanie. 2019. № 2 (54). S. 253-265.

5. Dubenok N.N., A.V. Majer Sovershenstvovanie sistemy` melkostrujchatogo vnutripochvennogo orosheniya mnogoletnix nasazhdenij v sochetanii s ae`rozol`ny`m uvlazhneniem // Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vy`sshee professional`noe obrazovanie. 2018. № 3 (51). S. 269-275.

6. Voly`nskij, M. S. Trudy` o droblenii kapel` zhidkosti v potoke vozduxa / Voly`nskij M. S. // - Moskva, 1984. – 12 s.

7. Esin A.I. Obtekanie konicheskogo deflektora potokom vyazkoj neszhimaemoj zhidkosti [Tekst] / A.I. Esin, A.P. Akpasov, A.V. Rusinov, Yu.V. Bondarenko, L.A. Zhuravleva // Nauchnaya zhizn`. – 2018. - №4 – S. 14-19.

8. Isaev, A. P. Gidravlika dozhdeval`ny`x mashin / A. P. Isaev. – М. : Mashinostroenie, 1973. – 215 s.

9. Lebedev, B. M. Dozhdeval'ny'e mashiny: teoriya i konstrukcii/ B. M. Lebedev. – M. : Mashinostroenie, 1977. – 246 s.

10. Ovchinnikov, A.S. Borody`chev V.V., Xrabrov M.Yu., Gurenko V.M., Majer A.V., Borody`chev S.V. Perspektivnaya sistema upravleniya vodny`m rezhimom pochvy` i mikroklimatom nasazhdenij // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vy`sshee professional`noe obrazovanie. 2016. № 3 (43). S. 175-184.

11. Ry`zhko, N. F. Vliyanie ravnomernosti poliva dozhdeval'ny`mi mashinami «Fregat» na urozhajnost` sel'skoxozyajstvenny`x kul'tur / N. F. Ry`zhko// Nauchno-texnicheskij progress v melioracii zemel` Povolzh`ya : sb. nauch.tr. /VolzhNIIGiM– M.: VNIIGiM, 1990. – S. 160–167.

12. Slyusarenko V.V. Poteri vody` na isparenie i snos pri polive dozhdevaniem i sposoby` ix snizheniya / V.V. Slyusarenko, N.F. Ry`zhko// Niva Povolzh`ya. – 2009. №1 (10). – S. 43-46.

Для цитирования: 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. URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-4-2023-42/>

© Акпасов А.П., Туктаров Р.Б., Аверин Д.А., 2023. Московский экономический журнал, 2023, № 4.