Научная статья
Original article
УДК 631.347.1
doi: https://doi.org/10.55186/25880209_2026_10_5_53
edn: ZYRBWO

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАССЕКАТЕЛЯ И ДИАМЕТРА СОПЛА НА РАДИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЖДЯ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ НАСАДКИ

THE INFLUENCE OF THE SCATTERER DESIGN AND NOZZLE DIAMETER ON THE RADIAL RAIN DISTRIBUTION OF A SPRINKLER NOZZLE

Мищенко Николай Андреевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483 Московская обл., Коломенский район, пос. Радужный, 38), тел. 8(496)6-170-474, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-6002-5202, mishenko.nikolai@bk.ru.

Травкин Владислав Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483 Московская обл., Коломенский район, пос. Радужный, 38), тел. 8(496)6-170-474, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-1052-0125, tvs@vniiraduga.ru.

Лебедев Денис Андреевич, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем

орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483 Московская обл., Коломенский район, пос. Радужный, 38), тел. 8(496)6-170-474, ORCID: https://orcid.org/0009-0004-0983-1318, lda@vniiraduga.ru.

Травкина Алина Рафиковна, младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483 Московская обл., Коломенский район, пос. Радужный, 38), тел. 8(496)6-170-474, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0770-4292, gimazova.a@bk.ru.

Nikolai A. Mishenko, candidate of technical sciences, the Leading Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Raduga» (Moscow Region, Kolomna District, settl. Raduzhny), tel. 8(496)6-170-474, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-6002-5202, mishenko.nikolai@bk.ru.

Vladislav S. Travkin, candidate of technical sciences, Senior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Raduga» (Moscow Region, Kolomna District, settl. Raduzhny), tel. 8(496)6-170-474, ORCID: https://orcid.org/0009-0002-1052-0125, tvs@vniiraduga.ru.

Denis A. Lebedev, Junior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Raduga» (Moscow Region, Kolomna District, settl. Raduzhny), tel. 8(496)6-170-474, ORCID: https://orcid.org/0009-0004-0983-1318, lda@vniiraduga.ru.

Alina R. Travkina, Junior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute «Raduga» (Moscow Region, Kolomna District, settl. Raduzhny), tel. 8(496)6-170-474, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0770-4292, gimazova.a@bk.ru.

Аннотация. Совершенствование дождеобразующих устройств широкозахватных дождевальных машин требует изучения влияния их конструктивных параметров на характеристики формируемого искусственного дождя. Целью исследования являлась оценка влияния

конструкции рассекателя и диаметра сопла на радиальное распределение интенсивности дождя. Экспериментальные исследования проводили на дождевальной насадке со сменными соплами диаметром 3, 4 и 5 мм и двумя конструкциями рассекателей — крупнокапельной и среднекапельной. Испытания выполняли при постоянном рабочем давлении 1,4 МПа. Распределение воды определяли по трем радиальным лучам с размещением дождемеров через 0,5 м. Для сравнительного анализа использовали осредненные по лучам значения интенсивности дождя. Установлено, что конструкция рассекателя и диаметр сопла влияют на величину и радиальное положение максимальной интенсивности. При диаметре сопла 3 мм максимальная интенсивность составила 0,295 мм/мин для крупнокапельного и 0,346 мм/мин для среднекапельного рассекателя. При диаметрах 4 и 5 мм более высокие значения отмечены для крупнокапельного рассекателя — 0,314 и 0,408 мм/мин соответственно. С увеличением диаметра сопла от 3 до 5 мм радиальное положение максимума смещалось с 1,5 до 4,0 м для крупнокапельного и с 1,5 до 3,5 м для среднекапельного рассекателя. Полученные результаты подтверждают необходимость совместного учета конструкции рассекателя и диаметра сопла при совершенствовании дождевальных насадок для широкозахватных дождевальных машин.

Abstract. Improving sprinkler devices for wide-span irrigation machines requires investigating the influence of their design parameters on the characteristics of the artificial rainfall they produce. The aim of this study was to evaluate the effects of deflector design and nozzle diameter on the radial distribution of rainfall intensity. Experimental investigations were conducted using a sprinkler nozzle equipped with interchangeable orifices of 3, 4, and 5 mm in diameter and two deflector configurations designed to produce large- and medium-sized droplets. The experiments were performed at a constant operating pressure of 1.4 MPa. Water distribution was measured along three radial lines using rain gauges positioned at 0.5 m intervals. Rainfall intensity values averaged across the three radial lines were used for comparative analysis. The results showed that deflector design and nozzle

diameter affected both the magnitude and radial position of maximum rainfall intensity. With a 3 mm nozzle diameter, the maximum intensity was 0.295 mm/min for the large-droplet deflector and 0.346 mm/min for the medium-droplet deflector. At nozzle diameters of 4 and 5 mm, higher maximum intensities were observed for the large-droplet deflector, reaching 0.314 and 0.408 mm/min, respectively. Increasing the nozzle diameter from 3 to 5 mm shifted the radial position of maximum intensity from 1.5 to 4.0 m for the large-droplet deflector and from 1.5 to 3.5 m for the medium-droplet deflector. These findings demonstrate the importance of considering deflector design and nozzle diameter together when improving sprinkler devices for wide-span irrigation machines.

Ключевые слова: дождевальная насадка, дождевальная машина, равномерность полива, сменное сопло, дефлектор, эффективность полива, качественные показатели дождя, импортозамещение

Keywords: sprinkler nozzle, sprinkler irrigation machine, irrigation uniformity, replaceable nozzle, deflector, irrigation efficiency, rain quality characteristics, import substitution

Введение. Эффективность работы широкозахватных дождевальных машин определяется не только обеспечением требуемого расхода оросительной воды, но и качеством формирования искусственного дождя и его распределения по орошаемой площади [1]. Одним из основных элементов, определяющих характеристики дождя, является дождеобразующее устройство [2].

Совершенствование дождеобразующих устройств для широкозахватных дождевальных машин является одним из актуальных направлений развития оросительной техники [3]. В рамках проведенного во ФГБНУ ВНИИ «Радуга» патентного исследования за период 2016–2026 гг. было выявлено 76 патентных документов, относящихся к дождевальным насадкам, дождевальным аппаратам и дождеобразующим устройствам. Из них 49 документов относятся к патентам на изобретения. В числе основных

направлений развития технических решений отмечены повышение равномерности полива, регулирование интенсивности и радиуса дождя, увеличение площади полива, регулирование размера капель и повышение качества искусственного дождя.

Одним из способов управления структурой водного потока является применение рассекателей, устанавливаемых в зоне взаимодействия струи с рабочей поверхностью дефлектора. В известных технических решениях используются рассекатели различной геометрии, в том числе гребенчатые и клиновидные элементы, предназначенные для дробления потока, изменения направления его движения и перераспределения воды в дождевом факеле [4]. Например, в патентных документах RU2616842C1, RU2749142C1 и RU219653U1 рассмотрены конструкции дождевальных насадок с элементами рассечения и перераспределения водного потока.

При этом изменение конструкции рассекателя неизбежно связано с изменением условий взаимодействия струи с рабочей поверхностью дождеобразующего устройства [5]. Существенное влияние на характер формируемого дождевого факела оказывает также диаметр сопла, определяющий расход и кинематические параметры истекающей струи.

В связи с этим представляет научный и практический интерес экспериментальное исследование совместного влияния конструкции рассекателя и сопла на характер радиального распределения оросительной воды.

Исследования выполнены в рамках государственного задания 2.1.2r «Провести исследования и разработать дождеобразующие устройства, отвечающие современным требованиям для широкозахватных дождевальных машин российского производства».

Целью работы является экспериментальное исследование влияния конструкции рассекателя струи и диаметра сопла на радиальное распределение интенсивности дождя, формируемого дождевальной насадкой.

Для достижения поставленной цели решались **следующие задачи:**

– исследовать радиальное распределение оросительной воды при использовании рассекателей различной конструкции;

– определить характер изменения интенсивности дождя по радиусу орошения при использовании сопел диаметром 3, 4 и 5 мм.

– провести сравнительную оценку радиальных профилей дождя для крупнокапельного и среднекапельного рассекателей;

– установить особенности влияния размера сопла на характер радиального распределения воды для различных конструкций рассекателей;

– определить наиболее характерные зоны перераспределения оросительной воды в радиальном направлении.

Материалы и методы. Объектом исследования являлась дождевальная насадка со сменным соплом и рассекателем струи (рисунок 1). В качестве исследуемых конструктивных факторов рассматривались два варианта дефлектора —для среднекапельного дождя и для крупнокапельного дождя (рисунок 2), а также три варианта сменного сопла – диаметром 3, 4 и 5 мм.

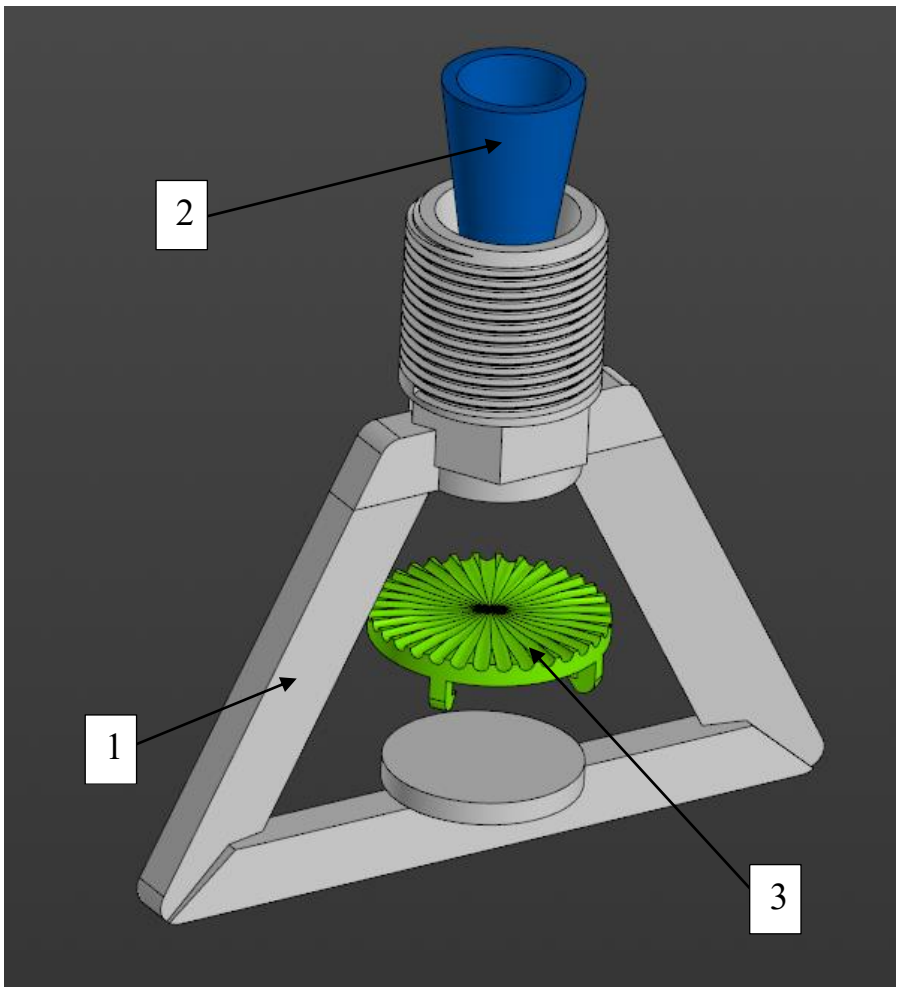


Рисунок 1. Конструкция дождевальной насадки

(1 – корпус насадки; 2 – сменное сопло; 3 – сменный дефлектор)

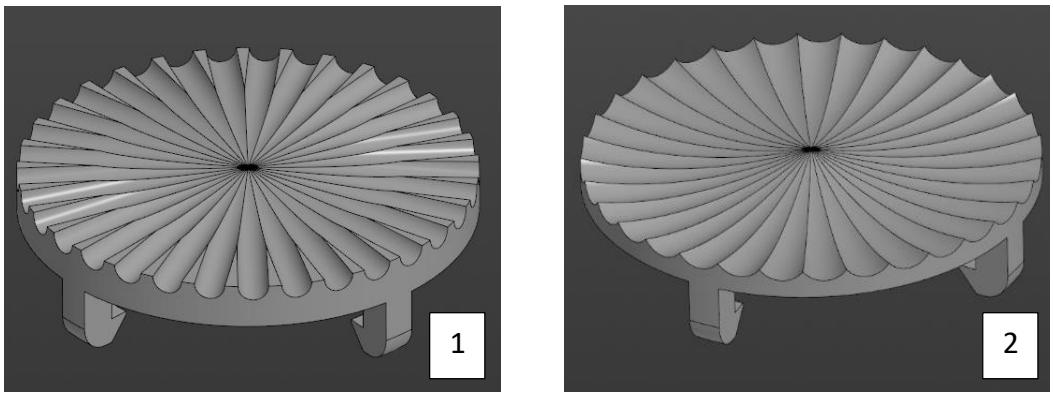


Рисунок 2. Типы дефлекторов (1 - дефлектор для среднекапельного дождя; 2– дефлектор для крупнокапельного дождя)

Испытания проводили при постоянном рабочем давлении 1,4 МПа. Исследования выполняли методом измерения распределения воды по радиальным направлениям от оси дождевальной насадки. Дождемеры

располагали с шагом 0,5 м. Для каждого конструктивного варианта распределение воды определяли по трем измерительным лучам. Всего исследовано шесть сочетаний конструктивных параметров, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сочетания конструктивных параметров дождевальной насадки

Вариант	Конструкция рассекателя	Диаметр сопла, мм	Давление, МПа
1	крупнокапельный	3	1,4
2	крупнокапельный	4	1,4
3	крупнокапельный	5	1,4
4	среднекапельный	3	1,4
5	среднекапельный	4	1,4
6	среднекапельный	5	1,4

Объем воды, собранный в каждой измерительной емкости, использовали для определения интенсивности дождя [6]. При площади приемной поверхности измерительной емкости 100 см² интенсивность дождя определяли по зависимости:

$$I = \frac{V}{10t},$$

где I — интенсивность дождя, мм/мин;

V — объем собранной воды, мл;

t — продолжительность измерения, мин.

Для анализа результатов определяли среднюю интенсивность дождя по трем измерительным лучам на каждом расстоянии от оси насадки. На основании полученных значений строили радиальные профили распределения. Основным показателем при сравнении вариантов являлся характер изменения интенсивности дождя в зависимости от расстояния от оси дождевальной насадки. Дополнительно оценивали положение максимума интенсивности и изменение интенсивности в центральной и периферийной частях дождевого факела.

Результаты и обсуждение. Результаты испытаний показали, что конструкция рассекателя оказывает влияние на форму радиального профиля дождя.

При использовании сопла диаметром 3 мм для обоих рассекателей максимальная интенсивность наблюдалась в относительно близкой к оси насадки зоне. Однако дальнейшее распределение воды по радиусу различалось (рисунок 3). При крупнокапельном рассекателе после достижения максимума наблюдалось относительно плавное снижение интенсивности по мере удаления от оси. При этом вода распределялась на значительном радиусе, что свидетельствует о перераспределении части потока в периферийную область дождевого факела [7]. При среднекапельном рассекателе характер снижения интенсивности с увеличением расстояния был более выраженным. Особенно заметно различие проявлялось в периферийной части радиального профиля.

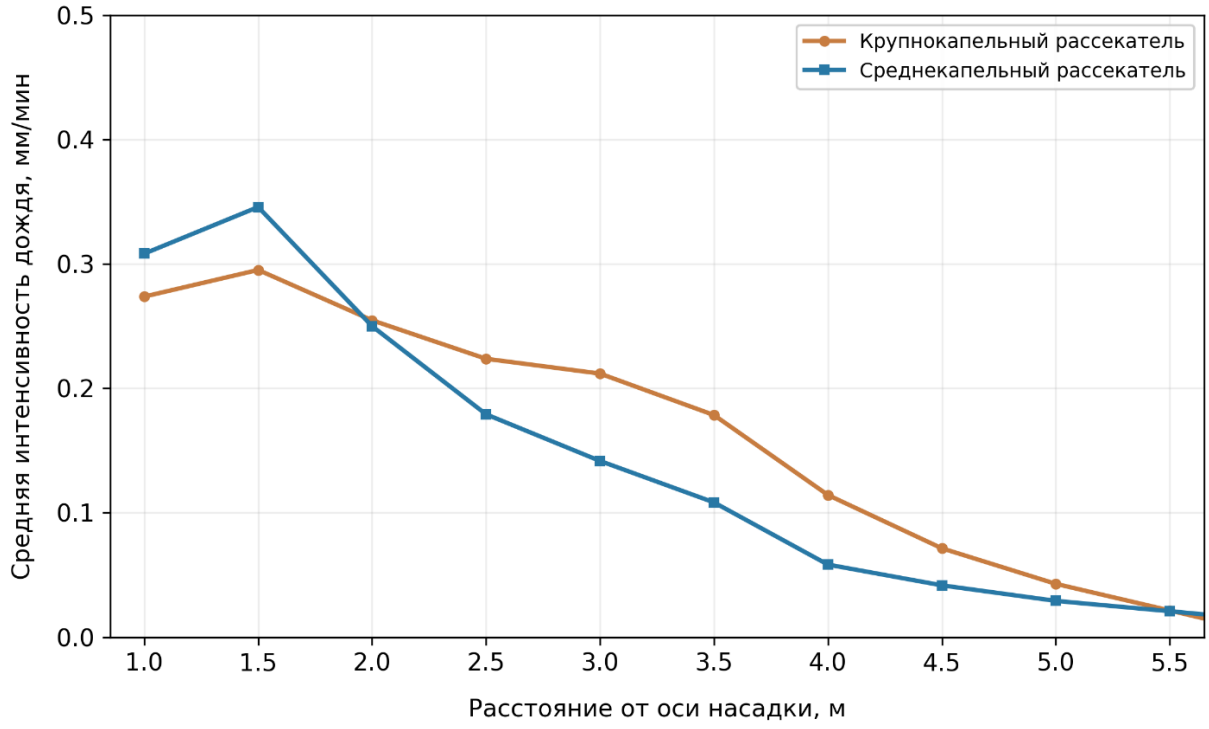


Рисунок 3. Влияние конструкции рассекателя на радиальное распределение интенсивности дождя при диаметре сопла 3 мм

Таким образом, при использовании сопла 3 мм изменение конструкции рассекателя приводило прежде всего к изменению дальности и характера распределения воды в периферийной зоне дождевого факела.

При использовании сопла диаметром 4 мм различия между исследуемыми конструкциями рассекателя проявились более отчетливо (рисунок 4).

Для крупнокапельного рассекателя по мере удаления от оси после начального участка наблюдалось увеличение интенсивности дождя с формированием выраженной зоны повышенного выпадения воды в периферийной части факела. Максимальные значения отмечались примерно на расстоянии 3,5–4 м от оси насадки.

Для среднекапельного рассекателя увеличение интенсивности в радиальном направлении также наблюдалось, однако максимум формировался ближе к оси насадки — примерно в районе 3–3,5 м, после чего происходило интенсивное снижение показателей.

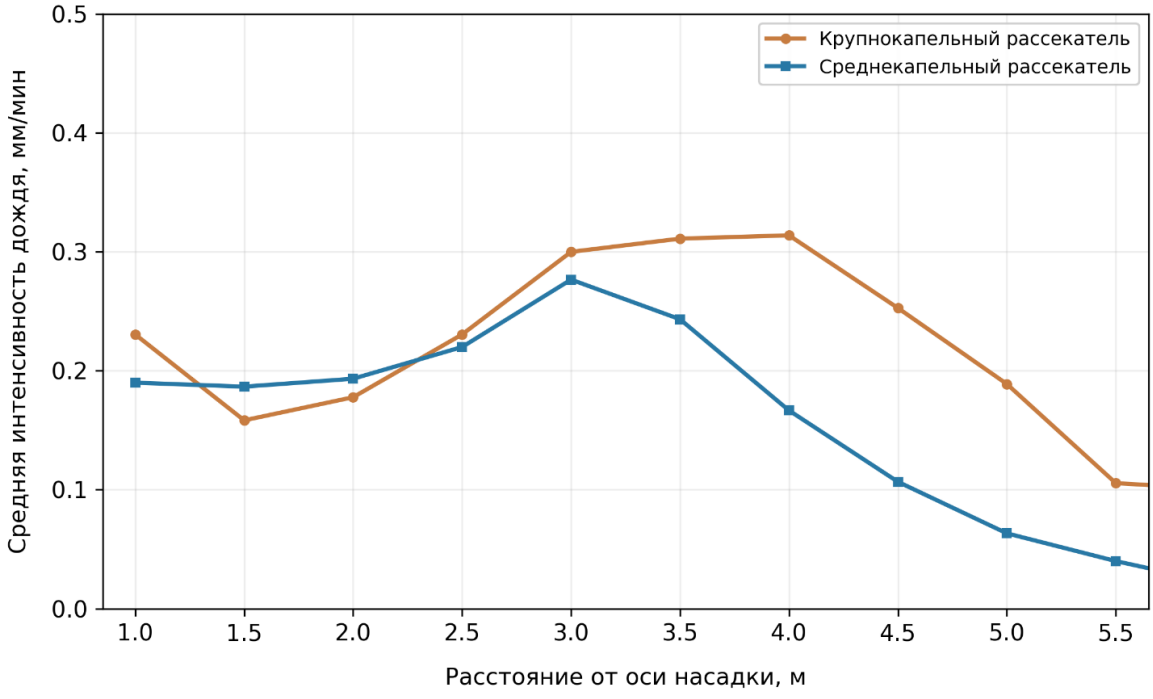


Рисунок 4. Влияние конструкции рассекателя на радиальное распределение интенсивности дождя при диаметре сопла 4 мм

Таким образом, при использовании сопла диаметром 4 мм изменение конструкции рассекателя приводило не только к изменению абсолютных

значений интенсивности, но и к смещению зоны максимального выпадения воды по радиусу.

Для обоих исследуемых рассекателей при использовании сопла диаметром 5 мм наблюдалось формирование выраженной периферийной зоны повышенной интенсивности. Максимальные значения интенсивности располагались в диапазоне 3,5–4 м от оси насадки (рисунок 5).

При этом крупнокапельный рассекатель обеспечивал несколько более высокие значения интенсивности в области максимума и более протяженное распределение воды в периферийной части факела. Для среднекапельного рассекателя максимум был выражен слабее и располагался несколько ближе к оси насадки.

Полученные результаты показывают, что увеличение размера сопла сопровождается изменением не только величины интенсивности дождя, но и пространственного положения зоны максимального выпадения воды.

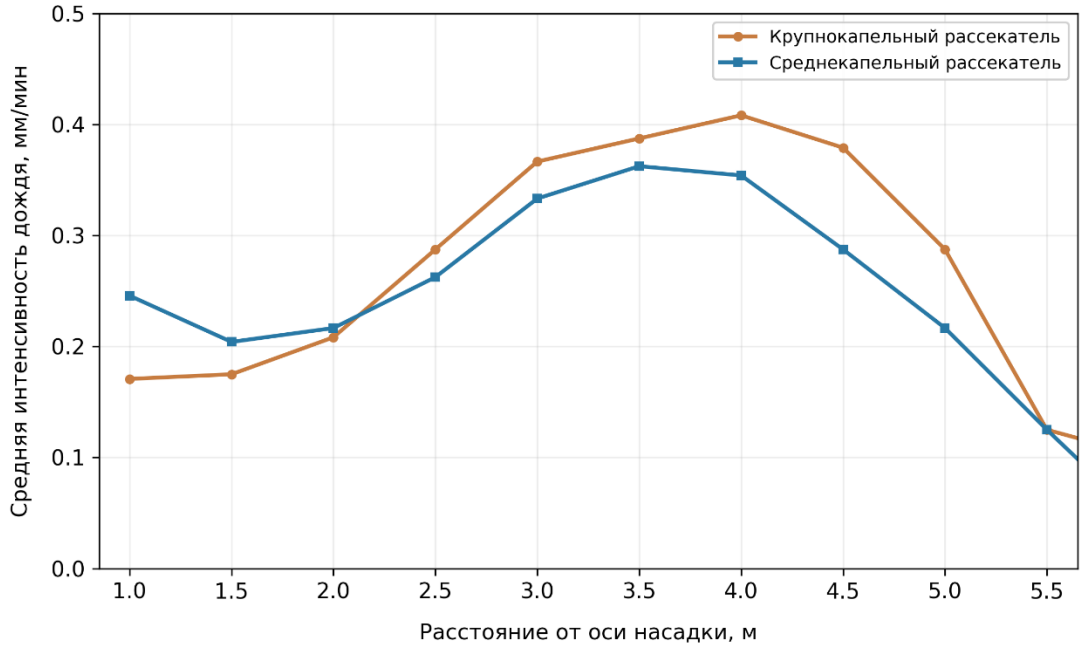


Рисунок 5. Влияние конструкции рассекателя на радиальное распределение интенсивности дождя при диаметре сопла 5 мм

Результаты испытаний показали, что радиальное распределение интенсивности дождя определяется сочетанием конструкции рассекателя и

диаметра сопла (таблица 2). Сопоставление средних значений по трем измерительным лучам позволило установить различия в величине и положении максимума интенсивности, а также в характере изменения показателя по мере удаления от оси насадки [8].

Таблица 2. Результаты исследований радиального распределения интенсивности дождя

Диаметр сопла, мм	Рассекатель	Максимальная интенсивность дождя, мм/мин	Радиальное положение максимума интенсивности, м
3	Крупнокапельный	0,295	1,5
3	Среднекапельный	0,346	1,5
4	Крупнокапельный	0,314	4,0
4	Среднекапельный	0,277	3,0
5	Крупнокапельный	0,408	4,0
5	Среднекапельный	0,362	3,5

При диаметре сопла 3 мм максимум средней интенсивности для крупнокапельного рассекателя составил 0,295 мм/мин, для среднекапельного — 0,346 мм/мин. В обоих случаях он располагался на расстоянии 1,5 м от оси насадки. При дальнейшем удалении интенсивность снижалась, причем для крупнокапельного рассекателя на части периферийного участка сохранялись более высокие значения.

При диаметре сопла 4 мм максимальная интенсивность для крупнокапельного рассекателя достигала 0,314 мм/мин на расстоянии 4,0 м, для среднекапельного — 0,277 мм/мин на расстоянии 3,0 м. При диаметре 5 мм соответствующие значения составили 0,408 мм/мин на расстоянии 4,0 м и 0,362 мм/мин на расстоянии 3,5 м. Следовательно, при диаметрах 4 и 5 мм зона наибольшего выпадения воды у крупнокапельного рассекателя находилась дальше от оси насадки.

Установлено, что при увеличении диаметра сопла от 3 до 5 мм положение максимума смещалось с 1,5 до 4,0 м для крупнокапельного и с 1,5 до 3,5 м для среднекапельного рассекателя. При этом изменение геометрии рассекателя отражалось как на величине максимальной интенсивности, так и на форме радиального профиля.

Полученные экспериментальные данные позволяют считать поставленную цель достигнутой: определено влияние сочетания конструкции рассекателя и диаметра сопла на радиальное распределение интенсивности дождя при давлении 1,4 МПа. Вместе с тем максимальная интенсивность не характеризует равномерность полива по площади, поэтому выбор предпочтительной конструкции для практического применения требует отдельной оценки площадного распределения воды [9].

Выводы. Экспериментальные исследования подтвердили влияние конструкции рассекателя и диаметра сопла на радиальное распределение интенсивности дождя. Для исследованных сочетаний параметров установлены различия в величине максимальной средней интенсивности и характере снижения интенсивности в периферийной части факела.

При диаметре сопла 3 мм максимальная средняя интенсивность составила 0,295 мм/мин для крупнокапельного рассекателя и 0,346 мм/мин для среднекапельного; в обоих случаях максимум наблюдался на расстоянии 1,5 м от оси насадки. При диаметрах 4 и 5 мм более высокие максимальные значения отмечены для крупнокапельного рассекателя — соответственно 0,314 и 0,408 мм/мин против 0,277 и 0,362 мм/мин для среднекапельного. Это показывает, что соотношение показателей двух конструкций зависит от диаметра сопла.

С увеличением диаметра сопла с 3 до 5 мм положение максимума средней интенсивности смещалось от 1,5 до 4,0 м для крупнокапельного рассекателя и от 1,5 до 3,5 м для среднекапельного. Полученные закономерности позволяют учитывать совместное влияние исследованных параметров при

совершенствовании дождевальных насадок для широкозахватных дождевальных машин [10].

Список источников

1. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические орошения: справочник / Г.В. Ольгаренко [и др.]; под ред. Г.В. Ольгаренко. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. - 264 с.

2. Снипич, Ю. Ф. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств орошения дождеванием: специальность 06.01.02 "Мелиорация, рекультивация и охрана земель": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Снипич Юрий Фёдорович. – Новочеркасск, 2011. – 340 с. – EDN SUNZCV.

3. Рыжко Н.Ф. Совершенствование дождеобразующих устройств для многоопорных дождевальных машин /Саратов: ФГОУ Саратовский ГАУ, 2009.

4. Ломакин, М. А. Современные насадки зарубежной дождевальной техники / М. А. Ломакин, О. В. Карпова // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Саратов, 17–19 марта 2020 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2020. – С. 53-57. – EDN MNAOEY.

5. Мищенко, Н. А. Сравнительный анализ технологий дождевальных насадок ведущих зарубежных производителей / Н. А. Мищенко, В. С. Травкин, Д. А. Лебедев // International Agricultural Journal. – 2026. – Т. 69, № 2. – С. 32-48. – DOI 10.55186/25880209_2026_10_2_10. – EDN GAONAP.

6. Оценка угла наклона дефлекторной насадки секторного действия на интенсивность дождя / В. С. Травкин, А. И. Рязанцев, Е. Ю. Евсеев, Д. А. Лебедев // Мелиорация и водное хозяйство – основа продовольственной и экологической безопасности : материалы Юбилейной международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию образования ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова, Москва, 09–11 октября 2024 года. –

Москва: ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2024. – С. 79-83. – DOI 10.37738/VNIIGIM.2024.53.30.013. – EDN QMEXAZ.

7. Радиус полива дождевальных насадок роторного типа / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, Е. С. Смирнов [и др.] // Основы рационального природопользования: Материалы X Национальной конференции с международным участием, Саратов, 15 ноября 2024 года. – Саратов: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова", 2024. – С. 52-58. – EDN IQYBEW.

8. Слабунов В. В., Слабунова А. В., Куприянов А. А. Исследования характеристик дефлекторных насадок кругового типа // Мелиорация и водное хозяйство. – 2020. – № 4. – С. 29–34. – DOI: 10.32962/0235-2524-2020-4-29-34.

9. Рязанцев, А. И. Технологические особенности полива дождеванием овощных культур / А. И. Рязанцев, А. В. Агейкин, Д. А. Лебедев // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных агротехнологий: Материалы Международной научно-практической конференции, Рязань, 22–23 марта 2018 года / Министерство сельского хозяйства РФ, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2018. – С. 341-345. – EDN XQMRDF.

10. Соловьев, Д.А. Совершенствование устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» / Д.А. Соловьев, О.В. Карпова, Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко // Аграрный научный журнал. - 2016. - № 3. - С. 65-68.

References

1. Olgarenko G.V. (ed.) et al. Resursosberegayushchie energoeffektivnye ekologicheski bezopasnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva orosheniya [Resource-saving, energy-efficient and environmentally safe irrigation technologies and equipment: A handbook]. Moscow: FGBNU Rosinformagrotekh, 2015. 264 p. (In Russian).

2. Snipich Yu.F. Intensifikatsiya tekhnologii i sovershenstvovanie tekhnicheskikh sredstv orosheniya dozhdevaniem [Intensification of sprinkler irrigation technologies and improvement of irrigation equipment]. Doctoral dissertation in Technical Sciences, specialty 06.01.02, Land Reclamation, Recultivation and Land Protection. Novocherkassk, 2011. 340 p. EDN SUNZCV. (In Russian).

3. Ryzhko N.F. Sovershenstvovanie dozhdeobrazuyushchikh ustroistv dlya mnogoopornykh dozhdevalnykh mashin [Improvement of sprinkler devices for multi-span irrigation machines]. Saratov: Saratov State Agrarian University, 2009. (In Russian).

4. Lomakin M.A., Karpova O.V. Sovremennye nasadki zarubezhnoi dozhdevalnoi tekhniki [Modern sprinkler nozzles used in foreign irrigation equipment]. Innovatsii v prirodoobustroistve i zashchite v chrezvychainykh situatsiyakh [Innovations in Environmental Engineering and Emergency Protection: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference]. Saratov, March 17–19, 2020. Saratov: Amirit, 2020. pp. 53–57. EDN MNAOEY. (In Russian).

5. Mishchenko N.A., Travkin V.S., Lebedev D.A. Sravnitelnyi analiz tekhnologii dozhdevalnykh nasadok vedushchikh zarubezhnykh proizvoditelei [Comparative analysis of sprinkler nozzle technologies developed by leading foreign manufacturers]. International Agricultural Journal. 2026. Vol. 69, No. 2. pp. 32–48. DOI: 10.55186/25880209_2026_10_2_10. EDN GAONAP. (In Russian).

6. Travkin V.S., Ryazantsev A.I., Evseev E.Yu., Lebedev D.A. Otsenka ugla naklona deflektornoi nasadki sektornogo deistviya na intensivnost dozhdya [Assessment of the influence of the inclination angle of a sector-type deflector nozzle on rainfall intensity]. Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo – osnova prodovolstvennoi i ekologicheskoi bezopasnosti [Land Reclamation and Water Management as the Basis of Food and Environmental Security: Proceedings of the Jubilee International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 100th Anniversary of the Kostyakov Research Institute]. Moscow, October 9–11, 2024. Moscow: Federal Scientific Center VNIIGiM named after A.N. Kostyakov, 2024.

pp. 79–83. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.53.30.013. EDN QMEXAZ. (In Russian).

7. Ryzhko N.F., Ryzhko S.N., Smirnov E.S. et al. Radius poliva dozhdevalnykh nasadok rotornogo tipa [Irrigation radius of rotary sprinkler nozzles]. Osnovy ratsionalnogo prirodopolzovaniya [Fundamentals of Rational Environmental Management: Proceedings of the X National Conference with International Participation]. Saratov, November 15, 2024. Saratov: Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, 2024. pp. 52–58. EDN IQYBEW. (In Russian).

8. Slabunov V.V., Slabunova A.V., Kupriyanov A.A. Issledovaniya kharakteristik deflektornykh nasadok krugovogo tipa [Investigation of the characteristics of circular-type deflector nozzles]. Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo [Land Reclamation and Water Management]. 2020. No. 4. pp. 29–34. DOI: 10.32962/0235-2524-2020-4-29-34. (In Russian).

9. Ryazantsev A.I., Ageikin A.V., Lebedev D.A. Tekhnologicheskie osobennosti poliva dozhdevaniem ovoshchnykh kultur [Technological features of sprinkler irrigation of vegetable crops]. Ekologicheskoe sostoyanie prirodnoi sredy i nauchno-prakticheskie aspekty sovremennykh agrotekhnologii [Environmental Conditions and Scientific and Practical Aspects of Modern Agricultural Technologies: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Ryazan, March 22–23, 2018. Part II. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 2018. pp. 341–345. EDN XQMRDF. (In Russian).

10. Soloviev D.A., Karpova O.V., Ryzhko N.F., Ryzhko S.N. Sovershenstvovanie ustroistv pripoverkhnostnogo dozhdevaniya dlya DM «Fregat» [Improvement of near-surface sprinkler irrigation devices for Fregat irrigation machines]. Agrarnyi nauchnyi zhurnal [Agrarian Scientific Journal]. 2016. No. 3. pp. 65–68. (In Russian).

© Мищенко Н.А., Травкин В.С., Лебедев Д.А., Травкина А.Р. 2026. International agricultural journal, 2026, № 5, 173-189.