

Научная статья

УДК 631.347

DOI 10.48012/1817-5457_2024_3_157-163

ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА СТРУИ ФОРСУНКИ НА СТРУКТУРУ ИСКУССТВЕННОГО ДОЖДЯ В МНОГООПОРНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИНАХ

Черных Алексей Георгиевич

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, п. Молодежный, Иркутская область, Россия

kandida2006@yandex.ru

Аннотация. Современные дождеватели, используемые в качестве источников искусственного дождя при работе многоопорных дождевальных машин кругового движения, имеют в своей конструкции систему демпфирования (регулятор давления). Регулятор позволяет обеспечить требуемую величину давления на его выходе, независимо от изменений давления на его входе из-за гидравлических условий, перепадов высот и технологических схем подачи воды на орошаемую площадь. При постоянной величине давления объемный расход воды через форсунку, соединенную с регулятором с помощью резьбового соединения, будет пропорционален квадрату диаметра ее сопла. Учитывая, что величина расхода для дождевателей с цилиндрическим соплом напрямую влияет на объемные геометрические и энергетические характеристики искусственного дождя, то корреляция производной от расхода связанной с диаметром струи воды на выходе форсунки с указанными характеристиками требует проведения соответствующих теоретических и практических исследований. Цель исследования заключается в формализации математического описания, показывающего влияние диаметра струи форсунки на геометрию осредненных по диаметру сферических капель, двигающихся по баллистической траектории с кромки вращающегося дефлектора в окружающее его воздушное облако. При определении объемных величин расхода воды на выходе сопла использовалась формула расхода из теоремы Торричелли, преобразованная для практических расчетов с использованием каталожных данных параметров дождевателей фирмы Nelson серии 3000. Данный тип дождевателей рассматривался в качестве объекта исследования с привязкой их работы к основному трубопроводу широкозахватной дождевальной машины кругового действия фирмы T-L Irrigation company. Предложенная математическая модель расчета расхода воды на выходе форсунки и адаптированная методика определения капли среднего диаметра в воздушном сферическом облаке, окружающем дождеватель, позволяет спрогнозировать высоту полива в плоскости орошения единичного дождевателя, а также их группы с учетом расположения на трубопроводе машины.

Ключевые слова: дождевальная машина, трубопровод, напор, расход, струя, форсунка, диаметр.

Для цитирования: Черных А. Г. Влияние диаметра струи форсунки на структуру искусственного дождя в многоопорных дождевальных машинах // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3(79). С. 157-163. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_3_157-163.

Актуальность исследований. Технологические инновации в сельскохозяйственной технике, которые могут повысить устойчивость в орошаемом земледелии, являются важным средством достижения оптимального использования водных ресурсов [5].

Мелиоративный комплекс как часть водохозяйственного комплекса страны является условием стабильно высокого производства сельскохозяйственной продукции. Оросительная мелиорация представляет собой искусственное восполнение дефицитной части водного баланса почвы, доведение увлажнения растений и приземного слоя воздуха до оптимального значения для данной сельскохозяйственной культуры [4].

Одним из перспективных направлений технологических инноваций в сельском хозяйстве является применение современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур и заготовки высококачественных кормов, включая оросительную мелиорацию с соответствующим набором технологического оборудования [1, 3].

Среди видов такого технологического оборудования – мобильные оросительные комплексы, базовый модуль которых включает многоопорную дождевальную машину (МДМ), например, с круговым движением относительно центральной поворотной башни [6].

Очевидно, что система подачи воды, используемая в процессе любого из способов оро-

шения, должна быть способна контролировать объем подачи воды, подаваемый для заданного промежутка времени на принятую, исходя из конструкции системы, расчетную единицу орошаемой площади.

Применительно к системам прецизионного орошения, как наиболее продвинутой технологии 3D-управления, контроль расхода воды в системах непрерывного перемещения с МДМ основан на телеметрических базах данных, полученных путем пространственной привязки к расчетной единице орошаемой площади [6, 7]. В этом случае базовый модуль оросительно-го комплекса в виде МДМ адаптируется соответствующими датчиками и узлами, позволяющими реализовать функцию прецизионного полива [10].

Для любых систем орошения, в том числе для систем с подвижным нанесением зоны увлажнения от единичного источника воды, например, дождевателя, расположенного на основном трубопроводе МДМ, структура искусственного дождя, характеризующаяся размером капель, однозначно зависит от конструкции и принципа работы указанного источника.

Цель исследований: теоретически рассчитать и экспериментально подтвердить полученные результаты, характеризующие структуру искусственного дождя, касающуюся размера капель, получаемых путем варьирования диаметра струи за счет изменения диаметра сопла или величины расхода на выходе вращающегося дефлектора струйной форсунки с цилиндрическим соплом.

Задачи исследований:

1) математически формализовать определение объемной величины сферической капли путем введения в математическую модель двух значений диаметра струи: конструкционного, определяемого диаметром сопла, и теоретического, связанного с понятием среднего арифметического диаметра капли;

2) вычислить теоретическую величину расхода на выходе форсунки для введенного параметра, характеризующего средний арифметический диаметр капли, с учетом физических свойств воздуха;

3) с помощью мерной емкости косвенным методом измерить объемный расход воды в единицу времени через форсунку заданного типа с учетом расстановки дождевателей на основном трубопроводе МДМ;

4) установить степень соответствия значений величины теоретического расхода

и его прямого аналога для выбранного типа форсунок.

Материал и методы исследований. Очевидно, что задача расчета диаметра капель, образующихся в некотором объеме воздуха за пределами дождевателя, и их количества не должна являться самоцелью, а должна быть привязана к более общим характеристикам, связанным со структурой искусственного дождя, а именно, его интенсивностью и равномерностью распределения по орошаемой площади [2].

Соответственно в линейном приближении, как будет показано ниже, целесообразно при расчете величины, связанной с понятием диаметра капли, исключить в методологическом плане привязку к понятию капля и их множества, а методику расчета адаптировать к величине среднего арифметического диаметра капли.

Для вытекающей из форсунки струи ее объемный расход воды $Q_{форс.}$ определяется нелинейной функцией с рядом независимых переменных вида:

$$Q_{форс.} = f(p_{отв.}, p_{возд.}, \rho_{воды.}, \zeta_{стр.}, s_{стр.}, s_{сопл.}), \quad (1)$$

где $p_{отв.}$ – давление воды на отводе основного трубопровода МДМ к дождевателю, Па;

$p_{возд.}$ – давление окружающего воздуха, Па;

$\rho_{воды.}$ – плотность воды, кг/м³;

$\zeta_{стр.}$ – суммарный коэффициент трения движущейся воды в отводе, б/р;

$s_{стр.}$ – площадь сечения струи, м²;

$s_{сопл.}$ – площадь сопла (форсунки), м².

Учитывая, что дефлектор дождевателя, как правило, имеет достаточно сложную 3D-форму, а расположенные на них пазы соответствуют косоугольным канавкам, ширина и высота которых увеличивается к кромке рассекателя (рис. 1, поз. 1), то тождественное выражению (1) соотношение в аналитической форме становится трудно формализованным [2].

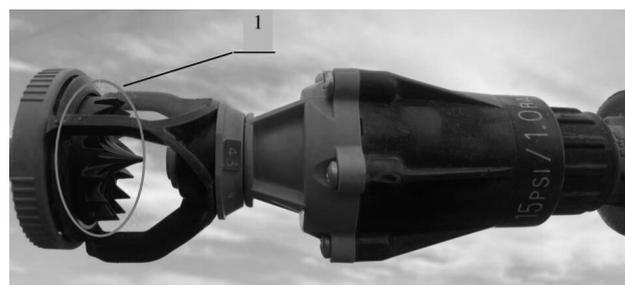


Рисунок 1 – Внешний вид дождевателя фирмы Nelson D3000 с 15 канавками

Кроме того, в процессе распыла воздушное облако, образованное истечением воды с кромки вращающегося рассекателя в форме усеченного цилиндра с канавками, не имеет одинаковой плотности для любых точек облака (рис. 2, поз. 1), равноудаленных от его границы, применительно к двухфазной среде капли воды – воздух.

В соответствии с задачами исследования, сформулированными на начальном этапе, определим средний арифметический диаметр капли по выражению [7]:

$$d_{ср.капли} = 300 \times \sqrt[1,515]{d_{струи}} \times \sqrt[6,8]{\mu_{воды}} \times \sqrt[2,94]{\frac{\sigma_{воды}}{\rho_{воды}}} \times \frac{1}{\sqrt[13,64]{\rho_{воздух}} \times \sqrt[1,88]{V_{max}}}, \quad (2)$$

где $\rho_{воды}$ – плотность воды, кг/м³;

$\rho_{воздух}$ – плотность воздуха, кг/м³;

V_{max} – максимальная скорость капли на кромке рассекателя дождевателя, равная квадрату скорости вертикальной и горизонтальной составляющих, м/сек;

$\mu_{воды}$ – динамическая вязкость воды, Па×сек;

$d_{струи}$ – диаметр струи, м;

$\sigma_{воды}$ – коэффициент поверхностного натяжения воды, Дж×м⁻².



Рисунок 2 – Граница зоны смачивания дождевателя фирмы Nelson D3000 (тип 38) в плоскости распыла на уровне 1,9 м от поверхности земли, радиусом 1,4 м

Далее определяем величину $d_{струи}$ для двух случаев. В первом случае (конструктивном) принимаем, что диаметр струи равен диаметру сопла форсунки, который определяется ее типом. Например, если тип форсунки 38, то диаметр сопла соответственно равен:

$$d_{струи1} = d_{сопла1} = \frac{38}{128} \times 25,4 = 7,54 \text{ мм.} \quad (3)$$

Во втором случае диаметр струи определяем по выражению:

$$d_{струи2} = \frac{2}{\omega_{рассек.}} \times \sqrt{\frac{\sigma_{воды}}{\pi \times \rho_{воды} \times r}}, \quad (4)$$

где $\omega_{рассек.}$ – угловая скорость вращения рассекателя, сек⁻¹;

r – удаление произвольной точки в плоскости распыла на высоте дождевателя, эквивалентной радиусу условной цилиндрической поверхности, соосной с линией свеса дождевателя, м.

Затем рассчитываем величину расхода через форсунку $Q_{дожд,i}$ для двух значений диаметра струи с использованием выражений (2) ÷ (4) по уравнению:

$$Q_{дожд,i} = \frac{3,9 \times \pi \times r_{дефл.} \times d_{струи,i} \times \sqrt{d_{струи,i} \times \sigma_{воды}}}{\lambda_{возм.} \times 8\rho_{воды}}, \quad (5)$$

где $\lambda_{возм.}$ – длина волнообразной пленки воды в канавке рассекателя, м;

$r_{дефл.}$ – радиус дефлектора, м; $i = \overline{1,2}$;

$$\lambda_{возм,i} = 4,5 \times d_{струи,i} \times \left[1 + 3 \times \mu_{воды} \times \sqrt{\frac{1}{d_{струи,i} \times \rho_{воды} \times \sigma_{воды}}} \right]. \quad (6)$$

Поскольку измерение объемного расхода происходит путем погружения дождевателя в мерную емкость, то в выражении (4) величина r определяется тождеством: $r = r_{дефл.}$.

В качестве примера рассмотрим числовые выкладки, соответствующие выражениям (2), (4) ÷ (6) для форсунки типа 38. Однотипные указанным выше выражениям (2), (5) и (6) с текущими числовыми значениями параметров и величин выполним для двух значений диаметра струи.

$$d_{ср.капли1} = 300 \times \sqrt[1,515]{7,54} \times \sqrt[6,8]{0,00089} \times \sqrt[2,94]{\frac{0,0073}{1000}} \times \frac{1}{\sqrt[13,64]{\sqrt{1,225}} \times \sqrt[1,88]{7}} = 5,55 \text{ мм.} \quad (7)$$

$$d_{струи2} = \frac{2}{0,007} \times \sqrt{\frac{0,073}{3,14 \times 1000 \times 0,027}} = 8,38 \text{ мм.} \quad (8)$$

$$d_{ср.капли2} = 300 \times \sqrt[1,515]{8,38} \times \sqrt[6,8]{0,00089} \times \sqrt[2,94]{\frac{0,0073}{1000}} \times \frac{1}{\sqrt[13,64]{\sqrt{1,225}} \times \sqrt[1,88]{7}} = 5,95 \text{ мм.} \quad (9)$$

$$\lambda_{возм,1} = 4,5 \times 7,54 \times [1 + 3 \times 0,00089 \times \sqrt{\frac{1}{7,54 \times 1000 \times 0,073}}] = 33,93 \text{ мм.} \quad (10)$$

$$Q_{дожд,1} = \frac{3,9 \times 3,14 \times 27 \times 7,54}{33,93} \times \sqrt{\frac{7,54 \times 0,073}{8 \times 1000}} = 0,609 \text{ л/сек.} \quad (11)$$

$$\lambda_{возм,2} = 4,5 \times 8,38 \times [1 + 3 \times 0,00089 \times \frac{1}{8,38 \times 1000 \times 0,073}] = 37,71 \text{ мм.} \quad (12)$$

$$Q_{дожд,2} = \frac{3,9 \times 3,14 \times 27 \times 8,38}{37,71} \times \sqrt{\frac{8,38 \times 0,073}{8 \times 1000}} = 0,642 \text{ л/сек.} \quad (13)$$

Необходимо отметить, что при определении величины $d_{струи2}$ по выражению (4) необходимо иметь априорную информацию относительно угловой скорости вращения рассекателя для конкретного типа форсунки, измерение которой аппаратными устройствами достаточно затруднительно.

В этом случае целесообразно использовать несколько модифицированный алгоритм расчета диаметра струи по сравнению с приведенным выше алгоритмом.

Преобразованная формула расхода воды через отверстие с использованием теоремы Торричелли имеет вид:

$$Q_{дожд,i} = 29,85 \times C \times d_{сопла,i}^2 \times \sqrt{p_{струи,i}}, \quad (14)$$

где $Q_{дожд,i}$ – расход на выходе сопла (форсунки) i -го дождевателя в галлонах в минуту;

$d_{сопла,i}$ – диаметр сопла в дюймах;

$p_{струи,i}$ – давление в фунтах на квадратный дюйм на выходе сопла;

C – коэффициент, характеризующий отношение фактического расхода через сопло к теоретическому (табличное значение).

Вычислив конструкционную величину расхода $Q_{дожд,i}$, можно путем решения приведенного ниже нелинейного алгебраического уравнения получить соответствующее значение диаметра струи $d_{струи,i}$:

$$Q_{дожд,i} = \frac{0,962 \times r_{дефл,i} \times d_{струи,i} \times \sigma_{воды}}{3 \times \mu_{воды} + \sqrt{d_{струи,i} \times \rho_{воды} \times \sigma_{воды}}}. \quad (15)$$

Подстановка текущего значения диаметра струи $d_{струи,i}$ в выражение (4) позволяет определить соответствующее значение $\omega_{рассек,i}$.

Если положить, что $m_{ср.капли,i}$ соответствует масса капли среднеарифметического диаметра $d_{ср.капли,i}$ в дождевом облаке на кромке канавки рассекателя i -го дождевателя, то, используя

известные соотношения баллистической теории движения капли, можно вычислить скорость аэрозольной струи на выходе канавки рассекателя i -го дождевателя и, как следствие, дальность полета струи в плоскости орошения.

Результаты исследований. Полевой эксперимент с косвенным методом измерения объемного расхода воды на форсунках дождевателей, расположенных на основном трубопроводе МДМ фирмы T-L Irrigation company, проводился на пахотных землях, предназначенных для выращивания овощных культур, в КФХ «ИП Кичигина Л.П.», расположенном в с. Мальта Усолье-Сибирского района Иркутской области.

Исследуемая МДМ представляет собой дождевальную установку с фиксированной опорной башней, относительно которой конструкция из 11 ферм на опорах с парой тележек передвигается по часовой стрелке при помощи гидравлического привода.

Радиус дождевания относительно опорной башни составляет 618 м. Для данного радиуса дождевания, с учетом физической реализуемости скорости движения концевой тележки, минимальное время, затрачиваемое на оборот, равно 24 ч. При этом скорость движения концевой (11-й тележки) при ручном управлении равна 264 см/мин.

По мере удаления от опорной башни типы дождевателей на основном трубопроводе МДМ изменяются в сторону увеличения их значения.

Величина расхода единичного дождевателя производилась косвенным измерением с помощью мерной емкости объемом 5 л и стрелочного секундомера. Результаты измерений с учетом размеров форсунок, основанных на 128-дюймовой шкале, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Величины расходов дождевателей серии 3000 для системы форсунок 3TN Nozzle (по возрастанию)

Тип	14	19	24	29	33	38	44
Расход, л/сек	0,086	0,172	0,303	0,417	0,526	0,667	0,833

Приведенные в таблице 1 величины расходов соответствуют глубине поливного слоя 9,4 мм на орошаемой площади, который обеспечивается работой МДМ в течение 24 ч.

В таблице 2 показаны сводные результаты экспериментальных и расчетных данных, отражающие количественно цели и задачи проведенного исследования.

Таблица 2 – Сводная таблица диаметров конструкционных и теоретических струй форсунок дождевателей 3TN Nozzle, соответствующих расходов и значений средних арифметических диаметров капли

Тип	14	19	24	29	33	38	44
$d_{струи1}$, мм	2,79	3,77	4,76	5,75	6,55	7,54	8,73
$d_{струи2}$, мм	0,254	0,699	2,07	4,06	6,29	8,38	11,32
$d_{ср.капли1}$, мм	2,88	3,51	4,10	4,64	5,06	5,55	6,82
$d_{ср.капли2}$, мм	0,59	1,16	2,37	3,70	4,93	5,95	7,26
$Q_{дожд.1}$, л/сек	0,316	0,375	0,430	0,493	0,547	0,609	0,704
$Q_{дожд.2}$, л/сек	0,095	0,161	0,284	0,414	0,536	0,642	0,802
$Q_{эксперимент}$, л/сек	0,086	0,172	0,303	0,417	0,526	0,667	0,833
$d_{эксперимент/дожд.1}$, %	267,4	118,0	41,91	18,22	3,99	8,69	15,49
$d_{эксперимент/дожд.2}$, %	10,46	6,395	6,270	0,719	1,90	3,74	3,72

Выводы и рекомендации. Представлен алгоритм и соответствующие аналитические выражения, позволяющие косвенным способом путем определения промежуточной величины, характеризующей диаметр струи на выходе сопла дождевателя, вычислить его конструкционный и теоретический секундные расходы. Введение в алгоритм переменной, эквивалентной среднему арифметическому диаметру капли, позволяет минимизировать апостериорную составляющую данных по количеству капель в воздушном облаке за дождевателем и связанных с этим массивом полей скоростей для каждой капли и их объемных характеристик. Как следствие, существенно уменьшается объем проводимых вычислений, а введение размерной величины для среднего арифметического диаметра капли позволяет значительно повысить точность результата по величине расхода на выходе дождевателя, соотнесенного с подобной величиной, полученной путем натурного эксперимента. Для дальнейшего уменьшения диапазона относительной погрешности (3,72÷10,46 %) между теоретическими и экспериментальными значениями расхода на выходе дождевателя требуется априорная информация по величине угловой скорости вращения соответствующего дефлектора по данным завода-изготовителя.

Список источников

1. Будзко В. И. Проблемы цифровой трансформации агротехнологических процессов // Системы высокой доступности. 2021. Т. 17, № 4. С. 5–23.
2. Дождеватели широкозахватных дождевальных машин: монография / Л. А. Журавлева, И. А. Попков, М. С. Магомедов, Хеирбеик Бассел. Москва: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. 140 с.
3. Коконев С. И., Кислякова Е. М. Перспективные направления кормопроизводства Удмуртской Респу-

блики // Актуальные вопросы растениеводства и кормопроизводства в XXI веке: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию научной школы кормовиков. Кинель: ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, 2017. С. 21–24.

4. Состояние оросительной мелиорации в Удмуртской Республике / О. П. Васильева, Л. Л. Максимов, К. Л. Шкляев [и др.] // Теория и практика адаптивной селекции растений: сборник материалов Национальной научно-технической конференции. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2022. С. 164–168.

5. Стратегическое направление инновационного развития сельскохозяйственной техники / А. Л. Шкляев, К. Л. Шкляев, О. П. Васильева, Е. А. Михеева // Развитие производства и роль агроинженерной науки в современном мире: материалы Международной научно-практической конференции, Ижевск, 16–17 декабря 2021 г. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. С. 224–231.

6. Черных А. Г. Структура и состав закрытой системы орошения механическим подъемом воды и поливом широкозахватными круговыми дождевальными машинами // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (69). С. 171–183.

7. Черных А. Г. Управление производительностью спринклера в системах мелкодисперсного дождевания с учетом энергетических характеристик искусственного дождя // Обеспечение технологического суверенитета АПК: подходы, проблемы, решения: роль экономической науки в инновационном развитии АПК: сборник статей Международной научно-методической конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук. Екатеринбург: ФГБОУ ВО Уральский ГАУ, 2023. С. 200–203.

8. Шкляев К. Л., Шкляев А. Л. Картирование сельскохозяйственных земель // Научное обеспечение инженерно-технической системы АПК: проблемы и перспективы: материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 60-летию работы кафедры эксплуатации и ремонта машин агроинженерного факультета, 90-летию доктора химических наук, профессора, заслуженно-

го деятеля науки УР Г. А. Кorableva и 85-летию кандидата технических наук, профессора, заслуженного работника сельского хозяйства УР, почетного работника ВПО РФ Б. Д. Зонова. 2020. С. 389–395.

9. Шкляев К. Л., Шкляев А. Л. Навигационные системы в агропроизводстве // Интеграционные взаимодействия молодых ученых в развитии аграрной науки: материалы Нац. науч.-практ. конф. молодых ученых, в 3 т. 2020. С. 306–310.

10. Robles O., Latorre B., Zapata N., Burguete J. Self-calibrated ballistic model for sprinkler irrigation with a field experiments data base. *Journal of Agricultural Water Management*. 2019; 223: 105711–105717. URL: 10.1016/j.agwat.2019.105711 (accessed 18 October 2018).

References

1. Budzko V. I. Problemy cifrovoj transformacii agrotekhnologicheskikh processov // *Sistemy vysokoj dostupnosti*. 2021. Т. 17, № 4. С. 5–23.

2. Dozhdevateli shirokozahvatnykh dozhdeval'nykh mashin: monografiya / L. A. Zhuravleva, I. A. Popkov, M. S. Magomedov, Heirbeik Bassel. Moskva: FGBOU VO RGAU-MSKHA imeni K. A. Timiryazeva, 2022. 140 s.

3. Kokonov S. I., Kislyakova E. M. Perspektivnye napravleniya kormoproizvodstva Udmurtskoj Respubliki // *Aktual'nye voprosy rastenievodstva i kormoproizvodstva v XXI veke: sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 40-letiyu nauchnoj shkoly kormovikov. Kinel'*: FGBOU VO Samarskaya GSKHA, 2017. С. 21–24.

4. Sostoyanie orositel'noj melioracii v Udmurtskoj Respublike / O. P. Vasil'eva, L. L. Maksimov, K. L. Shklyayev [i dr.] // *Teoriya i praktika adaptivnoj selekcii rastenij: sbornik materialov Nacional'noj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2022. С. 164–168.

5. Strategicheskoe napravlenie innovacionnogo razvitiya sel'skohozyajstvennoj tekhniki / A. L. Shklyayev, K. L. Shklyayev, O. P. Vasil'eva, E. A. Miheeva // *Razvitie*

proizvodstva i rol' agroinzhenernoj nauki v sovremennom mire: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Izhevsk, 16–17 dekabrya 2021 g. Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2021. С. 224–231.

6. Chernyh A. G. Struktura i sostav zakrytoj sistemy orosheniya mekhanicheskim pod'emom vody i polivom shirokozahvatnymi krugovymi dozhdeval'nyimi mashinami // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. № 4 (69). С. 171–183.

7. Chernyh A. G. Upravlenie proizvoditel'nost'yu sprinklera v sistemah melkodispersnogo dozhdevaniya s uchetom energeticheskikh harakteristik iskusstvennogo dozhdyia // *Obespechenie tekhnologicheskogo suvereniteta APK: podhody, problemy, resheniya: rol' ekonomicheskoy nauki v innovacionnom razvitii APK: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii, posvyashchennoj 300-letiyu Rossijskoj akademii nauk. Ekaterinburg: FGBOU VO Ural'skij GAU, 2023. С. 200–203.*

8. Shklyayev K. L., Shklyayev A. L. Kartirovanie sel'skohozyajstvennykh zemel // *Nauchnoe obespechenie inzhenerno-tekhnicheskoy sistemy APK: problemy i perspektivy: materialy Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 60-letiyu raboty kafedry ekspluatatsii i remonta mashin agroinzhenernogo fakul'teta, 90-letiyu doktora himicheskikh nauk, professora, zaslužennogo deyatelya nauki UR G. A. Korableva i 85-letiyu kandidata tekhnicheskikh nauk, professora, zaslužennogo rabotnika sel'skogo hozyajstva UR, pochetnogo rabotnika VPO RF B. D. Zoнова*. 2020. С. 389–395.

9. Shklyayev K. L., Shklyayev A. L. Navigacionnye sistemy v agroprodukcii // *Integracionnye vzaimodejstviya molodykh uchenykh v razvitii agrarnoj nauki: materialy Nac. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh, v 3 t.* 2020. С. 306–310.

10. Robles O., Latorre B., Zapata N., Burguete J. Self-calibrated ballistic model for sprinkler irrigation with a field experiments data base. *Journal of Agricultural Water Management*. 2019; 223: 105711–105717. URL: 10.1016/j.agwat.2019.105711 (accessed 18 October 2018).

Сведения об авторе:

А. Г. Черных, кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>
ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, п. Молодежный, 1/1, Иркутская область, Россия, 664038
kandida2006@yandex.ru

Original article

EFFECT OF THE NOZZLE JET DIAMETER ON ARTIFICIAL RAIN STRUCTURE IN MULTITOWER SPRINKLING MACHINES

Alexey G. Chernykh

Irkutsk SAU named after A. A. Ezhevsky, Molodezhny settlement, Irkutsk region, Russia
kandida2006@yandex.ru

Abstract. Modern sprinklers used as sources of artificial rain during the operation of multitower circular sprinkling machines have a damping system (pressure regulator) in their design. The regulator allows you to provide the required amount of pressure at its outlet, regardless of changes in pressure at its inlet due to hydraulic

conditions, height differences and technological schemes for supplying water to the irrigated area. At a constant pressure value, the volumetric flow rate of water through the nozzle connected to the regulator by means of a threaded connection will be proportional to the square of the diameter of its nozzle. Considering that the flow rate for sprinklers with a cylindrical nozzle directly affects the volumetric geometric and energy characteristics of artificial rain, the correlation of the derivative of the flow rate associated with the diameter of the water jet at the outlet of the nozzle with these characteristics requires appropriate theoretical and practical studies. The purpose of the study is to formalize a mathematical description showing the effect of the nozzle jet diameter on the geometry of diameter-averaged spherical droplets moving along a ballistic trajectory from the edge of a rotating deflector into the surrounding air cloud. When determining the volumetric values of water flow at the nozzle outlet, the flow formula from Torricelli's theorem was used, converted for practical calculations using catalog data of parameters of Nelson 3000 series sprinklers. This type of sprinklers was considered as an object of research with their operation tied to the main pipeline of a wide-reach circular sprinkler machine from the T-L Irrigation company. The proposed mathematical model for calculating the water flow rate at the nozzle outlet and an adapted method for determining a drop of average diameter in an air spherical cloud surrounding the sprinkler makes it possible to predict the height of irrigation in the irrigation plane of both a single sprinkler and a group of sprinklers, taking into account the location on the machine pipeline.

Key words: sprinkling machine, pipeline, pressure, flow, jet, nozzle, diameter.

For citation: Chernykh A. G. Effect of the nozzle jet diameter on artificial rain structure in multitower sprinkling machines. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2024; 3(79): 157-163. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_3_157-163.

Author:

A. G. Chernykh, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>
Irkutsk SAU named after A. A. Ezhevsky, 1/1 Molodezhny settlement, Irkutsk region, Russia, 664038
kandida2006@yandex.ru

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the author declares that there is no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 13.02.2024; одобрена после рецензирования 04.04.2024;
принята к публикации 06.09.2024.

The article was submitted 13.02.2024; approved after reviewing 04.04.2024; accepted for publication 06.09.2024.