

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Саратовский государственный аграрный
университет им. Н.И.Вавилова»**

На правах рукописи

Акпасов Антон Павлович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЖДЕОБРАЗОВАНИЯ С
ОБОСНОВАНИЕМ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ДЕФЛЕКТОРНЫХ НАСАДОК КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ**

Специальность 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Русинов А.В.

Саратов – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
1.1. Проблемы механизации полива.....	9
1.2. Влияние параметров дождеобразующих устройств на качество дождя.....	14
1.3. Анализ мероприятий, направленных на увеличение качества дождя дефлекторными насадками на ДМ «Фрегат».....	21
1.4. Выводы.....	37
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЖДЕВОГО ОБЛАКА ДЕФЛЕКТОРНЫМИ НАСАДКАМИ.....	39
2.1. Исследование влияния конструктивных параметров на истечение жидкости из сопла.....	39
2.2. Исследование процесса дробления жидкости на рассекателе дефлектора, образующего конус.....	43
2.3. Гидродинамика процессов на рассекателе дефлектора, образующего конус.....	54
2.4. Выводы.....	65
3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	67
3.1. Программа исследований.....	67
3.2. Методика проведения лабораторных исследований.....	70
3.2.1. Методика исследований крупности капель дождя при поливе дефлекторной насадкой.....	76
3.2.2. Методика обработки экспериментальных данных.....	81
3.3. Методика проведения полевых испытаний.....	82
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	89
4.1. Влияние формы и геометрических размеров сопла	

дефлекторной насадки на качество дождя.....	89
4.2. Влияние формы и геометрических размеров конуса дефлектора на качество дождя.....	94
4.3. Влияние геометрических параметров и расположения канавки на равномерность полива.....	99
4.4. Влияние геометрических параметров и расположения канавки на размер капель при поливе.....	108
4.5. Выводы.....	120
5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕФЛЕКТОРНЫХ НАСАДОК НА ДМ «ФРЕГАТ.....	122
5.1. Энергетическая оценка эффективности применения исследуемых дефлекторных насадок.....	122
5.2. Годовой экономический эффект от использования дефлекторных экспериментальных насадок на ДМ «Фрегат.....	123
5.3. Выводы.....	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	128
РЕКОМЕНДАЦИИ.....	130
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ.....	130
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	131
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	142

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Реформирование в агропромышленном комплексе страны привело к сокращению орошаемых площадей, ухудшилось состояние и плодородие почв, что привело к снижению урожая сельскохозяйственных культур. Однако стабильно получать урожай возможно только за счет применения полива.

В связи с этим, была принята ФЦП №922 «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014 – 2020 годы», которая дала толчок к восстановлению орошаемых земель в Саратовском Заволжье. За последние три года была проведена реконструкция орошаемых земель на площади 27,9 тыс. га, сельхозтоваропроизводителями приобретено 135 новых дождевальных машин и установок, восстановлено более 200 единиц дождевальных машин Фрегат, которых в области насчитывается более 1700 единиц.

Несмотря на значительные преимущества ДМ «Фрегат» перед другими дождевальными машинами, она не в полной мере соответствует современным агротехническим требованиям сельскохозяйственного производства. Среднеструйные дождевальные аппараты, которыми изначально комплектуется машина, имеют плохую равномерность полива и формируют дождь с крупными каплями, которые негативно воздействуют на растения и почву. С целью устранения данных недостатков, дождевальные машины стали комплектоваться дефлекторными насадками секторного и кругового действия. В насадках основными элементами оказывающими влияние на качество дождя, являются сопло и дефлектор (рассекатель), которые влияют на характер схода потока жидкости с рассекателя насадки, крупность капель, их траекторию и скорость движения, равномерность распределения интенсивности дождя.

В связи с этим, совершенствование конструкции дефлекторных насадок для улучшения агротехнических показателей полива на ДМ «Фрегат» является своевременной и научно-производственной задачей.

Степень разработанности темы. Представленные в диссертации исследования конструктивных параметров, влияющих на качество дождя, являются продолжением разработок Абрамова А.М., Гаджиева Г.М., Москвичева Ю.А. и Рыжко Н.Ф., где было установлено, что качество дождя ощутимо влияет на деструкцию поверхностного слоя почвы, развитие и рост растения и, как следствие, урожай сельскохозяйственных культур. Несмотря на достигнутые результаты, вопросы по совершенствованию конструкции дождеобразующих устройств остаются. Процесс дождеобразования рассматривался как средство достижения цели – нарушения целостности потока без учета динамики течения жидкости и процесса каплеобразования на прерывистой поверхности. Исследования в данном направлении позволили разработать усовершенствованную конструкцию дефлекторной насадки кругового действия с рациональными конструктивными параметрами, на которую получен патент на изобретение.

Цель исследования – повышение качества дождя за счет совершенствования процесса дождеобразования дефлекторными насадками кругового действия.

Задачи исследования.

1. Оценить состояние и технические средства дождеобразования, определить направление развития конструкций дефлекторных насадок кругового действия на ДМ «Фрегат».
2. Провести исследования влияния конструктивных особенностей дефлекторных насадок на качество дождя.
3. Обосновать рациональные конструктивные параметры дефлекторной насадки с кольцевой канавкой на конусе рассекателя, повышающие равномерность полива и снижающие крупность капель.
4. Провести экспериментальные исследования по оценке влияния кольцевой канавки на конусе рассекателя дефлекторной насадки на равномерность полива и крупность капель дождя.

5. Определить эффективность использования экспериментальной насадки на ДМ «Фрегат» на посевах капусты белокочанной.

Научная новизна работы заключается:

✓ в усовершенствовании конструкции дождевальной дефлекторной насадки с конусом рассекателя, имеющего кольцевую канавку и обеспечивающий повышение качества полива;

✓ в уточнении закономерностей движения жидкости и каплеобразования на поверхности конуса рассекателя дефлекторной насадки, имеющей кольцевую канавку;

✓ в теоретическом определении и экспериментальном подтверждении закономерности влияния кольцевой канавки на поверхности конуса рассекателя на крупность капель дождя и его равномерность по площади орошения.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании закономерностей влияния конструктивных параметров дефлекторной насадки с кольцевой канавкой на рассекателе на образование оптимальной крупности капель и равномерного распределения интенсивности дождя по всей площади орошения.

Разработана и обоснована новая конструкция дефлекторной насадки с концентрической канавкой на конусе рассекателя, обеспечивающей качественное дробление струи на капли и равномерный полив по всей площади орошения ДМ «Фрегат».

На основании теоретических исследований были получены аналитические зависимости, описывающие движение потока воды на рассекателе дефлекторной насадки, и влияние конструктивных параметров насадки на равномерность полива.

Практическая значимость работы заключается в разработке конструкции дефлекторной насадки, обеспечивающей создание дождя с оптимальной крупностью капель и высокой равномерностью полива, что подтверждается результатами внедрения дефлекторных насадок кругового действия с

кольцевой канавкой на ДМ «Фрегат» и новые опытные образцы дождевальных машин «Волга – СМ» и «Волга – ФК», что обеспечивает: увеличение равномерности полива на 20 – 35%, увеличение урожая сельскохозяйственных культур до 8 %.

Методология и методы исследований. В основу работы положены теоретические методы исследования – описание известных законов классической механики, их технологический процессов, математическое моделирование. Лабораторные и полевые исследования проводились на основе СТО АИСТ 11.1 -2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей» и РД 70.11.1–89 «Машины и установки дождевальные. Программа и методика испытаний включали в себя изучение энергетических и агротехнических свойств полива ДМ «Фрегат».

Научные положения, выносимые на защиту:

- особенности движения жидкости поконусной поверхности рассекателя, имеющего кольцевую канавку и каплеобразование дефлекторной насадки кругового действия;
- конструктивно-технологические параметры дефлекторной насадки кругового действия;
- влияние положения, формы и размера кольцевой канавки на конусе рассекателя дефлекторной насадки на равномерность полива и диаметр капель дождя.

Степень достоверности и апробация работы. Основные положения диссертационной работы были рассмотрены на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского и аспирантского состава ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» (Саратов, 2014 – 2016); на VIII-й Международной (XII-й Всероссийской) научной конференции молодых учёных и специалистов «Инновационные технологии и экологическая безопасность в

мелиорации»(Москва, 2015); научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов СГАУ (Саратов, 2016); Международной научно-технической конференции (Тюмень, 2017); Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию образованию Волжского НИИ гидротехники и мелиорации «Проблемы и перспективы развития мелиорации в современных условиях» (Энгельс, 2017).

Публикации. По данным работы опубликовано 12 работ, в т.ч. 3 работы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 1 патент на изобретение. Общий объем публикаций составляет 3,25 печ. л, в т.ч. лично автору принадлежит 1,55 печ. л.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения и рекомендаций. Изложена на 153 страницах, включает 16 таблиц, 40 рисунков и 3 приложения. Список использованной литературы состоит из 100 наименований, в том числе 8 иностранных.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Проблемы механизированного полива

В середине XX века одним из важнейших направлений в народном хозяйстве являлось развитие мелиорации на территории нашей большой страны. В Саратовской области были начаты масштабные работы по увеличению орошаемых земель, и к концу 80-ых годов площадь их составляла более 500 тыс. га. Большая часть орошаемых земель приходилась на Заволжье, которое относится к зоне рискованного земледелия. После 90-х годов клин орошаемых земель сократился почти вдвое (257 тыс. га), сельхозпроизводители левобережья Волги столкнулись с большой проблемой недобора или потери урожая из-за засухи [2, 32, 121].

Важное место в орошении занимает полив, основным способом которого является дождевание, но на данный момент в области отечественного мелиоративного машиностроения мы располагаем теми же образцами дождевальной техники, которые были разработаны и выпускались промышленностью в конце 20-ого века. В течение определенного промежутка времени научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по восстановлению уцелевших ДМ позволили в какой-то мере сохранить имеющийся парк машин, однако теперь это направление себя исчерпало ввиду морального и материального износа техники.

Дождевальные машины «Фрегат» имеют ряд значительных преимуществ перед другими типами машин. Это возможность проводить круглосуточный полив в автоматическом режиме; низкие трудовые затраты на полив при обслуживании операторами 3-4 машин; простота конструкции и относительная ее дешевизна по сравнению с зарубежными машинами. Но полнокомплектное производство новых машин ДМ «Фрегат» в РФ отсутствует в результате

сложности и отсутствия производства тонкостенных, оцинкованных труб. В тоже время производство запасных частей к машинам налажено на ряде предприятий РФ (Маркс – ООО «Волгодизельаппарат», ООО «АгроТехСервис», Ставрополь, Казань, Омск и др.)[55, 103].

Производительность дождевальных машин при их групповой эксплуатации в основном определяется возможностью сокращения простоя в ожидании ремонта, технического обслуживания и пуска. Исследования показали, что коэффициент использования дождевальных машин в течение суток невысокий ($K_{сут} = 0,3...0,5$), это обуславливает значительный простой в ночное время, а также в ожидании ремонта, так как оператор не знает фактического состояния машины – на машине не предусмотрена система контроля за ее техническим состоянием.

Качественные показатели существующих ДМ «Фрегат» не в полной мере удовлетворяют современным требованиям сельскохозяйственного производства, так как имеют недостаточно равномерный полив при ветре, а значительное энергетическое воздействие дождя и его интенсивность не позволяет выдавать оптимальные поливные нормы без стока и эрозии[9, 21, 95].

Тем не менее, отечественные дождевальные машины не уступают импортным, а в чем-то даже опережают. Особое внимание необходимо уделить ферменным конструкциям как отечественных, так и зарубежных дождевальных машин, которые очень хорошо зарекомендовали себя на огромных орошаемых площадях множества стран планеты[103, 116]. Ферменная конструкция пролетов позволяет:

- осуществлять полив при уклонах до 15% без потери жесткости конструкции;
- уменьшить колебания ДМ за счет пневматических колес;
- получить возможность полива высокостебельных культур без повреждения растений элементами конструкции ДМ;

- поливать большие площади сельскохозяйственных угодий за счет длины пролетов (до 70 м).

Необходимо отметить, что конструкция дождевальных машин достигла своего совершенства, тогда как конструкция дождевателей еще требует модернизации и новых конструктивных решений.

Несовершенство конструктивных параметров дождеобразующих устройств дождевальных машин и режимов орошения 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 [15, 34].

Среднеструйные дождевальные аппараты с коромысловым приводом горизонтального колебания (рис. 1.1), которыми изначально комплектовались серийные дождевальные машины «Фрегат», имели ряд достоинств: большой радиус полива (от 10 до 25 м), высокие равномерность полива и значение коэффициента расхода ($\mu = 0,87 - 0,97$). А при штиле на хорошо отрегулированной машине на расход воды коэффициент эффективного полива составляет 0,75 – 0,87. Основной причиной, из-за которой начался отказ от СДА, являлась формирование дождя большой крупности капель (от 0,8 до 3,5 мм). При поливе среднеструйными аппаратами дождь оказывает энергетическое влияние на сельскохозяйственные культуры и почву, образовывался большой сток. В настоящее время изготовление СДА прекращено [94].



Рисунок 1.1 - Среднеструйные дождевальные аппараты ДМ «Фрегат»

За последние 20 лет широкое применение нашли дефлекторные насадки кругового действия за счет возможности работы при низком давлении воды (0,5 – 1,5 атм.), получения мелкодисперсного дождя и небольшой стоимости.

Крупность капель дождя у дефлекторных насадок составляет 0,67...0,87 мм, что в 2 раза меньше чем у СДА, а скорость падения капель изменяется в пределах 3...6 м/с, у СДА – 6...12 м/с. Действительная мощность дождя дефлекторных насадок также меньше, изменяя свое значение в пределах 0,011...0,070 Вт/м², а у среднеструйных аппаратов с большим средним диаметром капель и скорости падения - 0,186...0,573 Вт/м², но не смотря на столь явные преимущества дождевальных насадок средняя мощность дождя у них, больше, и изменяется вдоль трубопровода машины «Фрегат» в пределах 0,05...0,145 Вт/м², тогда как у дождевальных аппаратов этот параметр составляет 0,011...0,095 Вт/м². Вследствие чего, дефлекторная насадка оказывает меньше негативного влияния на рассаду и возникновения водной эрозии почвы [1, 17, 23, 31, 57, 89, 107].

Помимо этого, при поливе дефлекторными насадками кругового действия на ДМ «Фрегат» возникает проблема потери воды при испарении и снос ветром. Так, при скорости ветра 3 м/с, температуре воздуха 30 °С и дефиците упругости пара 60% при падении капли диаметром 0,5 мм с высоты 4 м потери на испарение составляют 10%, а с высоты 12 м – 20%.

При увеличении температуры воздуха до 40 °С и дефиците упругости пара до 70%потери воды на испарение для капли диаметром 0,5 мм, падающей с высоты 4 и 12 м, 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 на10% увеличивает количество испарившейся воды при дождевании.

Испарение и снос ветром существенно влияют на коэффициент эффективного полива при работе ДМ «Фрегат», а интенсивность неравномерно распределена по площади орошения насадки. При учащенной схеме расстановки дождевателей на трубопроводе машины в местах перекрытия наблюдается перелив, а в непосредственной близости от насадки картина обратная.

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.

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 и сопла насадки[6, 43, 114].

1.2. Влияние параметров дождеобразующих устройств на качество дождя

Урожайность сельскохозяйственных культур и плодородие почвы при поливе дождевальными машинами во многом определяется агротехническими характеристиками полива применяемых дождевателей.

Основные требования, которые предъявляются к современным дождевателям [3, 13, 18, 35, 81]:

- обеспечение равномерного полива по всему полю орошаемого участка;
- формирование эрозионно-безопасного дождя с допустимой интенсивностью и крупностью капель для данных почвенно-рельефных условий;
- исключение значительного уплотнения и разрушение верхнего слоя почвы;
- исключение образования стока и распределение осадков по полю, вызывающих эрозионные процессы и инфильтрационные потери;
- обеспечение хорошей проходимости дождевальной машины;
- обеспечение минимальных потерь оросительной воды на испарение и снос ветром, а также повышение ветроустойчивости дождя.

На дождевальных машинах «Фрегат» не нашли применения насадки секторного полива (рис 1.2), разработанные и изготовленные СибНИИГиМом, ЮжНИИГиМ, УкрНИИГиМом и ВНИИ «Радуга». Первоначально их применяли на ДМ «Кубань». При этом, насадки рекомендуется устанавливать по учащенной схеме на расстоянии 2,5 и 3,75 м, что снижает прочность машины [7, 24, 31, 33, 39, 43, 46, 51, 53, 77, 94, 111].

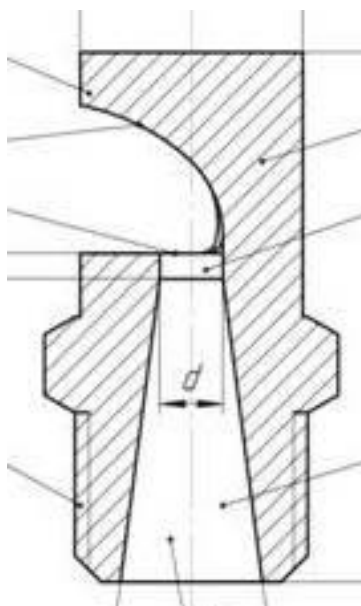


Рисунок 1.2 - Секторная дефлекторная насадка

Известны центробежные насадки (рис1.3), которые широко применялись на дождевальных машинах ДДА – 100М и ДДА – 100МА. На ДМ «Фрегат» широкого применения центробежные насадки не нашли из-за малого радиуса захвата дождя (4 – 6 м) и большой интенсивности дождя [94].

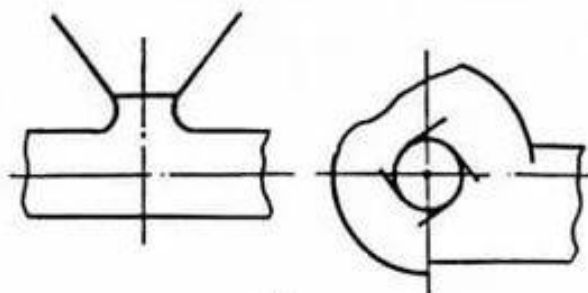


Рисунок 1.3 - Центробежная насадка

Щелевые насадки (рис1.4), разработанные в ВИСХОМ, по конструкции довольно просты, но не надежны, и кроме того отсутствие интенсивного возмущения потока воды приводит к возникновению неорошаемой зоны около насадки и ее засорению[43].

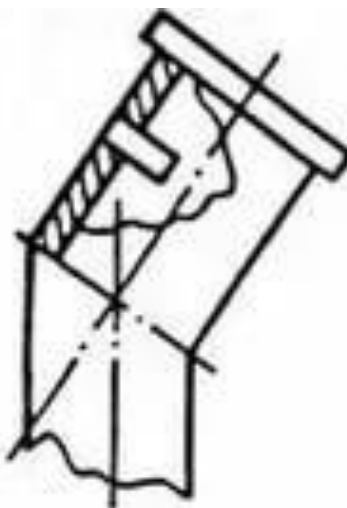


Рисунок 1.4 - Щелевая насадка

Насадки с конусным дефлектором по многим показателям полива при эксплуатации имеют лучшие значения. К их достоинствам можно отнести высокую надежность в работе, так как в конструкции отсутствуют вращающиеся части. Односопловые насадки имеют незначительную вероятность засорения [29, 41].

Дефлекторные насадки (рис. 1.5), разработанные в ВолжНИИГиМе формируют мелкодисперсный дождь с небольшой высотой подъема дождевого облака. Радиус захвата дождя достигает от 6 до 12 м, а круговой полив позволяет проводить дождевание со средней интенсивностью 0,3-0,4 мм/мин, что позволяет считать дефлекторные насадки по данному показателю лучшими, после среднеструйных дождевальных аппаратов [88, 90, 92, 98].

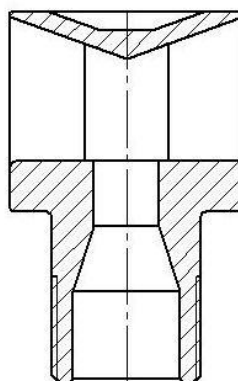


Рисунок 1.5 -Дефлекторная насадка кругового действия разработки

ВолжНИИГиМ

Дефлекторные насадки обеспечивают качественный распыл дождя в большом диапазоне расхода воды (0,1 - 3,8 л/с), а возможность регулирования насадки на требуемый расход воды на стадии изготовления и простота конструкции привели к широкому применению их не только на ДМ «Фрегат».

Однако, несмотря на достоинства, насадка не лишена недостатков, а именно большую неравномерность полива, потери воды на снос и испарение.

Как показали исследования Н. Ф. Рыжко[89], при увеличении скорости ветра до $2,5 \div 3,5$ м/с дальность полета струи дождя снижается до 16 м по ветру и до 8 м против ветра, общая ширина захвата орошаемой площади дождем составляет 24 м. С увеличением скорости ветра от 5,2 до 10 м/с и выше ширина захвата дождем с наветренной стороны увеличивается до 30 м, а с подветренной стороны ширина захвата снижается от 4 до 6 метров. При изменении направления ветра на противоположное отмечается недополив смежных позиций на участке шириной до $10 \div 12$ м.

Исследования по равномерности распределения дождя [38, 76,89, 105,] по площади захвата свидетельствует, что коэффициент эффективного полива равный 0,7 соответствует дождеванию при скорости ветра до 3 м/с. При увеличении скорости ветра более 3 м/с коэффициент эффективного полива снижается, особенно резко при направлении ветра перпендикулярно к оси трубопровода и возрастает до 0,7 при направлении ветра вдоль оси трубопровода.

Интенсивность дождя при колебаниях скорости ветра от 3 до 10 м/с варьирует в пределах от 0,108 до 0,648 мм/мин. Увеличение интенсивности дождя до 0,648 мм/мин отмечено при увеличении ветра до 10 м/с.

При напоре 0,35 МПа, скорости ветра 3,5 м/с и направлении его под углом $30-40^\circ$ к трубопроводу коэффициент эффективного полива площади составляет 0,855. При такой же скорости ветра и направлении его под углом до 50° коэффициент эффективного полива снижается до 0,694, несмотря на увеличение напора воды в трубопроводе. При снижении скорости ветра до 3 м/с

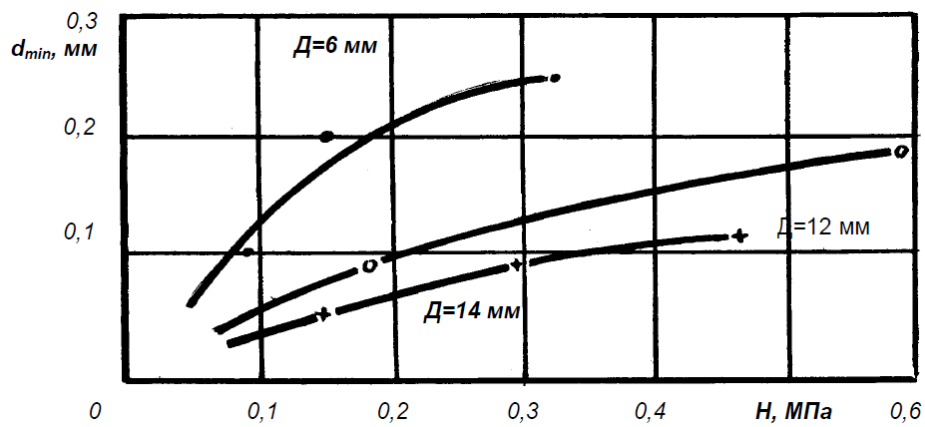
и увеличении напора воды в трубопроводе до 0,5 МПа коэффициент эффективного полива поддерживается в пределах 0,7.

Исследования Г. П. Надежкиной[59] по определению агротехнических показателей дефлекторных насадок кругового действия (таблица 1.1) показал, что при одинаковом напоре и диаметре выходного отверстия сопла средний диаметр капель может варьироваться в очень широком диапазоне 0,1 ÷ 2,14 мм.

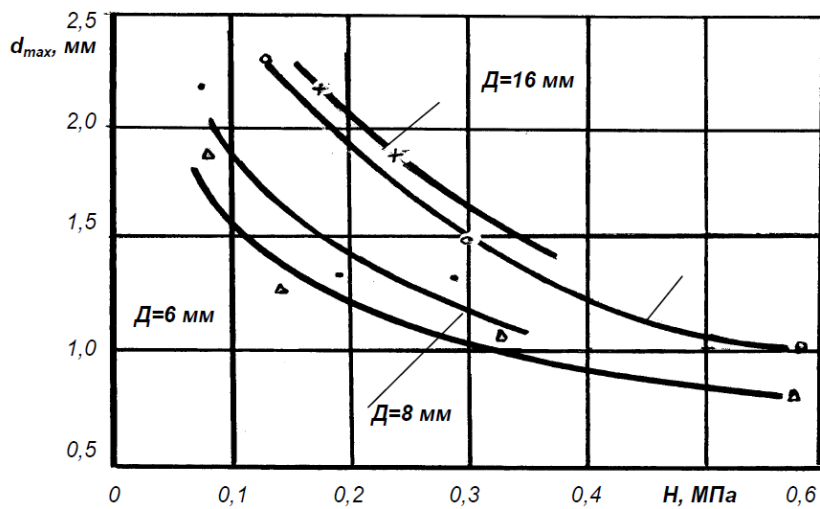
Таблица 1.1 - Средний диаметр капель дождя $d_{cp.}$ вдоль радиуса полива дефлекторной насадкой кругового действия в зависимости от диаметра сопла D и напора H

D, мм	H, МПа	R_i/R	$d_{cp.}$, мм	D, мм	H, МПа	R_i/R	$d_{cp.}$, мм	D, мм	H, МПа	R_i/R	$d_{cp.}$, мм
6	0,08	0,180	0,130	8	0,195	0,10	0,20	12	0,280	0,823	1,560
6	0,08	0,440	0,450	8	0,195	0,476	0,360	12	0,580	0,118	0,230
6	0,08	0,890	1,720	8	0,195	0,761	1,150	12	0,580	0,823	0,90
6	0,14	0,180	0,150	8	0,285	0,367	0,340	14	0,15	0,410	0,480
6	0,14	0,450	0,440	8	0,285	0,880	1,280	14	0,15	0,823	1,640
6	0,14	0,810	1,20	10	0,180	0,40	0,420	14	0,30	0,105	0,150
6	0,326	0,50	0,340	10	0,180	0,80	1,890	14	0,30	0,470	0,30
6	0,326	0,830	1,10	12	0,130	0,130	0,120	14	0,30	0,840	1,380
8	0,075	0,450	0,690	12	0,130	0,530	0,510	16	0,160	0,392	1,860
8	0,075	0,830	1,40	12	0,130	0,933	2,140	16	0,016	0,784	1,630
-	-	-	-	12	0,280	0,470	0,420	16	0,245	0,740	

А представленные на рисунке 1.6 графики, где указаны зависимости минимальных и максимальных размеров капель от изменения напора, доказывают, что дождь создаваемый дефлекторными насадками кругового действия не однороден.



а)



б)

Рисунок 1.6 - Минимальный (а) и максимальный (б) диаметр капель дождя дефлекторных насадок

На сегодняшний день зарубежные дождевальные машины («Valley», «Lindsay» и др.), которые нашли широкое применение на полях Саратовского Заволжья, комплектуются дождевальными дефлекторными насадками производства фирмы «Senninger» (рис. 1.7) [117, 129].



Рисунок 1.7 - Дождевальные насадки SenningerUP3

Дождевальные насадки фирмы «Senninger» обладают значительными энергетическими затратами ввиду повышенного дробления потока уже в центре с переходом на периферию дефлектора потоки воды имеют сильную турбулентность предшествующую формированию потоков обеспечивающих равномерность по площади полива. Чрезмерная турбулизация потока ограничивает диаметр полива и увеличивает разность между мелкими и крупными каплями дождя, что естественно приводит к неравномерности по площади и радиусу полива. Недостатком является высокая интенсивность, низкая равномерность полива и надежность в работе [73, 134].

Следовательно, требуется разработка новых конструкций и технологических приемов подачи воды к растениям с меньшими потерями на испарение и снос, с минимальным воздействием на почву и растения.

Одним из основных направлений развития дождеобразующих устройств является совершенствование существующих и разработка новых конструкций дефлекторных насадок при этом процесс истечения и дробления струй жидкости на капли заслуживает особого внимания.

1.3 Анализ мероприятий, направленных на увеличение качества дождя дефлекторными насадками на ДМ «Фрегат»

На сегодняшний день самыми распространенными дождеобразующими устройствами, применяемыми на отечественных и зарубежных широкозахватных дождевальных машинах, являются дефлекторные насадки разных видов. В Саратовской области при поливе с помощью ДМ «Фрегат» в основном используются дефлекторные насадки кругового и секторного действия. Дефлекторные насадки кругового действия относительно расположения дефлектора могут быть верхнего и нижнего расположения [12, 14, 18, 94].

Дефлекторные насадки верхнего расположения в основном устанавливаются непосредственно на водопроводящем трубопроводе машины, а поток воды из сопла воздействует на дефлектор снизу. Дефлекторные насадки нижнего расположения применяются в основном в устройствах приповерхностного дождевания (УПД) на небольшой высоте, и поток воды из сопла воздействует на дефлектор сверху [56, 59, 62, 101, 104].

Проведя патентный поиск возможных конструкций дождевальных насадок, при котором ради получения мелкодисперсного дождя применяются дефлекторы на насадках, можно определить, что тенденция совершенствования конструкций дождевальных насадок дефлекторного типа имеет место быть.

Как отмечает ряд ученых Гаджиев Г. М. [21], Нуриддинов, Т. Н. [63], Пикалов Ф. И. [75] и Рыжко Н. Ф. [87, 90], дождеобразующие устройства являются органами формирующими дождь с определенными характеристиками, который, кроме обеспечения определенных условий для роста и развития растений, негативно воздействует на почву и растения.

Так почва характеризуется рядом свойств, и наиболее важные из которых могут быть подвергнуты воздействию со стороны дождя, изменяя плодородие, агротехническое и физико-химическое состояние почвы. При этом изменяется

структура, гранулометрический состав, плотность и пористость почвы [1, 10, 30, 83, 84].

Анализ мероприятий, направленных на увеличении качества дождя дефлекторными насадками показал [14, 29, 31, 33, 43, 89], что их можно классифицировать по воздействию на среду как:

- *динамические*, направленные на изменение силовых и энергетических показателей воздействия на почву и растения за счет снижения диаметра капель дождя, интенсивности дождя и т.д., являющихся основными для теоретических исследований;

- *кинематические*, направленные на совершенствование конструкций по агротехническим показателям, являющиеся основой для совершенствования существующих и разработки новых конструкций дождеобразующих устройств и машин.

Проектирование новых и модернизация существующих дождеобразующих устройств должно быть основано на использовании системы основных показателей качества дождя и их контроля.

С этой целью из гаммы показателей выбраны два основных показателя, обеспечивающие точность определению агротехническим показателям (рис. 1.7) [43, 94, 114].

Конкретные технические решения, позволяющие значительно снизить негативное воздействие дождя на почву и растения, должны удовлетворять технико-экономическим, энергетическим и экологическим требованиям, предъявляемые современной агротехникой.

Анализ мероприятий, направленных на увеличение качества дождя дефлекторной насадкой позволил определить основные направления научных исследований и совершенствования конструкции ДН (дождевальных насадок).

Совершенствование конструкции ДН базировалась на детальном изучении конструкции ДН, наиболее используемые на сегодняшний день [6, 51, 94].



Рисунок 1.8 - Структурная схема мероприятий, направленных на увеличение качества дождя

Как известно, машины определенной марки имеют индивидуальные насадки, при этом не исключена взаимозаменяемость. Как было сказано выше, все короткоструйные ДН можно классифицировать согласно схеме (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 - Классификация короткоструйных дождевальных насадок

Известен насадок дождевального агрегата патент РФ № 2 313 405 С1 опубл. 27.12.2007 г. Бюл. № 36 (рис 1.10), который содержит корпус, дефлектор и сопло [68]. Сопло в корпусе установлено с возможностью осевого перемещения благодаря резьбовому отверстию в стойке корпуса. Сопло имеет центральное отверстие в виде каскада диффузоров с увеличением диаметров в направлении движения потока воды. Корпус снабжен диффузором и фланцем на концевом участке. На поверхности диффузора выполнена группа отверстий. Дефлектор выполнен в виде чаши с криволинейно-вогнутой поверхностью и конусом в центре чаши. Дефлектор установлен на фланце диффузора корпуса с возможностью осевого перемещения. Дефлектор и фланец диффузора взаимно сопряжены упругими элементами. Вершина конуса дефлектора в центре чаши обращена в сторону сопла. Конус дефлектора сопряжен с кольцевой кромкой диффузора сопла, а диффузор корпуса - с криволинейно-вогнутой поверхностью чаши дефлектора.

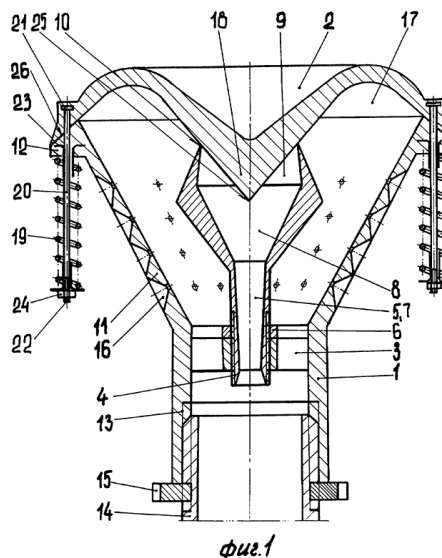


Рисунок 1.10 - Насадок дождевального агрегата.

Известен насадок дождевального агрегата патент РФ № 2 315 472 опубл. 27.01.2008г. Бюл. № 3 (рис. 1.11), на котором сопло соосно закреплено на стойке с центральным отверстием [69]. Сопло в корпусе установлено с возможностью осевого перемещения. Центральное отверстие сопла выполнено в виде трехступенчатого диффузора с сужением отверстия на входе и двухступенчатым расширением отверстия в направлении выхода. Расширяющиеся части диффузора сопла смонтированы в корпусе диффузора. На конической внутренней поверхности диффузора корпуса выполнены вдоль образующей конической поверхности группы отверстий с равным угловым шагом в поперечных плоскостях. Каждое упомянутое отверстие в диффузоре корпуса выполнено с сужением в направлении от внутренней конической поверхности к внешней конической поверхности. Дефлектор своей вершиной обращен в сторону диффузора сопла. Вогнуто-криволинейная чаша дефлектора размещена напротив диффузора корпуса. Дефлектор с диффузором корпуса закреплен с возможностью взаимного сближения посредством резьбовых штифтов.

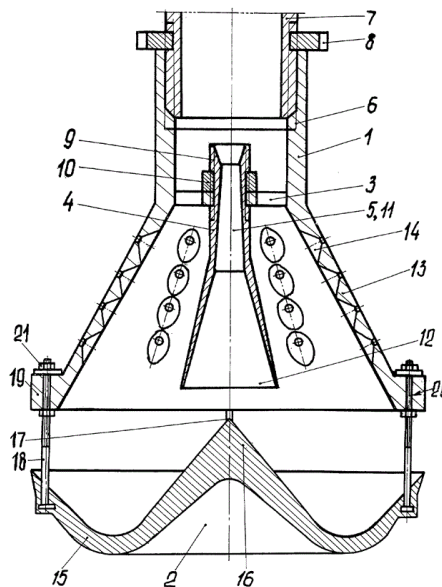


Рисунок 1.11 - Насадок дождевального агрегата с нижним расположением дефлектора.

Так же известен насадок дождевального агрегата патент РФ № 2 173 584 опубл. 20.09.2001 г. Бюл. № 26 (рис. 1.12), который монтируют посредством ниппеля и фасонной гайки на водоподводящий трубопровод двухконсольного дождевального агрегата или перемещаемого трубопровода [70]. Насадок содержит корпус, закрепленный на стойке дефлектор и сопло с центральным отверстием. Дефлектор выполнен в виде обращенной в сторону сопла вогнутой чаши с выпуклостью в ее средней части. Совмещенная с осью симметрии выпуклость имеет сквозное резьбовое отверстие. Полость дефлектора разделена ребрами жесткости на отсеки и поднутрением на внутренней криволинейной поверхности чаши. Поднутрение выполнено между периферийной кольцевой кромкой дефлектора и выпуклостью. Каждый из отсеков по высоте дефлектора имеет переменное сечение. Снабженный возможностью бесступенчатого перемещения дефлектор и сопло соединены посредством стойки. Сопряжение выпуклости с криволинейной поверхностью чаши выполнено по конической поверхности. Выходное отверстие сопла образовано пересечением внутренних поверхностей конусной полости сопла и

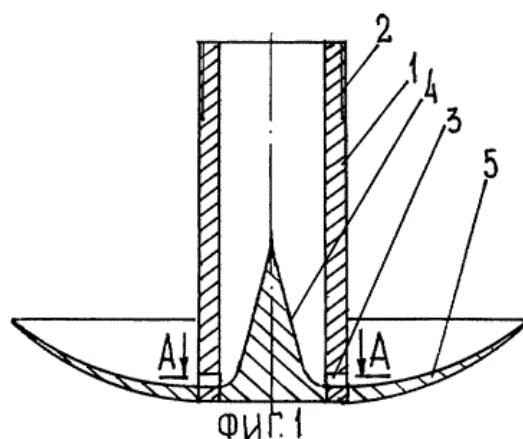
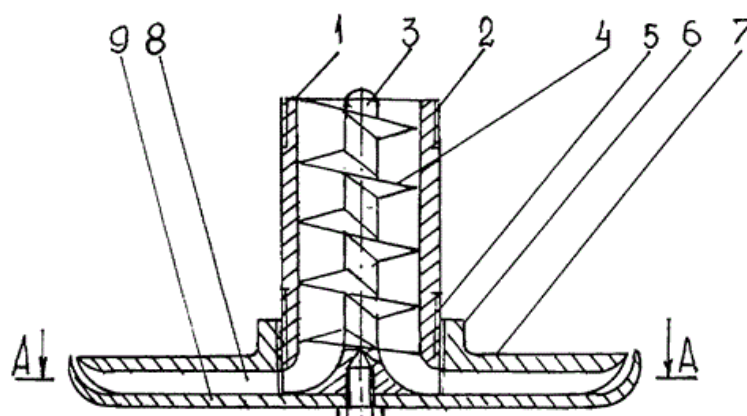


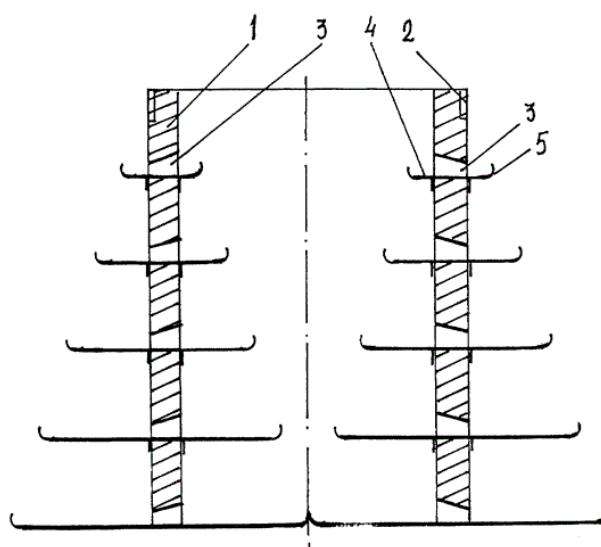
Рисунок 1.13 - Мелкодисперсный дождевальный насадок – активатор.

Известен дождевальный насадок патент РФ № 2 327 530 опубл. 27.06.2008г. Бюл. № 18 (рисунок 1. 14), который содержит корпус, установленный на водоподводящем трубопроводе, с закрепленным на его выходной части дефлектором. Дефлектор выполнен в виде обращенной в сторону водопроводящего трубопровода вогнутой чаши. Днище вогнутой чаши соединено с крышкой с помощью криволинейных лопастей, а крышка имеет резьбовой фланец для соединения с корпусом. Внутри корпуса размещен винтовой направляющий поток, стержень которого в нижней части сопрягается с днищем вогнутой чаши по радиусу, равному внутреннему диаметру корпуса. Винтовой направляющий поток закреплен к днищу вогнутой чаши с помощью болтового соединения. Технический результат заключается в создании мелкодисперсного дождевания и повышении урожайности.



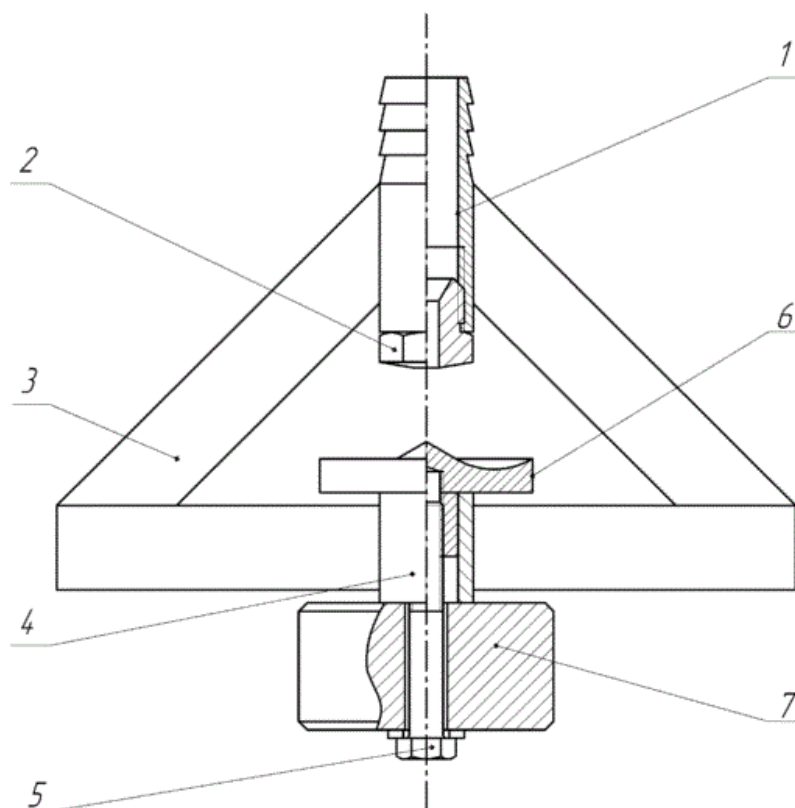
1.14 – Дождевальный насадок

Также известен дождевальный насадок патент РФ № 2 319 553 опубл. 20.03.2018 Бюл. № 8 (рисунок 1.15), который включает монтируемый на водоподводящем трубопроводе корпус и закрепленные к корпусу ступенчатые дефлекторы, при этом дефлекторы выполнены в виде обращенной в сторону корпуса вогнутой чаши. Перед каждым дефлектором по периметру окружности корпуса в корпусе выполнены конфузорные отверстия, направленные вершиной конуса в сторону дефлектора, причем конфузорные отверстия имеют нижнюю горизонтальную образующую. Отверстия размещены на боковой поверхности корпуса по винтовой линии. Ширина дефлекторов больше у выходной части насадка, а закономерность увеличения ширины дефлекторов соответствует конической образующей. Во внутренней полости корпуса установлены делители потока, выполненные в виде обращенной в сторону входного отверстия насадка вогнутых чаш, размещенных ступенчато перед входной кромкой конфузорных отверстий, при этом ширина делителей потока у входного отверстия насадка меньше, а изменение ширины захвата делителей выполнено по конической образующей. Дождевальный насадок обеспечивает возможность подбора оптимальных параметров дождя и высокую надежность его работы.



1.15 – Дождевальный насадок

Известна дождевальная насадка патент РФ № 173 434 опубл. 28.08.2017 г. Бюл. № 25 (рисунок 1.16), разработанная учеными СГАУ им. Н. И. Вавилова, состоящая монтируемый на водопроводящем трубопроводе корпус с водовыпускным отверстием, в нижней части которого с помощью резьбы устанавливаются сменные сопла, регулирующие расход воды. Корпус выполнен заодно с симметрично расположенными напротив друг друга стойками и образует треугольник, в нижней образующей которого установлена втулка. В верхней части втулки при помощи шпильки зафиксирован дефлектор, выполненный в виде обращенной в сторону корпуса вогнутой чаши. В нижней части втулки крепится грузило цилиндрической формы.



1.16 – Дождевальная насадка Саратовского ГАУ им. Н. И. Вавилова

Крупная американская фирма «Senninger» предлагает сельхозпроизводителям целую линию разных модификаций дождевальных насадок UP3, которые отличаются конструктивными параметрами дефлектора и различного статического и динамического действия.

Дождевальная насадка i-Wob UP3(рис. 1.17) нижнего расположения дефлектора, чаще других применяемая на зарубежных ДМ, выполнена из полимерных материалов со сменным носиком (соплом) разных диаметров, содержащая корпус с резьбой для присоединения с выходным отверстием, держатель-кронштейн с дефлектором совершающим качательно-вращательное движение опирающийся на упор, при этом, на криволинейно вогнутой поверхности дефлектора обращенной к выходному отверстию выполнены чередующиеся впадины и выступы [35, 130]. Отражатели данной насадки представлены в 4 видах: 6 канавок со стандартным углом, 9 канавок со стандартным углом, 9 канавок с малым углом, 6 канавок с малым углом.



Рисунок 1.17 -Дождевальная насадка «Senninger»I-WobUP3.

Дождевальная насадка Xi-WobUP3 (рис. 1.18) нижнего расположения дефлектора вращательного действия со сверхнизкой интенсивностью подачи воды выполнена из полимерных материалов [128, 136]. Данная насадка также имеет сменный носик с разными диаметрами выходного отверстия, дефлекторы 3 видов: модель 615 с 6 канавками, с 15 градусной траекторией, формирующая капли большого размера; модель 610 с 6 канавками с 10 градусной траекторией, формирующая капли среднего размера; модель 910 с 9 канавками с 10 градусной траекторией, формирующая капли малого размера. Дождевальная

насадка Xi-Wob UP3 предназначена для больших радиусов орошения, чем i-Wob UP3.



Рисунок 1.18 -Дождевальная насадка «Senninger»i-WobUP3

Помимо дождевальных насадок с качательно - вращательными действием дефлектора, компания «Senninger» предлагает дождевательLDNUP3 (рис. 1.19) с технологией составных фланцев, где при помощи составных фланцев (одиночный, двойной или тройной) дождеватель использует дополнительные канавки для направления воды и регулирования размера капель [135]. Это позволяет распределять большие потоки воды, в то же время обеспечивая мягкий режим орошения. Фланцы-рассекатели LDN имеют вогнутую, плоскую и выпуклую форму с 24 или 33 канавками. Имеются также мини фланцы, фланцы для внесения удобрений с поливной водой,пузырьковые и полукруговые фланцы.



1.19 -Дождеватель LDNUP3

Дождеватель LDNUP3 показанный на рисунке 1.19 имеет канавки, которые направляют струи поливной воды по радиусу полива и работает при значительных расходах воды до 4656 л/час, что говорит о большом радиусе полива дождевателя. Струи, сходящие с канавок, орошают не всю площадь орошения, интенсивность в непосредственной близости от насадки и между струями намного меньше [134].

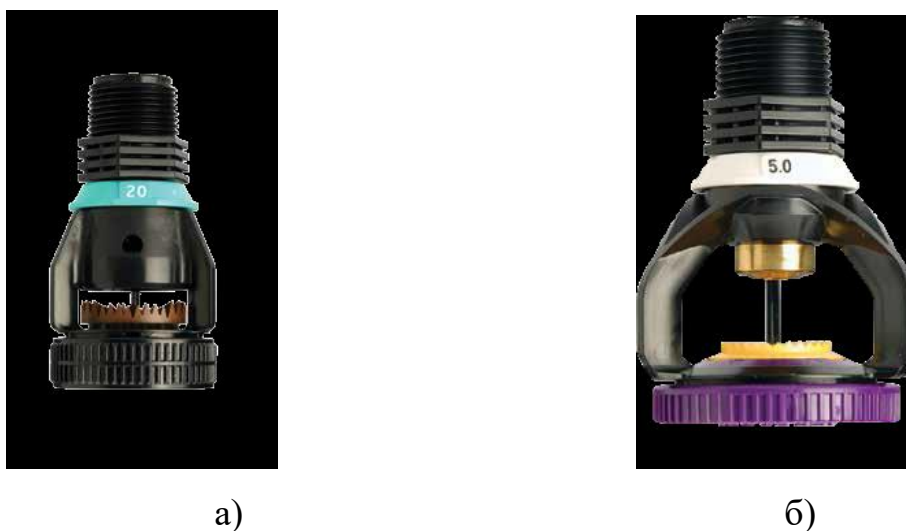
Как отмечалось выше, дождевательные насадки фирмы «Senninger» с динамическим действием дефлекторов при больших значениях давления воды до 1,03 бар за счет излишней турбулизации потока не позволяют получить капли одинакового размера, а наоборот разность диаметров в дождевом облаке очень большая. При больших показателях кинетической энергии струй оросительной воды со стока с дефлектора капли покрывают большой радиус, но интенсивность полива площади в непосредственной близости от насадки очень мала, и траектория движения струи от излишней турбулизации неопределенна, что говорит о недостаточной равномерности полива [16, 21, 49, 57, 73].

Крупнейшая корпорация Nelson Irrigation также предлагает сельхозпроизводителям дождевательные насадки с динамическим действием дефлекторов A3000 ACCELERATOR, R3000 ROTATOR, S3000 SPINNER (рисунок 1.20) как нижнего расположения, так и верхнего расположения.

Помимо вращающихся дефлекторов корпорация предлагает насадки со статическим действием дефлектора, такие как D3000SPRAYHEAD, T3000TRASHBUSTERиO3000 ORBITOR (рисунок 1.21). Дождевальные насадки Nelson, как утверждает производитель, обладают увеличенным радиусом полива, равномерностью и точностью, уменьшенными потерями на испарение и снос.



Рисунок 1.20 – Дождевальные насадки Nelson нижнего расположения:
а) A3000 ACCELERATOR; б) R3000 ROTATOR; в) S3000 SPINNER.





в)

Рисунок 1. 21 – Дождевальные насадки Nelson статического действия дефлекторов: а) D3000SPRAYHEAD; б) T3000TRASHBUSTER; в) O3000 ORBITOR.

Помимо этого, производитель предлагает систему цветной кодировки съемных сопел (рисунок 1.22) для установки их в нужную насадку по длине водопроводящего трубопровода дождевальной машины, так как точные расчеты диаметра сопел очень важны для кругового орошения.

Несмотря на все достоинства дождевальных насадок, на орошаемых полях Марковского района Саратовской области при использовании их на ДМ «Valley» и «Zimmatic» при напоре 2,5 атм. на входе в машину радиус полива не превышал 5 м, а большая интенсивность дождя способствовала обильному стоку и водной эрозии почв.



Рисунок 1.22 – Сменные сопла насадок Nelson

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что известные конструкции дождевальных насадок дефлекторного типа не соответствуют

оптимальным требованиям при орошении сельскохозяйственных культур. Большое количество воды при распыле насадкой с дефлектором подвержено сносу и испарению, а интенсивность по всей площади орошения дождевальная насадки далеко не равномерна, отсюда создается необходимость совершенствования конструктивных параметров отечественных дождевальных насадок как динамического, так и статического действия.

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 ДМ «Фрегат» необходимо на конусе рассекателя 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) (рис. 1. 23), 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 [68].

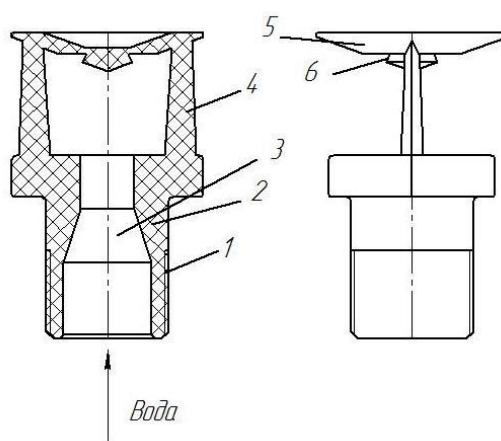


Рисунок 1.23 - Предлагаемая дождевальная дефлекторная насадка: 1 – резьба; 2 – корпус; 3 – сопло; 4 – ножка дефлектора; 5 – дефлектор; 6 – канавка.

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 рассекатели 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 [5, 6, 74].

Для получения оптимальной крупности капель и равномерного полива по всей площади орошения ДМ, необходимо экспериментально в лабораторных и полевых условиях определить оптимальные конструктивные параметры сопла, дефлектора, его расстояния от корпуса и канавки (ширины, формы, расстояния от оси насадки).

1.4. Выводы

На протяжении 40 лет дождевальные машины «Фрегат» очень хорошо зарекомендовали себя на орошаемых полях России и других стран. Машина ценится за счет возможности автоматического круглосуточного полива, низких трудовых затрат на эксплуатацию и простоты конструкции. В связи с этим, ДМ «Фрегат» в большом количестве можно встретить на полях Саратовского Заволжья.

За многолетний накопленный опыт по модернизации конструкции самой машины накопилось много научных трудов и решений, но мероприятия по усовершенствованию дождеобразующих устройств продолжают из-за стремления получения оптимальных значений крупности капель в сочетании с равномерной интенсивностью дождя.

Изначально ДМ «Фрегат» комплектовались серийными среднеструйными дождевальными аппаратами с большим радиусом полива и низкой интенсивностью дождя, но от них вскоре отказались из-за большой крупности капель, невысокой надежности, частого засорения и хищения. Как отечественные, так и зарубежные сельхозпроизводители признали преимущества дефлекторных насадок, так как они формируют мелкокапельный дождь, который не вредит растениям и способствует меньшей потере воды на сток и вынос почвы. Дефлекторные насадки имеют относительно простую конструкцию, недороги в изготовлении и по агротехническим характеристикам полива не уступают среднеструйным ДА.

Для решения этой проблемы разработана дождевальная насадка (Патент РФ № 2 616 842 С1 опубл. 18.04.2017 Бюл. № 11) с кольцевой канавкой по окружности рассекателя, которая находится от оси дефлектора на определенном расстоянии. Вода под напором проходит по усеченному конусу сопла и попадает на дефлектор, где, растекаясь, попадает в канавки, приобретает турбулентное движение, соударяясь с рассекателем, рассыпается на мелкодисперсный дождь, равномерно распределяющийся по площади полива. Для определения конструктивных особенностей канавки на дефлекторе насадки проводились исследования для получения оптимальных значений крупности капель и равномерной интенсивности по всей площади орошения дефлекторной насадки.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЖДЕВОГО ОБЛАКА ДЕФЛЕКТОРНЫМИ НАСАДКАМИ

2.1. Исследование влияния конструктивных параметров на истечение жидкости из сопла

Большое применение в области на данный момент из отечественных образцов поливной техники получили дождевальные машины «Фрегат» и «Кубань ЛК», которые могут обеспечить круглосуточный полив в автоматическом режиме и низкие трудовые затраты на эксплуатацию. Изначально на серийных дождевальных машинах «Фрегат» использовались среднеструйные дождевальные аппараты (СДА), на которых установлен коромысловый привод горизонтального колебания. СДА имели ряд достоинств, такие как большой радиус полива (до 25м) и низкую интенсивность дождя (от 0,05 до 0,40 мм/мин), но крупнокапельный дождь при поливе среднеструйными дождевальными аппаратами оказывал негативное влияние на сельскохозяйственные культуры и почву, образовывался сток [2, 8, 9, 18, 22, 27, 50, 87, 89, 94].

Дефлекторные насадки формируют мелкодисперсный дождь с малой высотой подъема дождевого облака. На основании проведенного анализа существующих исследований и научных обоснований работы дождеобразующих устройств, приведенных Беляевым В. В. [12], Бредихиным Н. П. [16], Исаевым А. П. [31], Лебедевым Б. М. [43], Пажи Д. Г. [74], Рыжко Н. Ф. [90], была разработана конструкция дефлекторной насадки кругового действия (Патент РФ № 2 616 842 С1 опубл. 18.04.2017 Бюл. № 11) [68] представленная на рисунке 2.1.

Обобщенный показатель качества дождевальной насадки (K_k) в общем виде будет зависеть от множества факторов и запишется следующим образом:

$$K_K = f(d_K, \mu, w, \varphi_c, R, C_u, \rho_c) \rightarrow opt, \quad (2.1)$$

где d_K – диаметр капель;

μ – коэффициент расхода насадки;

w – скорость течения струи в сжатом сечении;

φ_c – коэффициент сжатия струи;

R – радиус полива насадки;

C_u – коэффициент равномерности полива;

ρ_c – средняя интенсивность полива.

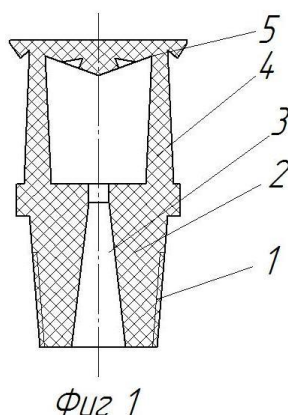


Рисунок 2.1 - Дефлекторная насадка кругового действия с кольцевой канавкой: 1 – резьба; 2 – корпус; 3 – сопло; 4 – ножка; 5 – дефлектор с канавкой.

Конструкционные параметры являются основополагающими выходными характеристиками ДН, каждая из которых подвержена воздействию конкретного технического решения, и, наоборот, каждый показатель качества дождя может быть изменен путем изменения конструкции.

Установлена взаимосвязь между конструктивными параметрами и характеристиками дождевого облака. Наиболее важными на наш взгляд являются влияние конструктивных параметров сопла и дефлектора насадки на процесс образования капель оптимального диаметра без вреда растениям и почве и равномерное распределение интенсивности по площади орошения [11, 23, 74].

Ранжируя показатели качества по степени влияния на почву и растения, установлено, что качество дождя в основном определяется диаметром капель и равномерностью распределения интенсивности дождя по площади полива.

Тогда:

$$K_k = f(d_k, \rho_c) \rightarrow opt. \quad (2.2)$$

Таким образом необходимо установить взаимосвязь между конструктивными параметрами насадок и параметрами качества дождя. С учетом этого, на основании ранее проведенных исследований, где доказана связь между диаметром отверстия сопла насадки и диаметром образуемых капель при поливе [5, 31], можно констатировать, что:

$$K_k = f(T_{к.о.}, T_{р.и.}) \rightarrow opt, \quad (2.3)$$

где $T_{к.о.}$ – процесс каплеобразования;

$T_{к.и.}$ - процесс распределения интенсивности по всей площади орошения, %.

Как сказано выше, одним из основных конструктивных параметров дождевателей является сопло насадки. Дефлекторные насадки, имеют коническое сопло с выходным диаметром от 4 до 16 мм, а в нижней части корпуса насадки выполнена коническая резьба (1 дюйм), которая позволяет монтировать её в трубопровод машины без дополнительной арматуры. В результате лабораторных исследований было выявлено, что радиус захвата дождем дефлекторных насадок зависит от диаметра насадки, напора при входе в насадку и высоты установки на дождевальной машине [14, 16, 17, 31, 61, 74, 75].

Как показали исследования [61, 74, 75], основным параметром, характеризующим эффективность полива дождевателями, является коэффициент расхода насадки μ . Для дефлекторных насадок $\mu \neq 1$, а причинами тому является: во-первых, потеря энергии в процессе турбулизации потока, возникающей при обтекании входных кромок сопла и трении воды о стенки

насадки; во-вторых, сжатие (контракция) струи, при котором площадь сечения струи оказывается меньше площади отверстия сопла насадки.

Для определения коэффициента расхода насадки μ изначально считается течение в насадке одномерным, т.е. не учитывается распределение скорости по сечению струи, то через уравнение Бернулли можно найти скорость течения струи в сжатом сечении w [99]:

$$w = \sqrt{\frac{2\Delta p}{(1+\xi_c)\rho_1}}, \quad (2.4)$$

где ξ_c - суммарный коэффициент сопротивления насадки;

ρ_1 - плотность жидкости;

$$\Delta p = p_T - p_a,$$

где p_T - полное давление перед насадкой;

p_a - атмосферное давление.

Чтобы определить объемный расход жидкости через дефлекторную насадку Q , обозначим коэффициент сжатия струи φ_c :

$$\varphi_c = \frac{f_{ст}}{f_c}, \quad (2.5)$$

где $f_{ст}$ - площадь сжатого сечения струи;

f_c - площадь выходного отверстия сопла;

отсюда:

$$Q = f_{ст}w = \frac{\varphi_c}{\sqrt{1+\xi_c}} f_c \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_1}}, \quad (2.6)$$

где коэффициент скорости жидкости $\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{1+\xi_c}}$. (2.7)

Исходя из выражения (2.4) расход дефлекторной насадки:

$$Q = \mu f_c \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_1}}, \quad (2.8)$$

Отсюда формула для определения коэффициента расхода насадки выглядит следующим образом:

$$\mu = \frac{Q}{f_c \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_1}}} \quad (2.9)$$

Коэффициент расхода насадки прежде всего зависит от формы сопла и определяется экспериментально, для дефлекторных насадок $\mu = 0,83$ до $0,9$, что доказали исследования Москвичева Ю. А. [50], Пажи Д. Г. [74], Рыжко Н. Ф. [94], и на формирование оптимального диаметра капель, распределение интенсивности и устойчивости дождя к ветру и испарению не влияет.

Для дождевания дефлекторными насадками как показали исследования достаточно $\mu = 0,8 \div 0,9$, то угол конусности сопла насадки рекомендуется выполнять в пределах от 30 до 60° , в зависимости от выходного диаметра сопла. При меньших значениях угла конусности изготовление насадки усложняется и коэффициент расхода увеличивается [4, 17, 18, 25, 36, 62, 78, 95].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что от параметров конусности сопла зависят основные расходные характеристики дождевания дефлекторной насадки кругового действия. Конструктивные параметры сопла непосредственно влияют на радиус полива и поведение потока жидкости при попадании на дефлектор дождевальной насадки кругового действия. Изменяя конусность и диаметр выходного отверстия сопла, можно получить оптимальный режим орошения для конкретных условий, но на образование капель необходимого размера и распределение дождя по площади орошения влияние оказывают конструктивные параметры дефлектора, обоснование которых требуют теоретических и экспериментальных исследований.

2.2. Исследование процесса дробления пленки жидкости на конусе дефлектора

Исследованиям влияния конструктивных особенностей рассекателей и дефлекторов дождеобразующих устройств на качество распыливаемой жидкости и агротехнические показатели полива посвящены работы Л. А.

Витмана [17], В. С. Галустова [20], С. Х. Гусейн-Заде [22], А. И. Дидебулидзе [27], А. П. Исаева [31], С. П. Казакова [34], И. П. Кружилина [41], Б. М. Лебедева [43], Н. С. Панасенко [67], Н. Ф. Рыжко [88],

Как показали исследования дождеобразования [5, 6, 91, 95], 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 [43] и А. П. Исаева [31] 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

$$D_{\text{д}} = 5,0 \cdot d_{\text{с}}, \quad (2.10)$$

где $d_{\text{с}}$ – средний диаметр сопла дефлекторной насадки, мм.

С целью уменьшения вероятности засорения дефлекторной насадки различными механическими включениями высота ножек дефлектора должна соответствовать условию: $h = D_{\text{д}}$. Для минимального сопротивления при обтекании ножи дефлектора выполняют каплевидной формы с увеличением толщины сверху вниз к корпусу насадки [94].

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% [3, 7, 12, 18, 51, 57].

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

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = const . \quad (2.11)$$

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 [6, 43]. Расположение данной точки С на дефлекторе насадки зависит от конструктивных особенностей дефлектора и диаметра выходного отверстия сопла. Сечение потока на конусе дефлектора дождевальной насадки кругового действия изображено на рисунке 2.4. На нем

показано расстояние точки отрыва струи, растекающегося по поверхности конуса дефлектора, для дефлекторной насадки с диаметром выходного отверстия сопла 10 мм и постоянном напоре.

Далее рассмотрим установившееся обтекание осредненным турбулентным потоком жидкости конического дефлектора с углом при вершине 2β (рисунок 2.2).

Считая движение плавно изменяющимся, а давление избыточным, составим уравнение Бернулли для сечений 0–0, 1–1 относительно плоскости сравнения 0–0:

$$\alpha_0 \frac{V_0^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_0 + h_f, \quad (2.12)$$

где h_f – суммарные потери напора, определяемые работой сил трения на поверхности дефлектора и на поверхности раздела жидкость – воздух; V_0, V_1 – средние скорости движения жидкости в сечениях 0 – 0 площадью $\omega_0 = \pi r_0^2$ и 1 – 1 площадью $\omega_1 = \pi \delta(2r + \delta \cos \beta)$, соответственно; δ – толщина пленки в сечении 1–1; α_0, α_1 – коэффициенты Кориолиса.

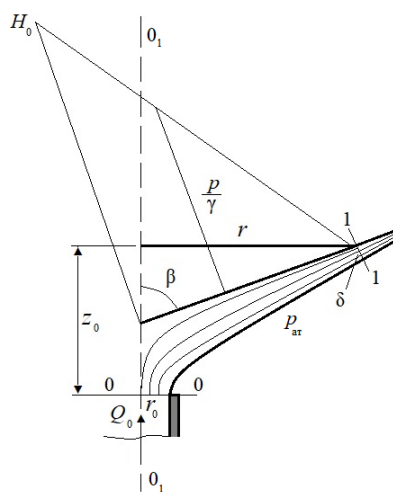


Рисунок 2.2 - Обтекание осредненным турбулентным потоком жидкости конического дефлектора

Представив суммарные потери напора по формуле Вейсбаха [14] $h_f = \zeta \frac{V_1^2}{2g}$,

положив для турбулентного потока $\alpha_0 = \alpha_1 = 1$, и исключив из уравнения (2.10) средние скорости через расход Q_0 и площади живых сечений, запишем его в виде

$$Q_0 = m_0 \omega_0 \sqrt{2gz_0}, \quad (2.13)$$

где $m_0 = \left[1 - (1 + \zeta) \left(\frac{\omega_0}{\omega_1} \right)^2 \right]^{-0.5}$ – коэффициент расхода системы [14], (2.14)

отнесенный к сечению $1 - 1$;

ζ – полный гидравлический коэффициент сопротивления, учитывающий потери напора на поверхности дефлектора и на поверхности раздела жидкость – воздух.

С другой стороны, из (2.11) следует:

$$m_0 = \frac{Q_0}{\omega_0 \sqrt{2gz_0}} = \frac{V_0}{\sqrt{2gz_0}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V_0}{\sqrt{gz_0}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{V_0^2}{gz_0}} = \sqrt{\frac{Fr_0}{2}}, \quad (2.15)$$

где Fr_0 – число Фруда набегающего потока.

Приравнявая (2.12) и (2.13), находим уравнение для определения толщины пленки:

$$\delta^2 + \frac{2r}{\cos \beta} \delta - k_0 \frac{r_0^2}{\cos \beta} = 0, \quad (2.16)$$

где $k_0 = \sqrt{\frac{1 + \zeta}{2}} \sqrt{1 - \frac{2}{Fr_0}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий работу сил трения

и кинетичность набегающего потока.

График зависимости коэффициента k_0 от ζ и Fr_0 представлен на рисунке 2.3.

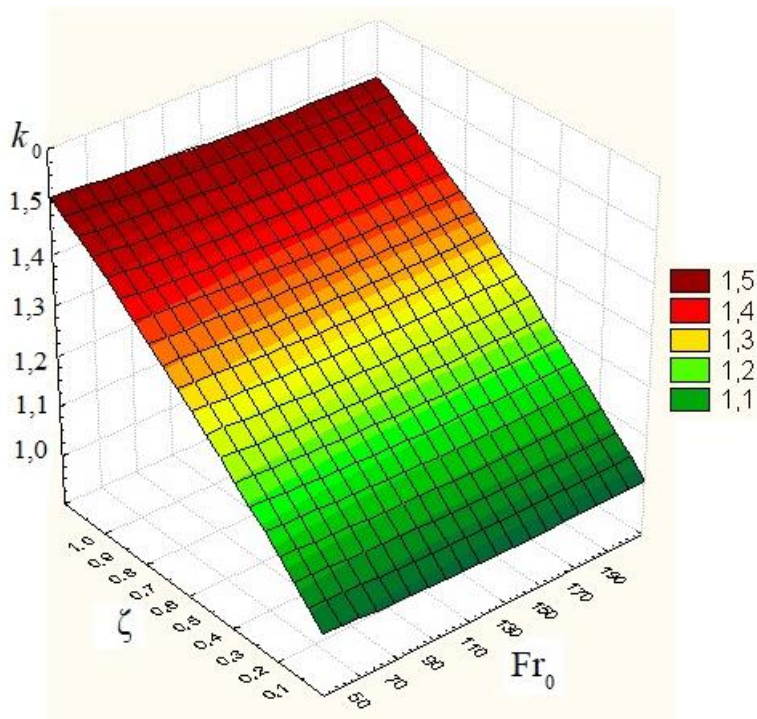


Рисунок 2.3 - Зависимость коэффициента k_0 от ζ и Fr_0 .

График зависимости k_0 от кинетичности потока при различных значениях коэффициента сопротивления ζ представлен на рисунке 2.4.

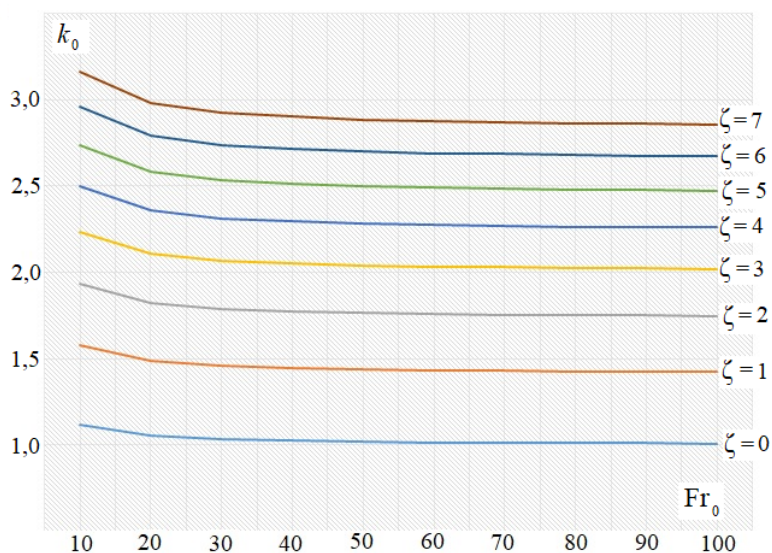


Рисунок 2.4 - Зависимость k_0 от кинетичности потока при различных значениях коэффициента сопротивления ζ

Решение квадратного уравнения (2.14) имеет вид

$$\delta = -\frac{r}{\cos \beta} + \sqrt{\frac{r^2}{\cos^2 \beta} + k_0 \frac{r_0^2}{\cos \beta}}. \quad (2.17)$$

Из (2.17) заключаем, что толщина пленки увеличивается при возрастании коэффициента сопротивления ζ и уменьшается при увеличении кинетичности набегающего потока.

При $k_0 = 1$ из формулы (2.15) точно получается формула Исаева[31]. Другими словами, формула Исаева – это предельный случай обобщенной формулы (2.17) при $\zeta \rightarrow 0, Fr_0 \rightarrow \infty$.

При $\beta = 90^\circ$ из (2.14) следует: $\delta = 0,5k_0 \frac{r_0^2}{r}$, что также является обобщением формулы [1].

Как показывают эксперименты, числа Фруда в набегающем потоке имеют порядок десятков и даже сотен, поэтому для поправочного коэффициента k_0 можно получить приближенную зависимость, используя разложение в асимптотический ряд функции

$$\left(1 - \frac{2}{Fr_0}\right)^{-1/2} \cong 1 + \frac{1}{Fr_0} - \dots$$

Тогда $k_0 \cong \sqrt{1 + \zeta} \left(1 + \frac{1}{Fr_0} - \dots\right)$.

Если же считать $\zeta \ll 1$, то последнюю формулу можно еще упростить:

$$k_0 \cong \left(1 + \frac{1}{2}\zeta + \dots\right) \left(1 + \frac{1}{Fr_0} - \dots\right) \approx 1 + \frac{1}{2}\zeta + \frac{1}{Fr_0}.$$

Преобразуем формулу (6) к безразмерному виду

$$\frac{\delta}{r} \cos \beta = \sqrt{1 + k_0 \left(\frac{r_0}{r} \sqrt{\cos \beta}\right)^2} - 1. \quad (2.18)$$

Универсальный график зависимости (2.18) при различных значениях параметра k_0 представлен на рисунке 2.8.

Из рисунков 2.3, 2.4 следует, что коэффициент k_0 слабо зависит от параметра кинетичности потока, а при числах Фруда $Fr_0 > 60$ практически не зависит совсем (область автомодельности по числу Фруда) [54].

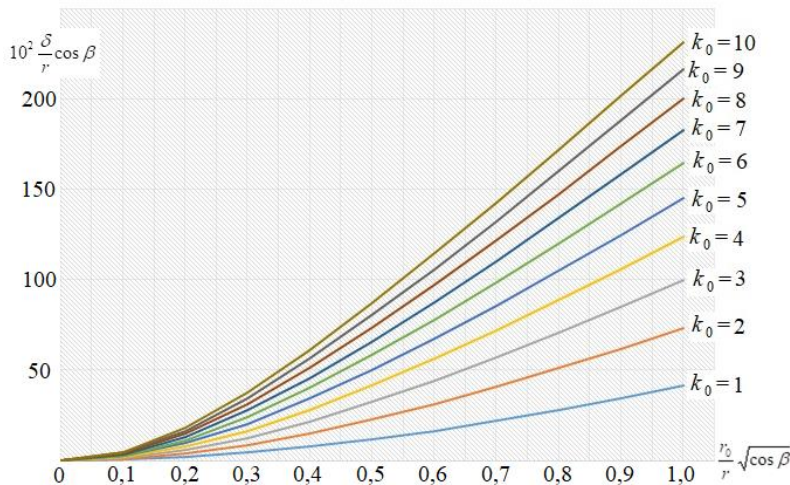


Рисунок 2.5 -
Универсальный график
зависимости $\frac{\delta}{r} \cos \beta$ при
различных значениях
параметра k_0

Согласно [31] сила

динамического воздействия струи P на дефлектор находится в виде

$$P = \rho V_0 \omega_0 (V_0 - V_1 \cos \beta), \quad (2.19)$$

где ρ – плотность жидкости. Выразим среднюю скорость V_1 из уравнения (2.12):

$$V_1 = \frac{V_0}{\sqrt{1 + \zeta}} \sqrt{1 - \frac{2}{Fr_0}} = \frac{V_0}{k_0}.$$

Подставив V_1 в выражение (2.19), получим:

$$P = \rho V_0^2 \omega_0 \left(1 - \frac{\cos \beta}{k_0} \right),$$

что является обобщением известной формулы для силы динамического воздействия струи на коническую поверхность [31].

Обозначим через r_* наибольшее значение радиуса дефлектора, при котором возможно безотрывное обтекание насадки (рисунок 2.6).

Из уравнения (2.18) при этом следует:

$$r_* = k_0 \frac{r_0^2}{2\delta_*} - \frac{\delta_*}{2} \cos \beta. \quad (2.20)$$

Отсюда заключаем, что r_* должно зависеть от полного гидравлического коэффициента сопротивления ζ и числа Фруда Fr_0 , радиуса сопла r_0 и угла конусности β .

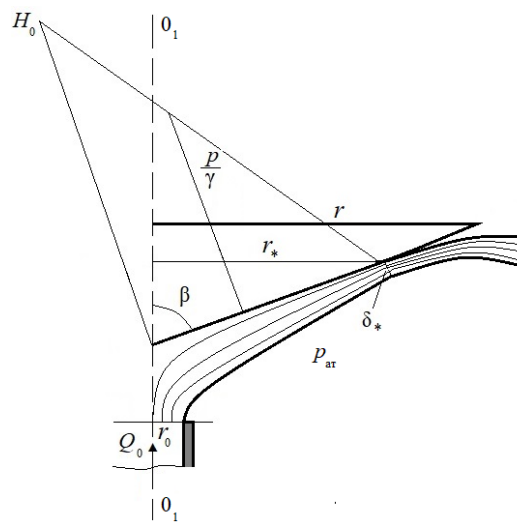


Рисунок 2.6 – Определение точки отрыва струи

Нами было 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 [86, 87, 92].

Для увеличения интенсивности полива вблизи насадки необходимо образовать разрыв сплошности воды до точки отрыва С, который позволит уменьшить давление в потоке жидкости и способствует отрыву капель за счет увеличения давления растворенных газов [13, 65].

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 турбулизирован 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 каплей от потока воды в непосредственной близости от конуса [3, 5, 34, 63, 77, 84, 95]. Воздействие канавки на поток изображено на рисунке 2.7.

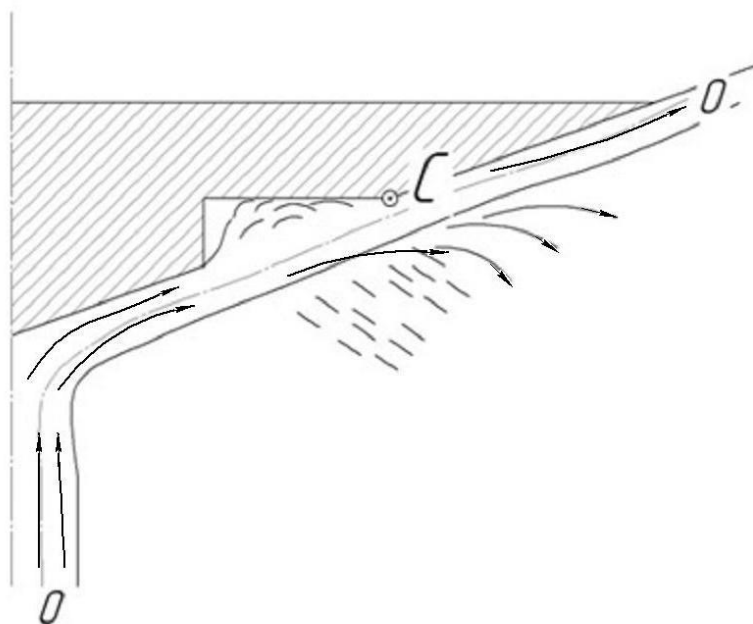


Рисунок 2.7 - Воздействие канавки на дефлекторе на поток воды.

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 [13, 40].

Анализ полученных данных показывает, что выполнение канавки треугольного сечения по окружности дефлектора насадки кругового действия обеспечит оптимальную равномерность полива по всей площади орошения, если выполнить ее, соблюдая все конструктивные параметры. В целях дальнейшего совершенствования конструктивных параметров дефлекторных насадок кругового действия необходимы лабораторные и полевые испытания для определения геометрических параметров и расположения канавки на периферии дефлектора. Результаты этого этапа работ в полной мере определяют направление совершенствования насадок кругового действия для получения оптимальной равномерности полива.

2.3. Гидродинамика процессов на конусе дефлектора

Как показывают исследования крупность капель колеблется для среднеструйных аппаратов ДМ» Фрегат» от 0,8 до 1,8 мм тогда как у дефлекторных насадок от 0,54 до 0,87, то есть в два раза меньше. Та же зависимость прослеживается и по скорости падения капель, так для дождевальных аппаратов 6...12 м/с, дефлекторных насадок 3м/с, что явно свидетельствует о преимуществе последних [7, 38, 39, 43, 55, 86].

Тем не менее, очень низкая равномерность и высокая интенсивность полива дефлекторных насадок еще и еще раз свидетельствует, о том, что резерв в улучшении качества дождя путем совершенствования конструкций имеется [62, 66].

При рассмотрении дробления струй воды в воздухе мы учитывали, что на процесс каплеобразования кроме давления существенно влияют вязкость жидкости, плотность воздуха, а так же скорость и вид истечения жидкости.

Учитывая тот факт, что пленка воды на поверхности рассекателя имеет сплошной характер и определяет диаметр и дальность полета капель, необходимо определить, какой вид препятствия необходимо иметь на поверхности конуса [7, 74].

Выполнение канавки треугольного сечения по окружности дефлектора насадки кругового действия обеспечит оптимальную крупность капель и равномерность полива по всей площади орошения, если выполнить ее, соблюдая необходимые конструктивные параметры. Кроме того, треугольная форма сечения канавки проще выполнить технологично.

Последнее, в основном определяет начало процесса каплеобразования, а в сочетании с другими факторами определяет крупность, дальность полета капель и т.д [16, 24, 92].

Учитывая, что из насадки воды вылетает в виде пленки по конусу рассекателя, будем рассматривать процесс дробления на капли, как дробление пленки.

Струи воды, движущиеся одновременно в осевом и радиальном направлении, разворачиваются по конусу рассекателя в коническую пленку, которая по мере удаления от вершины конуса становится все тоньше и, наконец, после схода с конуса потеряв устойчивость, дробиться на отдельные капли. Это характерно для малых скоростей истечения жидкости, менее 15 м/с, имеющих место в дождеобразующих устройствах на современных дождевальными машинах [31, 66].

Таким образом, выдвинутая гипотеза, в начале, о влиянии вида течения жидкости на процесс каплеобразования, на наш взгляд, наиболее целесообразна

с точки зрения научного исследования и решения её математически и конструктивно.

Известно, что любое препятствие на пути течения жидкости приводит к изменению его вида. В нашем случае выступы и впадины более приемлемы для изменения вида потока на конусном рассекателе.

Это позволит турбулизировать поток уже на поверхности конуса, до ее схода ускорить процесс каплеобразования, что, естественно приведет к большей однородности капель и равномерности полива.

При этом не будет оказывать негативного влияния на радиус и норму полива.

Физический смысл выполнения препятствия на пути потока жидкости заключается в придания потоку жидкости турбулентного характера течения до схода её с конуса. Таким образом, процесс каплеобразования во времени можно сдвинуть на доли секунды раньше [93, 95, 100].

Предлагаемая конструкция экспериментально доказывает факт преждевременного частичного дробления водяной пленки на конусе рассекателя и определяет критерий, характеризующий этот процесс. Это позволяет установить предельные размеры капель и радиус полива.

Учитывая тот факт, что пленка воды на поверхности рассекателя имеет сплошной характер и определяет диаметр и дальность полета капель, необходимо определить, какой вид препятствия необходимо иметь на поверхности конуса.

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. Струя у поверхности потока продолжает свое движение по периферии к сходу с дефлектора.

Выполнение канавки треугольного сечения по окружности дефлектора насадки кругового действия обеспечит оптимальную крупность капель и равномерность полива по всей площади орошения, если выполнить ее, соблюдая все конструктивные параметры.

Проанализировав различные теоретические концепции распада струй, мы воспользовались теорией Ландау Л. Д., согласно которой основной причиной распада считаются турбулентные пульсации, приводящие к отрыву отдельных частиц жидкости от основной струи.

В поток жидкости, движущийся по поверхности конуса дефлектора, как отмечалось в исследованиях А. П. Исаев, на процесс дождеобразования влияют критерии Рейнольдса (Re) и Вебера (We).

За счет большого напора при выходе с сопла насадки вода обретает турбулентный характер, при котором число Рейнольдса будет $Re = 1,3 \cdot 10^6$ и находилось из выражения:

$$Re = \frac{v_0 \delta}{\nu}, \quad (2.21)$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости.

Значение We мы определили из выражения:

$$We = \frac{\rho v_0^2 \delta}{\sigma}, \quad (2.22)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения воды.

Но далее поток встречает канавку треугольного сечения, где возникает разрежение, и вода, попадая в нее, образует вихри Тейлора – Гетлера. Вихри Тейлора — Гертлера являются локальными трехмерными структурами и обусловлены искривлением линий тока отрывного течения. Согласно исследованиям многих ученых, поведение жидкости внутри канавки или каверны зависит от числа Рейнольдса и отношением a/b (a – ширина канавки, b – глубина канавки).

У канавки треугольного сечения на дефлекторе при ширине 4 мм отношение $a/b=1:4$. Н.В. Разумнюк исследовал течение жидкости по каверне с

такими же пропорциями, но с меньшим Re (рисунок 2.8). Можно заметить, что каверна существенно влияет на поток при $Re=21875$ и вихрь Тейлора–Гетлера, увеличивает турбулизацию и толщину потока после прохождения каверны. В нашем случае число Re на порядок больше и свидетельствует о больших размерах вихря, который существенно увеличивает толщину пленки до 0,5 мм и число Re после прохождения треугольной канавки.

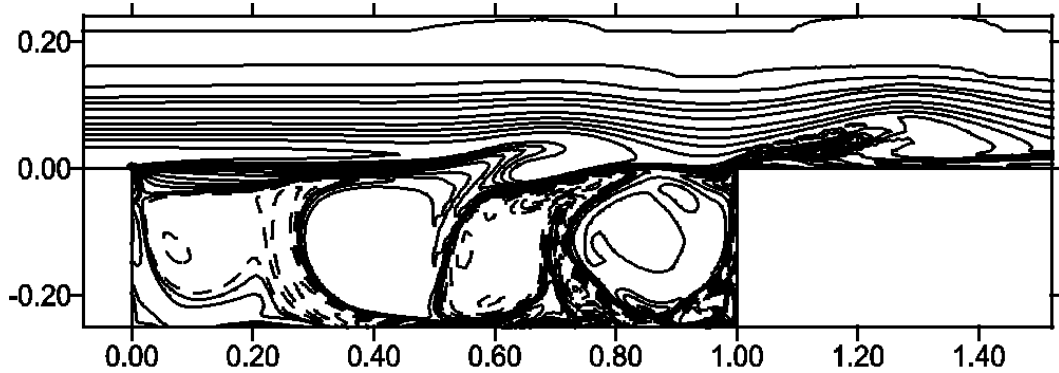


Рисунок 2.8 – Мгновенные линии завихренности в каверне $a/b = 1 : 4$ ($Re = 21875$).

Согласно Л. Прандтлю, равновесие сил приложенных к потоку получается из условия равенства аэродинамического и капиллярного давлений:

$$\frac{\rho v_0^2}{2} = K_{\pi} K_d \frac{\sigma}{\delta}, \quad (2.23)$$

где K_{π} – коэффициент пропорциональности, учитывающий соотношение сил, при котором наступает дробление потока.

Коэффициент K_{π} определяется экспериментально и остается неизменным для всех значений коэффициента сопротивления воздуха C_v :

$$K_{\pi} = \frac{We C_v}{8} \quad (2.24)$$

В этом случае условие распада потока определяется числом Вебера.

Многие ученые давали значения критического числа Вебера ($We = 7,5 \div 15$), при котором поток начинает распадаться на капли. Расчеты показали, что до канавки на рассекателе число Вебера составляет $We = 18$, а увеличение толщины пленки после прохождения канавки приводит к повышению данного числа и увеличению силы тяжести пленки. Увеличение чисел We и Re свидетельствует о

существенном влиянии канавки на целостность потока и разрушает участок 3 на мелкодисперсный дождь. Выполнение канавки до точки отрыва С, способствует отрыву капель после прохождения потоком канавки, повышает равномерность полива. При этом дефлекторные насадки рекомендуется устанавливать на водопроводящем поясе дождевальная машины по учащенной схеме.

В случае распада плоской пленки при не значительных скоростях течения жидкости (при значениях числа Вебера больше 10), что мы имеем для насадки с коническим рассекателем диаметр капель определяется по формуле [31, 74]:

$$d_k \approx \lambda = \frac{3\pi\sigma}{\rho_2 v^2}, \quad (2.25)$$

где ρ_2 - плотность жидкости;

v – скорость течения жидкости;

λ – длина волны $\lambda = 2\pi / k = 4.508 \cdot 2a$,

a – толщина пленки;

σ – поверхностное натяжение.

Анализ выражения (2.24) показывает, что диаметр капель обратно-пропорционален плотности и квадрату скорости потока жидкости. При этом данное выражение дает не точное представление о степени распыла, т.к. является средним значением размера капель.

Картина распада пленки жидкости на капли определяется, прежде всего, способом распыливания и устройством насадки. На рисунке 2.9 показано разрушение пленки при сходе с конуса дефлекторной насадки с идеальной поверхностью конуса [5, 6, 25].

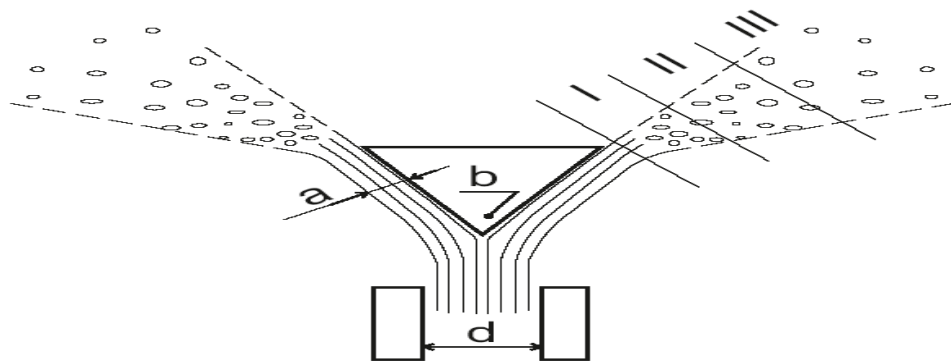


Рисунок 2.9 - Разрушение пленки воды при истечении из насадок:
 а - толщина пленки; b – конус дефлекторной насадки; d – диаметр сопла.

Хорошо видны характерные стадии: образование каверн (I), разрушение отделяющих их перемычек (II), отрыв мелких капель(III) [57, 59].

На участке I, обычно не превышающий 2-3 см,поток жидкости, сошедший с дефлектора, еще имеет сплошной характер, с отрывом незначительного числа капель небольшого диаметра. На участкеIIнаблюдается раздробление потока на отдельные струи и капли большего диаметра, в конце которого возникает окончательно разрушение ядра струи. Длины сплошного участка l_1 и участка раздробленного потока l_2 определяются по формуле Исаева А. П. [31]:

$$\frac{l_1}{D} = 163,7 - 1,47 \cdot 10^{-4} \cdot Re, \quad (2.26)$$

$$\frac{l_2}{D} = 278,5 - 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot Re, \quad (2.27)$$

где D – диаметр струи, мм.

Re – число Рейнольдса для условия потока в данном участке.

Участок IIIхарактеризуется окончательным распылом струи и полетом отдельных капель до взаимодействия с почвой и растениями, длину l_3 которого можно определить по формуле Люгера, введя в нее поправочные коэффициенты:

$$l_3 = K_H \cdot K_P \cdot H_B, \quad (2.28)$$

где H_B – параметр подъема струи, м;

K_H – коэффициент, определяющийся величиной подъема струи;

K_p —коэффициент, зависящий от качества изготовления дождевателя, его коэффициента расхода.

Образование капель завершается на расстоянии равном $8 - 30 b$ и более толщин пленки сходящей с конуса.

Конкретное значение длин участков зависит так же от скорости истечения, свойств жидкости и др.

При определении параметров канавки, нас в первую очередь интересует, её местоположение и ширина, которая как раз и определяет формирование газожидкостного факела при сходе с поверхности конуса на грани канавки (Рис.2.10)[2, 26, 31, 41, 42, 49, 51, 64].

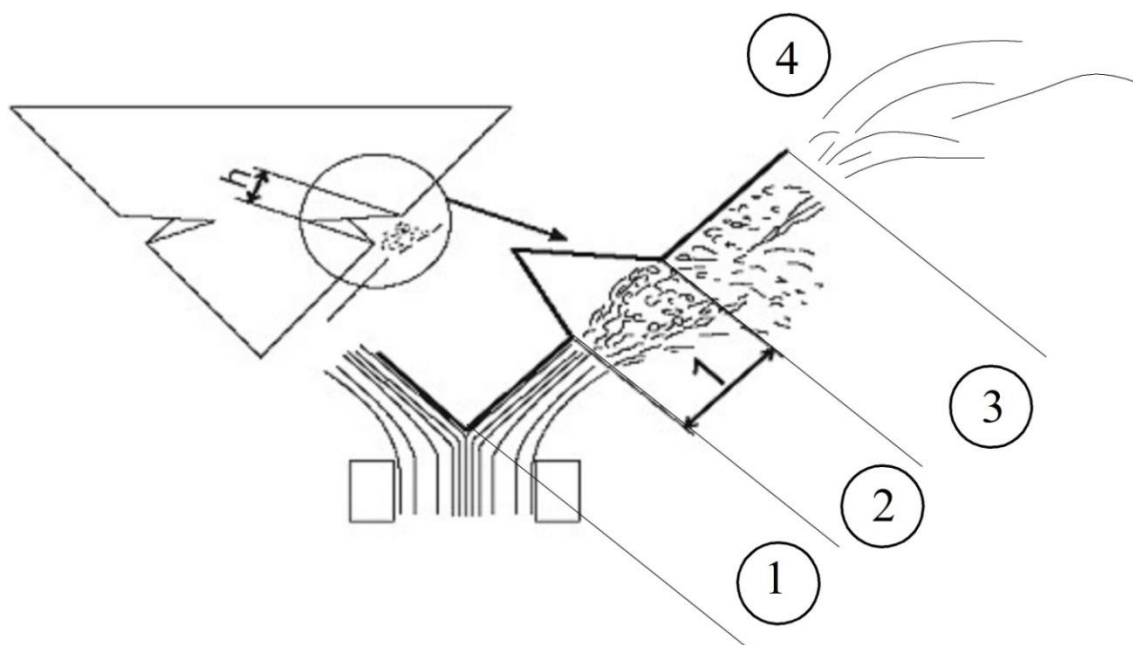


Рисунок 2.10 - Формирование газожидкостного факела на сходе с грани канавки.

На рисунке 2.10 показаны четыре участка, в которых поток жидкости ведет себя по-разному. На 1 участке поток жидкости из сопла, попав на вершину конуса дефлектора, имеет сплошность и образует пленку определенной толщины. В конце 1 участка поток достигает канавки, и происходит столкновение части потока со стенкой канавки и турбулизация на 2 участке,

которые способствуют раннему отрыву капель и падению их на небольшое расстояние от насадки. Длина 2 участка обуславливается шириной канавки [65].

В начале 3 участка поток жидкости продолжает движение, а турбулентность, возникшая на 2 участке, способствует интенсивному отрыву капель и движению их по своей траектории. На 3 участке водяная пленка полностью сходит с дефлектора, где начинается 4 участок разрушения водяной пленки, описанный выше.

Формирование капель на данной стадии факела определяется их взаимодействием с окружающей средой, которой они передают часть своей энергии, вызывая его перемещение и турбулизацию [12, 78].

Вначале капли располагаются очень близко, что имеют признаки сплошной среды, за пределами которой капли ведут себя как одиночные.

При этом полное формирование факела должно иметь место в пределах ширины (h) канавки (Рис. 2.10) [31, 43, 94].

Это и будет находиться в пределах границы начала формирования капельного потока. Следовательно, для нашего случая оптимальное значение ширины канавки будет соответствовать 8-10 толщине пленки. Тогда фактическое значение ширины канавки будет составлять от 4 максимум до 8 мм [78, 84]. Немаловажным фактором является определение расположения канавки на поверхности конуса относительно кромки схода воды с дефлектора. Для этого необходимо проследить развитие формирования дождя дефлекторными насадками.

Используя полученные данные можно утверждать, что $\beta < 0,015$ капли жидкости могут рассматриваться как одиночные (II стадия). Тогда грань канавки должна располагаться от края дефлектора на расстоянии менее 8 толщин пленки или на расстоянии не менее 4мм и не более 8 мм с учетом ширины канавки, передняя грань канавки по направлению течения жидкости должна располагаться от 8 до 16 мм [76].

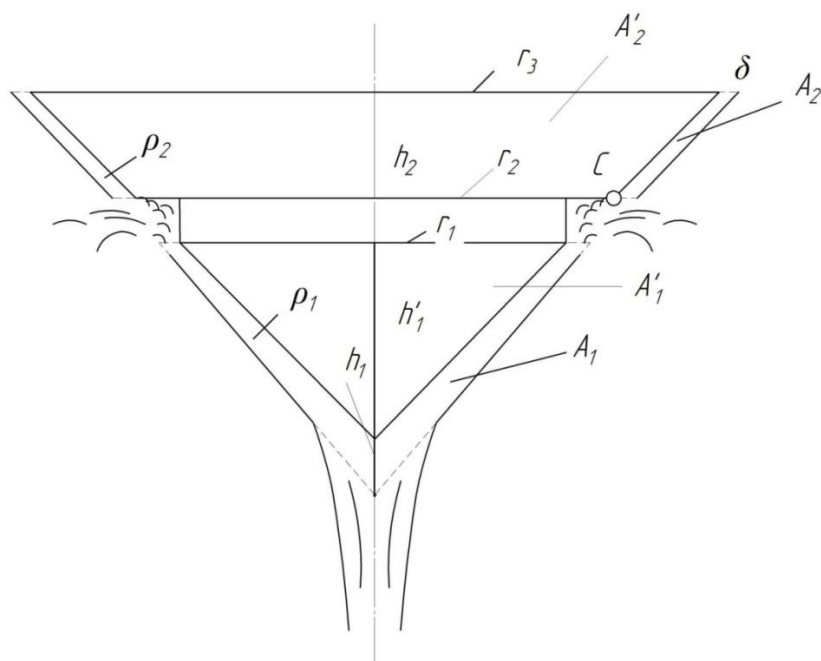


Рисунок 2.11 – Формирование на дефлекторе жидкостного конуса до канавки и усеченного конуса после канавки.

Как показано на рисунке 2.11 на дефлекторе объем воды от попадания потока на вершину дефлектора до взаимодействия с канавкой будет состоять из разницы объемов конусов A_1 и A'_1 :

$$V_1 = V_{A_1} - V_{A'_1}, \quad (2.29)$$

отсюда:

$$V_{A_1} = \frac{1}{3} h_1 \pi (r_1 + \delta)^2, \quad (2.30)$$

$$V_{A'_1} = \frac{1}{3} h'_1 \pi r_1^2, \quad (2.31)$$

где h_1 – высота конуса, создаваемого потоком воды, мм;

h'_1 – высота конуса от вершины дефлектора до окружности в начале канавки, мм;

r_1 – радиус окружности в начале канавки, мм;

δ – толщина пленки воды, мм.

После прохождения канавки объем воды будет складываться из разницы объемов двух усеченных конусов A_2 и A'_2 :

$$V_2 = V_{A_2} - V_{A_1 r_2} \quad , \quad (2.32)$$

отсюда:

$$V_{A_2} = \frac{1}{3} \pi h_2 (r_3^2 + 3r_3 \delta + 3r_2 \delta + r_3 r_2 + r_2^2 + 3\delta^2), \quad (2.33)$$

$$V_{A_2} = \frac{1}{3} \pi h_2 (r_3^2 + r_3 r_2 + r_2^2). \quad (2.34)$$

где h_2 – высота усеченного конуса, мм;

r_2 – радиус окружности в конце канавки, мм;

r_1 – радиус окружности основания дефлектора, мм.

Плотность потока воды до канавки ρ_1 (г/мм³) будет больше плотности потока после канавки ρ_2 (г/мм³) из-за интенсивного распада потока на капли и увеличения давления растворенных в воде газов [43]. Плотность ρ_1 определяется:

$$\rho_1 = \frac{m}{V_1}, \quad (2.35)$$

где m – масса жидкости, г.

По исследованиям Белова В. И. [22] плотность воды после прохождения канавки ρ_2 будет определена по выражению:

$$\rho_2 = \rho_1 K_d + \rho_a (1 - K_d), \quad (2.36)$$

Где ρ_a – плотность воздуха, г/мм³;

K_d – коэффициент концентрации воды в единице потока.

Изменение конструкции насадок привело к изменению диаметра капель дождя и равномерности площади полива. Отмечено, что наличие канавки на поверхности конуса рассекателя приводит к снижению среднего диаметра капель на 15 – 25%. Данное обстоятельство может быть учтено коэффициентом K_d и, исходя из выражения 2.25, определено выражением:

$$K_d = \frac{\rho_2 - \rho_a}{\rho_1 - \rho_a}. \quad (2.37)$$

На рисунке 2.12 изображены ширины захвата l_{II} дождевого облака при поливе обычной дефлекторной насадки кругового действия (а) и насадки с канавкой (б). Поток воды на дефлекторе насадки кругового действия в первом

случае ни чего не мешает двигаться по периферии конуса дефлектора до точки отрыва C , в связи с чем капли под углом 20° к горизонту отрываются от общего потока и летят на расстояния до 3...5 м. При поливе дефлекторной насадки с канавкой ширина захвата намного шире за счет интенсивного отрыва значительного количества капель вблизи от насадки под воздействием кольцевой канавки. Помимо этого, при воздействии канавки на поток жидкости в дождевом облаке уменьшается средний диаметр капель $d_k = 0,6 \div 0,8$ мм, при среднем диаметре капель при поливе дефлекторной насадки кругового действия $d_k = 1,0 \div 1,4$ мм

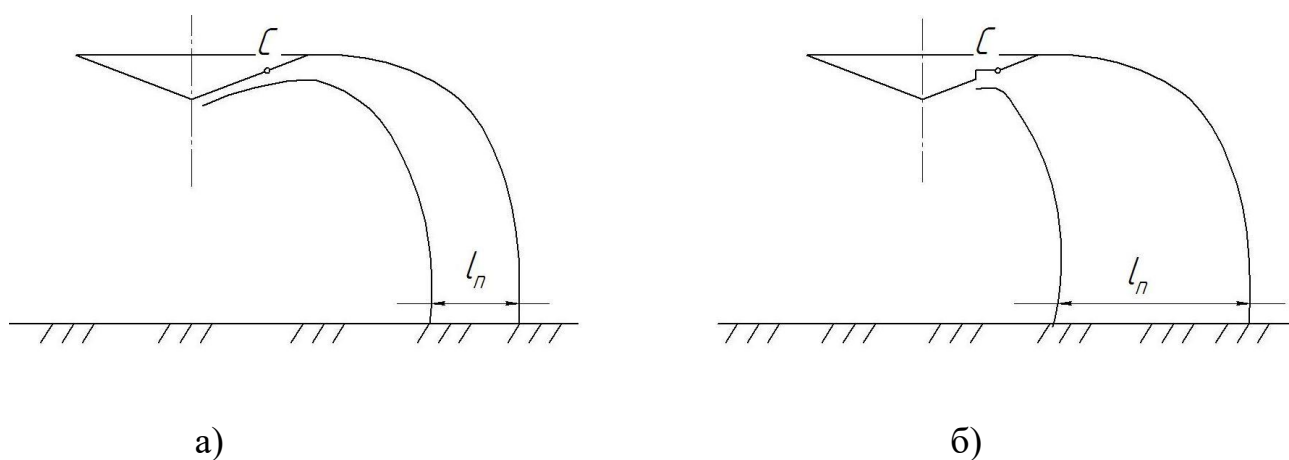


Рисунок 2.12 – Ширина захвата дождя при поливе дефлекторными насадками:

- а) дефлекторная насадки кругового действия ($d_k = 1,0 \div 1,4$ мм); б) дефлекторная насадка с кольцевой канавкой ($d_k = 0,6 \div 0,8$ мм).

Таким образом, используя свойства жидкости и принципы формирования факела жидкости сходящей пленкой с конца дефлектора, можно сформировать дождевое облако с определенными параметрами, что очень важно при орошении сельскохозяйственных культур дождевальными машинами.

2.4. Выводы

Теоретически обосновано влияние угла конусности сопла β дефлекторной насадки с канавкой по окружности на истечение струи и поливную

характеристику насадки. Выбран оптимальный угол, коэффициент расхода насадки при котором $\mu = 0,83$ до $0,9$. Выявлена зависимость коэффициентов истечения из конического сопла от угла конусности.

Получена зависимость выходного диаметра сопла на расположение точки отрыва потока воды C на дефлекторе насадки, а также на толщину пленки потока воды на дефлекторе δ и качество дождя. Представлены теоретические исследования движения потока воды при поливе дефлекторной насадки. Оптимальное значение ширины канавки будет соответствовать 8-10 толщине пленки. Определено фактическое значение ширины канавки будет составлять от 4 максимум до 8 мм. Определено расположения канавки на поверхности конуса относительно кромки схода воды с дефлектора. Определен коэффициент K_d , влияющий на формирование капель в потоке жидкости на дефлекторе. Выбрана треугольная форма сечения канавки из-за меньших затрат при изготовлении.

Используя свойства жидкости и принципы формирования факела жидкости сходящей пленкой с конца дефлектора, можно сформировать дождевое облако с определенными параметрами, что очень важно при орошении сельскохозяйственных культур дождевальными машинами. Анализ полученных данных показывает, что выполнение канавки треугольного сечения по окружности дефлектора насадки кругового действия обеспечит оптимальную равномерность полива по всей площади орошения, если выполнить ее, соблюдая все конструктивные параметры. В целях дальнейшего совершенствования конструктивных параметров дефлекторных насадок кругового действия необходимы лабораторные и полевые испытания для определения геометрических параметров и расположения канавки на периферии дефлектора.

3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Программа и методика проведения лабораторных исследований

В третьей главе изложены методики определения крупности капель и равномерность распределения дождя по площади орошения при поливе дефлекторной насадкой кругового действия с кольцевой канавкой.

В соответствии с поставленной целью сформулированы задачи исследования, разработана программа, включающая этапы теоретических и экспериментальных исследований, экологического обоснования и рекомендаций (рис. 3.1).

На основе информации, полученной при изучении научных работ, рекламации производителей, программ научных учреждений и личного опыта определена актуальность, объект и предмет исследований [3, 16, 59].

Сформулирован научный метод, основные направления которого определены стратегией и этапами исследований формирования оптимальной крупности капель на конусе дефлектора насадки и равномерного распределения интенсивности дождя по всей площади орошения при поливе ДМ «Фрегат».

Актуальность исследований: Соблюдение агротехнических требований полива сельскохозяйственных культур многоопорными машинами во многом зависит от работы дождеобразующих устройств.

Объект исследований: Процесс формирования дождя дефлекторной насадкой.

Предмет исследования: Качественные показатели дождя создаваемого дождевальными насадками (интенсивность дождя, крупность капель, равномерность полива)..

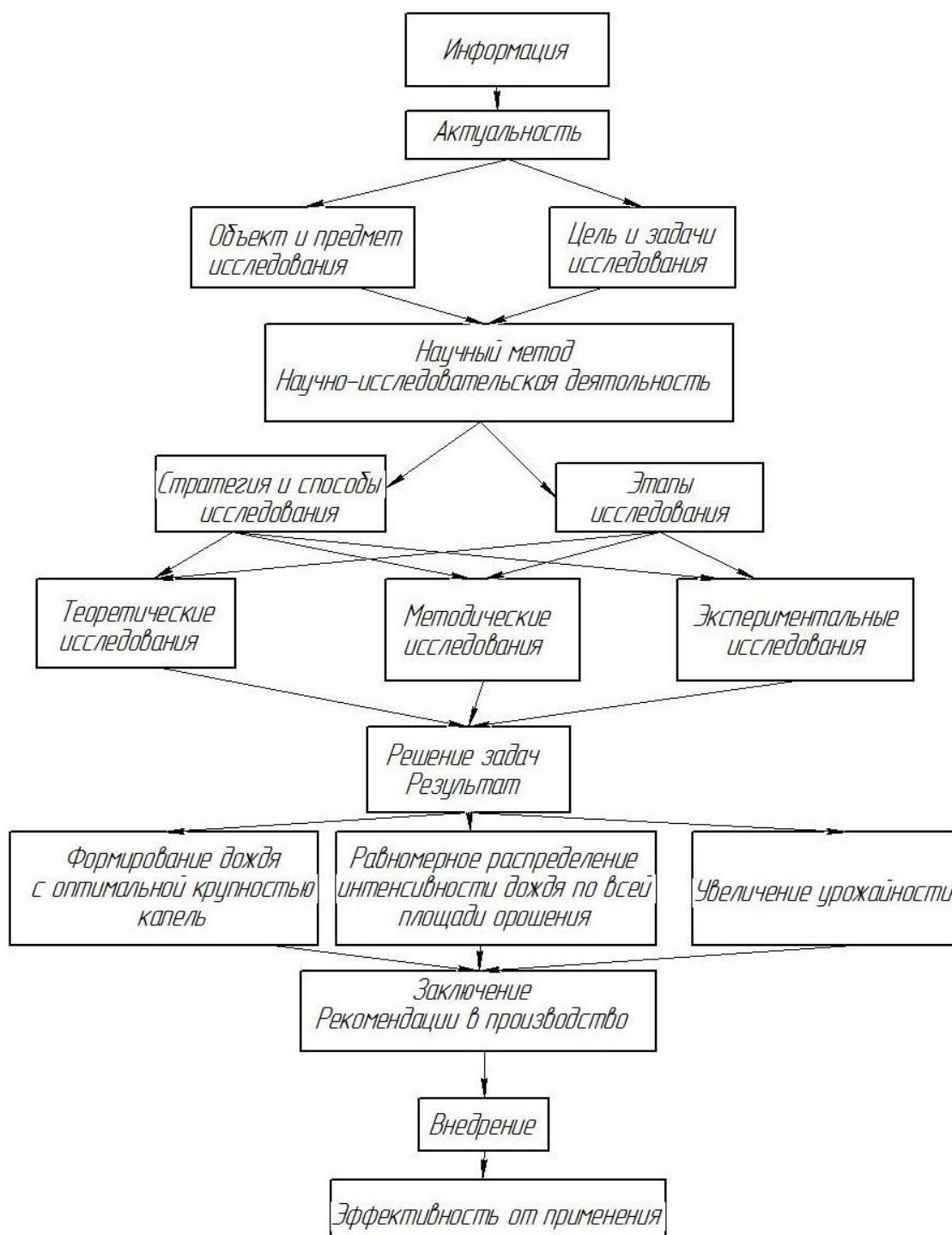


Рисунок 3.1 - Программа работы по диссертационному исследованию.

Научный метод исследования определяет стратегию и этапы исследования, включающие:

1. **Теоретические исследования** разрушения пленки воды на конусе дефлектора и образование дождя равномерно распределенного на площади полива.

2. **Методики исследования** заключаются в выборе оптимальных методов и средств сбора и обработки данных по образованию дождя дефлекторными насадками с оптимальными значениями диаметра капель и равномерности распределения их по площади орошения.
3. **Экспериментальные исследования** заключаются в сборе и обработке данных, полученных на реальных дождеобразующих устройствах в условиях лаборатории и эксплуатации ДМ «Фрегат».

Результат: Теоретически определены и экспериментально подтверждены рациональные расположение, форму и размеры канавки на конусе дефлектора Патент РФ № 2 616 842 С1 опубл. 18.04.2017 Бюл. № 11 [67]. Получен экономический эффект от внедрения разработанной конструкции насадок на ДМ «Фрегат» в ОПХ ФГБНУ «ВолжНИИГиМ».

Для подтверждения ранее разработанных теоретических и технических предпосылок выполнялись лабораторные и полевые исследования. Они осуществлялись в три этапа [59]:

I этап – исследование устройства дефлекторной насадки кругового действия с выполненной на конусе дефлектора кольцевой канавкой;

II этап – определение эксплуатационных показателей дефлекторной насадки кругового действия с выполненной на конусе дефлектора кольцевой канавкой;

III этап – агротехнические показатели при поливе ДМ «Фрегат» с дефлекторной насадкой кругового действия с выполненными на конусе дефлектора кольцевой канавкой.

На I этапе проводились лабораторные исследования устройства дефлекторной насадки с выполненными на конусе дефлектора кольцевой канавкой и определен расход воды, радиус захвата дождем и высоту подъема капель дождя в зависимости от конструктивных параметров, рабочего напора и высоты установки дождевателя над поверхностью почвы. Получены показатели средней и мгновенной интенсивности дождя, распределения крупности капель

и интенсивности дождя вдоль радиуса и на площади захвата дождем дефлекторной насадки.

На II этапе выполнялся расчет карт настройки дефлекторных насадок кругового действия с выполненной на конусе дефлектора кольцевой канавкой для ДМ «Фрегат» различных модификаций, в том числе и для низконапорных машин. Изучены эксплуатационные показатели устройств дефлекторных насадок с выполненными на конусе дефлектора канавкой и рассекателями, определены трудовые затраты на монтаж, демонтаж и регулировку высоты расположения дождевателя, металлоемкость устройств и др.

На III этапе определен расход воды ДМ «Фрегат» с устройствами дефлекторных насадок кругового действия с выполненной на конусе дефлектора кольцевой канавкой, оценили равномерность полива, потери воды на испарение и снос, норму полива до стока и сравнить с серийными дождевальными аппаратами. Изучены показатели надежности работы и вероятность засорения дефлекторных насадок. Определили динамику влажности почвы на орошаемом участке и урожайность сельскохозяйственных культур при поливе ДМ «Фрегат» с серийными дождевальными аппаратами и с устройствами дефлекторных насадок с выполненными на конусе дефлектора канавкой и рассекателями.

3.2. Программа и методика лабораторных исследований

Лабораторные исследования проводились в соответствии с требованиями СТО АИСТ 11.1 – 2010 [45]. Использовался стенд, который состоит из электродвигателя с центробежным насосом, забор воды в трубопровод производился из емкости. Дефлекторная насадка с канавкой и рассекателем устанавливался на высоте 2,2 м на кронштейне. С помощью электродвигателя центробежный насос из емкости подает воду в трубопровод, а затем через

напорный рукав к кронштейну, на котором монтируется дождевальная дефлекторная насадка. Манометрами ГОСТ 6521-60 определялось давление на входе в трубопровод и перед насадкой. Излишки воды в трубопроводе сбрасывалась обратно в емкость. Объемным методом определялся расход воды. Необходимое давление на выходе струи регулировалось дифференциальным клапаном и измерялось на расстоянии 3-5 мм от края насадки с помощью трубки Пито. Забор воды из насадки выполнялся с помощью заборного колпака со шлангом, который подавал воду в мерный бак объемом 50 л. Время наполнения мерного бака измерялось секундомером ГОСТ 1197-70. Расход воды насадки вычислили по формуле

$$q = \frac{V}{t} \quad (3.1)$$

где V – объем воды в мерном баке, дм^3 ;

t – продолжительность опыта, с.

Существующие формы сечений канавок, наиболее часто встречаемые на дефлекторах отечественных и зарубежных дождеобразующих устройств представлены на рисунке 3.2. Канавка на конусе дефлекторной насадки кругового действия выполнена треугольного сечения из-за меньшей трудоемкости при изготовлении [96].

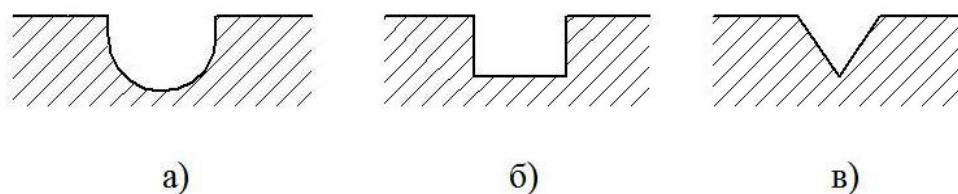


Рисунок 3.2 - Формы сечений канавок на дефлекторе дождеобразующих устройств: а) круглая; б) прямоугольная; в) треугольная.

Определяли максимальный радиус захвата дождем насадки путем измерения расстояния от проекции оси дефлектора до точки попадания крайних капель. Диаметр сопла брался средним 8 мм, дефлекторы выполнялись 9 видов:

Номер дефлектора	Ширина канавки	Расстояние начала канавки от оси дефлектора
1	3	11,3
2	3	12,8
3	3	14,1
4	4	10,3
5	4	12,4
6	4	14,1
7	5	9,4
8	5	11,75
9	5	14,1

Диаметр капли дождя определяли в начале, середине и конце струи методом приема капель на фильтровальную бумагу, предварительно тарированную, на высоте основной массы растений.



Рисунок 3.3 - Дефлектор с канавкой шириной 3 мм.



Рисунок 3.4 – Экспериментальная насадка

Средний диаметр отпечатка каждой капли d , мм, вычисляют по формуле:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}, \quad (3.2)$$

где d_1, d_2 – диаметр отпечатка капли в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, мм.

По среднему диаметру отпечатка каждой капли и тарировочной кривой вычисляли средний диаметр капли $d_{\text{ср.}}$, мм, по формуле

$$d_{\text{ср.}} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{k=1}^{n_k} d_{\text{КТ}}^3}{n_k}}, \quad (3.3)$$

где $d_{\text{КТ}}$ – диаметр капли по тарировочной кривой, мм;

n_k – число измеренных капель.

Связь между отпечатком капель и их диаметром устанавливается по тарировочной кривой (рис. 3.5)

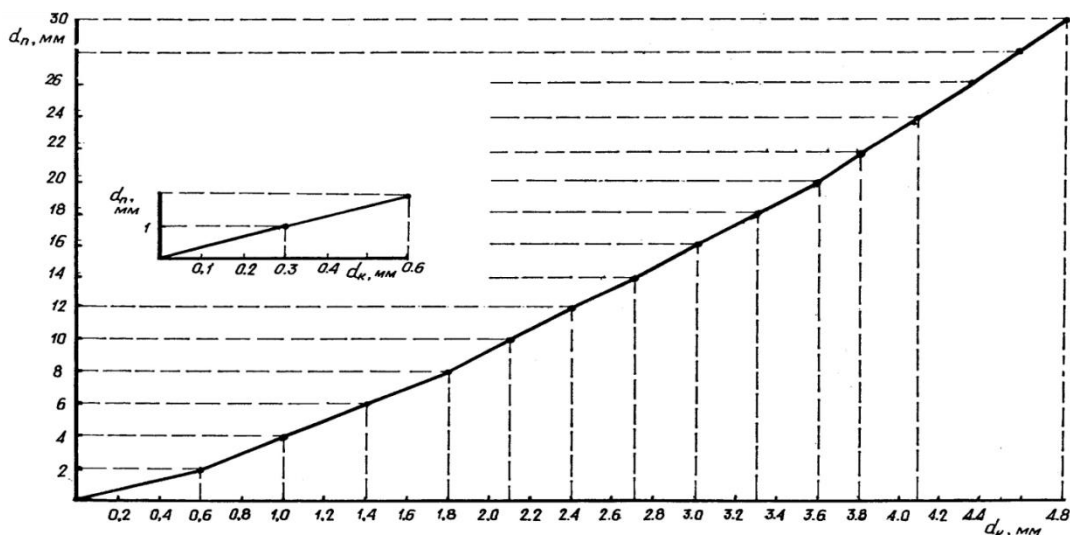


Рисунок 3.5 -Тарировочная кривая для определения диаметра капли дождя по диаметру пятна на фильтровальной бумаге

Интенсивность дождя и слой осадков за один проход определяли по объему воды, подаваемой дождевальной машиной в единицу времени на определенную площадь.

Интенсивность дождя ρ_i , мм/мин, вычисляли по формуле

$$\rho_i = \frac{10V_i}{S_{д_i}t_{д_i}}, \quad (3.4) \quad \text{где } V_i - \text{объем}$$

воды, см³;

$S_{д_i}$ – приемная площадь, см²;

$t_{д_i}$ – продолжительность заполнения, мин.

Для определения эпюр распределения слоя дождя в секторе круга располагались дождемеры по радиусам с центральным углом 5..30° от оси насадки (рис. 3.5)

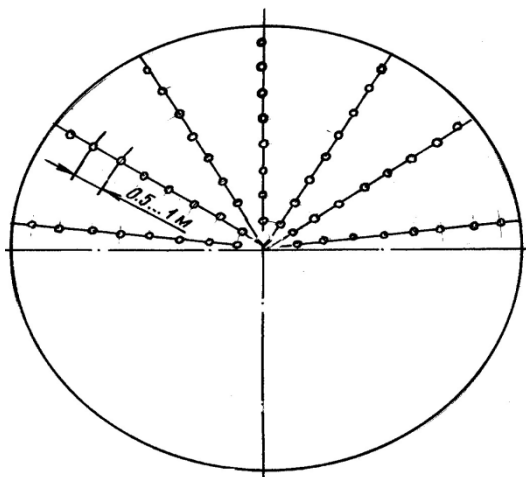


Рисунок 3.6 - Схема расстановки дождемеров по радиусам с центральным углом 60° для определения распределения дождя при поливе дефлекторной насадки

Нормативная интенсивность дождя в i -той точке определялась по формуле:

$$\rho_{д} = \frac{\rho_i}{\rho_c}, \quad (3.5)$$

где ρ_c – средняя интенсивность дождя вдоль радиуса захвата дождем, мм/мин.

ρ_i – интенсивность дождя в i -той точке радиуса захвата дождем, мм/мин, которая находится по формуле:

$$\rho_i = \frac{V_i \cdot 10}{A} \cdot \frac{1}{t}, \quad (3.6)$$

где V_i – объем воды в i -том дождемере, мм³;

A – площадь приемного отверстия дождемера, см²;

t – время испытания, мин.

Слой осадков за один проход h_i , мм, вычисляли по формуле

$$h_i = \frac{10V_i}{S_{д_i} n_n}, \quad (3.7)$$

где n_n – число проходов машины, шт.

3.2.1. Методика исследования крупности капель дождя при поливе дефлекторной насадкой

Цель исследования - определить математические модели влияния конструктивных параметров и давления перед входом на крупность капель при поливе дождевальной насадки[28].

В соответствии с формулировкой цели исследования за параметр оптимизации принято:

d_k – диаметр капель при дождевании дефлекторной насадки, мм.

Выбранный параметр является количественным, задается числом. Мы умеем его измерять при любой возможной комбинации режимов восстановления.

Если под фактором принимать переменную величину, принимающую в некоторый момент времени определенное значение, то в данном случае существенными факторами являются:

$X_1 - H$ – давление воды, МПа;

$X_2 - D$ – диаметр отверстия сопла, мм;

$X_3 - L_K$ – ширина канавки, мм.

Выбранные факторы контролируемые, управляемые, количественные и совместимые.

На основе априорной информации, предварительных экспериментов и расчетов:

- область определения давления воды перед дефлекторной насадкой выбрана в диапазоне 0,02 – 0,18 МПа;

- область определения диаметра отверстия сопла выбрана в интервале 4 – 10 мм;

- область определения ширины канавки на конусе дефлекторной насадки выбрано в интервале 3 – 5 мм;

При выборе интервалов варьирования факторов учтены:

1. Точность фиксирования значений факторов.
2. Существующие в реальных условиях режимы изменения давления.
3. Наличие расходов.
4. Технические характеристики дождевальных машин, на которых применяются дефлекторные насадки.
5. Эксплуатационные показатели.

Таблица 3.1

	Уровни	Факторы		
		X ₁ , МПа	X ₂ , мм	X ₃ , мм
1	Основной	0,1	7	4
2	Интервал варьирования	0,08	3	1
3	Верхний уровень	0,18	10	5
4	Нижний уровень	0,02	4	3

Для исключения влияния систематических ошибок, возникающих при воздействии внешних условий, последовательность проведения опытов выбиралась по таблице случайных чисел.

Система смешивания оценок

№	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y
1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	Y ₁
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	Y ₂
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	Y ₃
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y ₄
5	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	Y ₅
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	Y ₆
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	Y ₇
8	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	Y ₈

Необходимость проведения параллельных опытов возникает для исключения грубых ошибок при наблюдениях и оценке дисперсии воспроизводимости. При проведении априорного ранжирования факторов (психологического эксперимента) число параллельных опытов было выбрано равным 3.

Для исключения влияния систематических ошибок, возникающих при воздействии внешних условий, последовательность проведения опытов выбиралась по таблице случайных чисел.

Испытания дефлекторной насадки с канавкой для определения равномерности распределения интенсивности дождя по площади орошения и определения крупности капель проводились на подготовленном ровном участке. В центре участка был установлен стенд высотой 2,2 м (Рисунок 3.7). От стенда по радиусу на расстоянии 0,5 м друг от друга размещались мерные сосуды в три ряда под углом 30° относительно центрального ряда [36].



Рисунок 3.7 - Стенд с насадкой и дождемерами.

Вначале на стенд устанавливались насадки с шириной канавки 3 мм и тремя различными положениями относительно оси насадки. С помощью крана регулирующего крана поддерживалось давления воды 0,02 МПа, 0,1 МПа, 0,18 МПа в течении 20 минут для каждого опыта. Таким же образом испытывались насадки с канавкой шириной 4 и 5 мм с различными положениями.

Во время испытания каплемером с нанесенной на лакмусовую бумагу чернилами измерялись количество и диаметр отпечаток капель на трех расстояниях от стенда. По среднему диаметру отпечатков капель рассчитывался реальный диаметр капель при орошении данной насадки.



Рисунок 3.8 - Испытания дефлекторной насадки с канавкой.

После проведения опыта мерным сосудом был измерен объем воды в каждом сосуде на каждом расстоянии от стенда. Данные фиксировались, и вычислялась для каждого опыта средняя интенсивность дождя насадки. Равномерность полива дефлекторной насадкой с разными шириной и расположениями канавки определялся коэффициентом равномерности по Кристиансену [87]:

$$\sigma_{\text{кр}} = 100 \left(1 - \frac{\sum /h_i - h_c/}{h_c \cdot n} \right), \quad (3.8)$$

где $/h_i - h_c/$ - это абсолютная величина отклонения измерений от среднего слоя осадков;

h_c - средний слой осадков, мм;

n - количество измерений.

3.2.2. Методика обработки экспериментальных данных

Для оценки достоверности экспериментальных данных использовался метод математической статистики [3, 65]. Полученные в результате исследований данные обрабатывались путем вычисления:

- средней величиной распределения:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3.9)$$

где X_i - сумма всех отдельных результатов;

n - количество параллельных измерений;

- дисперсии распределения:

$$D = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}, \quad (3.10) \quad \text{где } X_i - \text{результат}$$

отдельного опыта;

- среднеквадратичным отклонением:

$$D_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}}; \quad (3.11)$$

- коэффициентом вариации:

$$K_V = \frac{D_x}{\bar{X}}. \quad (3.12)$$

Минимальное количество наблюдений в опытах принимаем равным трем.

3.3. Методика проведения полевых исследований

Полевые исследования были проведены на полях ОПХ «ВолжНИИГиМ» (рисунок 3.10) согласно стандарту организации испытания сельскохозяйственной техники «Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей» СТО АИСТ 11.1 – 2010 [45]. Подача воды производилась с помощью двух насосных агрегатов СПС – 70/80 из стационарной подкачивающей насосной станции с помощью двух насосных агрегатов СПС – 70/80. В ОПХ «ВолжНИИГиМ» оросительная сеть сделана из стальных труб диаметрами: 250 мм длиной 1540 м, 300 мм длиной 1870 м и 300 мм длиной 600 м.

На опытных полях полив сельскохозяйственных культур производится с помощью ДМ «Фрегат» различных модификаций. На напорном коллекторе система задвижек А, В, С, D насосной станции может реализовать различные варианты работы дождевальных машин с различным давлением в зависимости от необходимости при орошении. К оросительной системе подключен сторонний потребитель через задвижку Е.

В соответствии с требованиями СТО АИСТ 11.1 - 2010 «Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей» проводилась агротехническая оценка работы ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками кругового действия разработки ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» и с дефлекторной насадкой кругового действия с канавкой по окружности.

Полив производился с помощью ДМ «Фрегат» кругового действия длиной 330 м. Дождемеры расставлялись по всему радиусу захвата машины в три луча через каждые 1,5 метра. Угол между лучами составлял 3° (рисунок 3.9) [27].

На расстоянии 8 м от машины были измерены температура воздуха и воды с помощью термометра ГОСТ 112-78 и влажность воздуха с помощью гигрометра ГОСТ 8.758-2011.

Рабочее давление машины регулировалась гидравлической задвижкой в пределах $0,4 \div 0,5$ МПа с помощью манометра ГОСТ 2405-88 с показателем, превышающим рабочее давление на 50%.

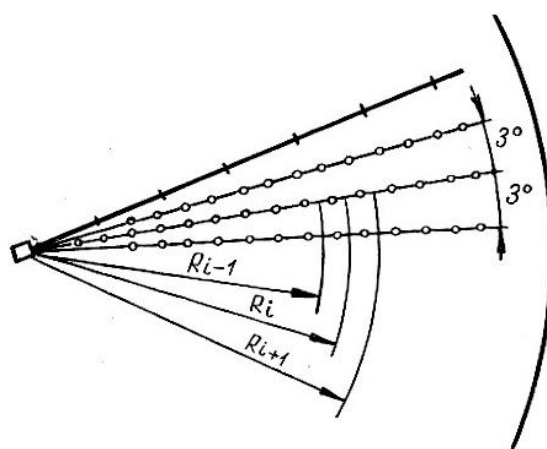


Рисунок 3.9 – Схема расстановки дождемеров для оценки равномерности полива ДМ «Фрегат» и радиусы для определения коэффициента площади под i -м дождемером.

Рабочую скорость машины определяли в трехкратной повторности, измеряя длину пути и время, за которое машина прошла этот путь. Для определения скорости дождевальной машины использовалась формула:

$$v = \frac{L}{t}, \quad (3.12)$$

где L – длина пути вперед, м;

t – продолжительность движения машины, с.

Диаметр сопла насадок по всей длине брался от 3 до 10 мм [94]. Испытания проводились в трехкратной повторности при ширине канавок 3 мм, 4 мм и 5 мм.

Выдаваемый машиной расход воды определялся объемным методом сбором воды в мерный бак объемом 50 л в строго вертикальном положении, измеряя при этом давление воды при выходе из насадки и засекая время секундомером ГОСТ 5072-79. Сбор воды осуществлялся с помощью трубки пито, надеваемую на дефлекторную насадку с диаметром шланга 80 мм.

Расход воды по i -тому дождемеру ($q_i, \text{дм}^3/\text{с}$) вычисляется по формуле:

$$q_i = \frac{V_i}{t_i}, \quad (3.13)$$

где V_i – объем воды в i -том мерном баке, дм^3 ;

t_i – продолжительность повторности опыта при i -ой насадке, с.

Общий расход ДМ «Фрегат» определялся по формуле:

$$Q_M = \sum_{i=1}^{n_H} q_i, \quad (3.14)$$

где n_H – число насадок, шт.

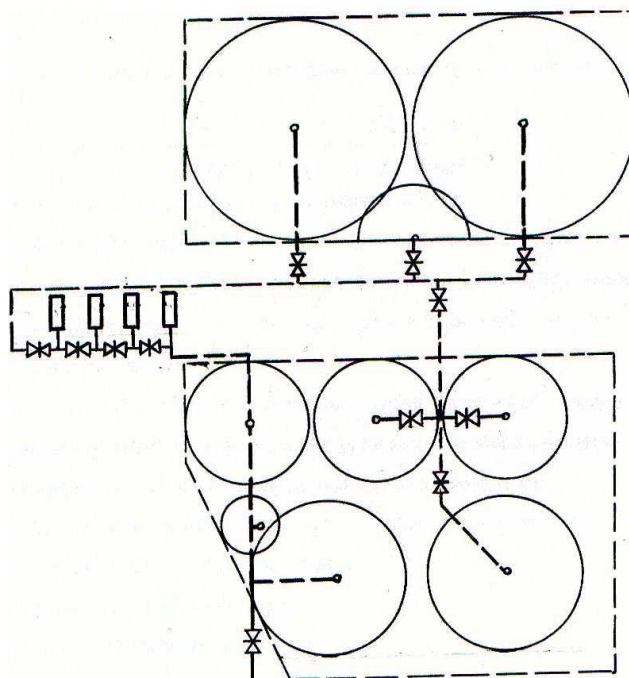


Рисунок 3.10 - Схема орошаемого участка в ОПХ «ВолжНИИГиМ»

После окончания полива с помощью мерных цилиндров ГОСТ 1770-74 измерялись объем воды в каждом дождемере, результаты фиксировались с погрешностью ± 5 мл в форму Б.8 и на масштабный план расстановки дождемеров на миллиметровой бумаге.

По крайним каплям дождя был определен радиус полива. Формула для определения радиуса полив R , м:

$$R = \sqrt{\frac{S_{\Pi}}{\pi}}, \quad (3.15)$$

где S_{Π} – площадь полива позиции без перекрытия, м².

Данные записаны в форму Б.9 с погрешностью ± 1 см.

Интенсивность дождя по i -тому дождемеру (ρ_i мм/мин) вычислялся по формуле:

$$\rho_i = \frac{10 \cdot V_i}{S_{Д_i} \cdot t_{Д_i}}, \quad (3.16)$$

где V_i – объем воды по i -у дождемеру, см³;

$S_{Д_i}$ – приемная площадь i -о дождемера, см²;

$t_{Д_i}$ – продолжительность заполнения i -о дождемера, мин.

Для определения слоя осадков h_i для i -того дождемера воспользовались формулой:

$$h_i = \frac{10 \cdot V_i}{S_{Д_i} \cdot n_{\Pi}}, \quad (3.17)$$

где n_{Π} – число проходов машины, шт.

Среднюю интенсивность дождя определяли статическим методом как среднюю арифметическую интенсивность из всех значений в точках площади полива с перекрытием и без перекрытия.

Определили распределение интенсивности дождя по всей площади орошения дефлекторной насадки кругового действия с кольцевой канавкой и представили в виде схемы на рисунке 3.10.

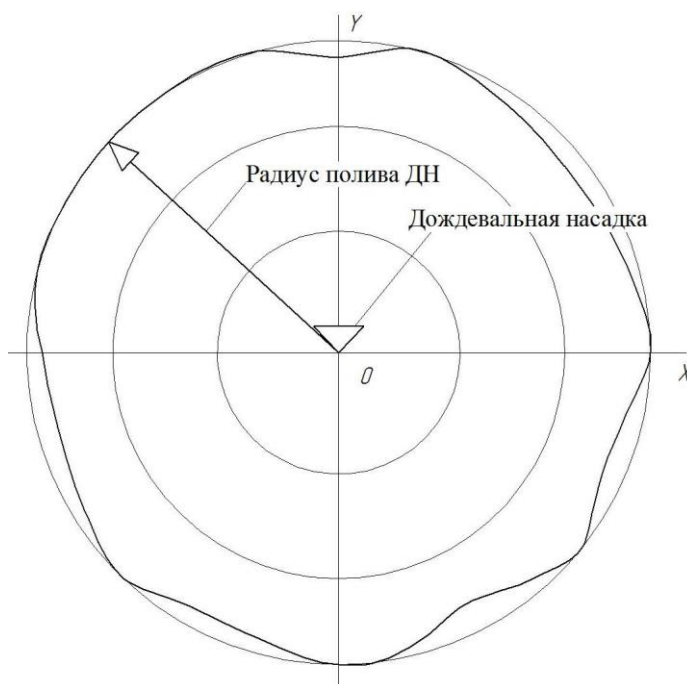


Рисунок 3.10 - Схема площади орошения дождевальной насадкой

При поливе ДМ «Фрегат» коэффициент эффективного полива вычислялся по выражению [21]:

$$K_{\text{эф}} = \frac{S_{\text{эф}}}{S_{\text{об}}}, \quad (3.18)$$

где $S_{\text{эф}}$ – площадь эффективного полива, га (м^2);

$S_{\text{об}}$ – общая площадь орошения, га (м^2).

Коэффициент недостаточного полива $K_{\text{нед}}$, вычислялся по формуле

$$K_{\text{нед}} = \frac{S_{\text{нед}}}{S_{\text{об}}}, \quad (3.19)$$

где $S_{\text{нед}}$ – площадь недостаточного полива, га (м^2).

Коэффициент избыточного полива $K_{\text{изб}}$, вычислялся по формуле

$$K_{\text{изб}} = \frac{S_{\text{изб}}}{S_{\text{об}}}, \quad (3.20)$$

где $S_{\text{изб}}$ – площадь избыточного полива, га (м^2).

Расход воды по дождемерам $Q_{\text{д}}$, $\text{дм}^3/\text{с}$ вычислялся по формуле

$$Q_{\text{д}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{к}_i}, \quad (3.21)$$

где $Q_{\text{к}_i}$ – расход воды по i -у классу, $\text{дм}^3/\text{с}$.

Расход воды $Q_{\text{к}_i}$, $\text{дм}^3/\text{с}$, по i -у классу вычисляли по формуле

$$Q_{\text{к}_i} = \frac{F_i P_i n_i'}{60}, \quad (3.22)$$

где F_i – площадь, приходящаяся на i -й дождемер, м^2 ;

P_i – среднее арифметическое значение класса, $\text{мм}/\text{мин}$;

n_i' – число случаев в классе.

В движении расход воды в целом по машине определялся по формуле:

$$Q_{\text{д}} = \sum_{i=1}^{n_z} Q_{\text{к}_i}, \quad (3.23)$$

где n_z – принятое число классов;

Расход воды на испарение и снос вычислялся по формуле:

$$Q_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{к}_i} - Q_{\text{д}}}{Q_{\text{д}}}. \quad (3.24)$$

Коэффициент земельного использования площади орошаемого участка $K_{\text{з.и}}$, вычисляли по формуле

$$K_{\text{з.и}} = \frac{S_{\text{ну}}}{S_{\text{г}}}, \quad (3.25)$$

где $S_{\text{ну}}$ – площадь орошаемого участка, занятого сельскохозяйственными культурами, га;

S_6 – общая площадь орошаемого участка, включая всю внутрихозяйственную сеть, га.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Влияние формы и геометрических размеров сопла дефлекторной насадки на качество дождя

Для определения агротехнической характеристики полива дефлекторной насадки кругового действия с кольцевой канавкой необходимо определить влияние конструктивных параметров каждого элемента конструкции насадки, которые влияют на характер создаваемого дождевого облака. Прежде чем поток воды попадает на дефлектор, сопло придает ему нужную форму и турбулентность [25, 65, 77].

Основными конструктивными параметрами сопла, влияющими на характер истечения жидкости из него, являются конусность, форма и диаметр выходного отверстия. Геометрическая форма выходного отверстия сопла может быть четырех видов как показано на рисунке 4.1, которая не влияет на распределение равномерности дождя и формирование капель оптимального диаметра. Поэтому для снижения трудоемкости и себестоимости изготовления отверстия выполнены круглой формы.

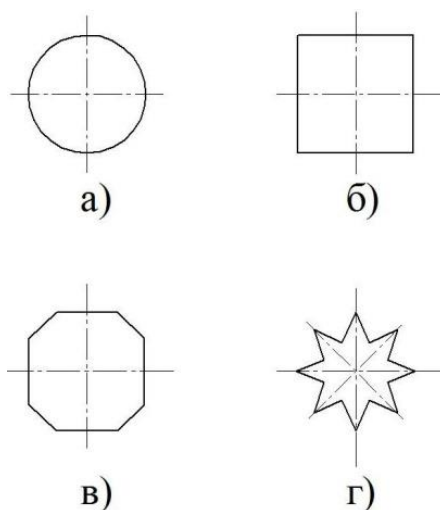


Рисунок 4.1. Форма выходного отверстия сопла: а) круглая; б) прямоугольная; в) восьмиугольная; г) звездообразная.

Величина диаметра выходного отверстия вдоль трубопровода машины изменяется в пределах 3...14 мм, в зависимости от удаления дефлекторной насадки от неподвижной опоры и напора при входе ДМ. Величина диаметра выходного отверстия сопла определяет радиус захвата и расходные характеристики насадки [74, 79].

Исследованиям значения коэффициента и величины расхода воды дождеобразующих устройств посвящены работы Лебедева Б. М. [43], Степанова П. М. [111] и Федорова И. Д. [84]

Коэффициент расхода дефлекторной насадки зависит в основном от геометрических характеристик и формы сопла насадки. Так как $\mu \neq 1$, то при конструировании формы дефлекторной насадки необходимо добиться как можно больших значений коэффициента расхода. На серийных дождевальных аппаратах ДМ «Фрегат» из-за гидравлически правильной формы коэффициент расходы воды достигает $\mu = 0,97$, а при поливе дефлекторными насадками кругового действия среднее значение μ составило 0,87. Но при закруглении кромки сопла по данным Б. М. Лебедева [43] можно принимать $\mu = 0,9$.

Коэффициент расхода воды есть отношение реального расхода насадки Q к расходу насадки идеальной жидкости Q_u , который определялся по его скорости V_u равный [88]:

$$V_u = \sqrt{2gH}, \quad (4.1)$$

где H – напор при входе в насадку, атм.

А расход насадки при поливе идеальной жидкости вычисляется:

$$Q_u = f_c V_u = f_c \varepsilon \varphi \sqrt{2gH}, \quad (4.2)$$

где ε – коэффициент сжатия струи;

φ – коэффициент скорости сжатой струи.

Для сопла с острой кромкой отверстия величина расхода воды Q с дефлекторной насадкой вычисляется по формуле:

$$Q = \mu f_c \sqrt{2gH}, \quad (4.3)$$

Отсюда:

$$\mu = \frac{Q}{f_c \sqrt{2gH}} = \frac{Q}{f_c v_u} = \frac{Q}{Q_u}. \quad (4.4)$$

Коэффициентом расхода жидкости μ называется произведение значений коэффициента сжатия струи ε и ее скорости φ : $\mu = \varepsilon * \varphi$ ().

Большое влияние на коэффициент расхода насадки оказывает число Рейнольдса, зависимость для коэффициентов μ , ε и φ для круглого отверстия сопла представлена на рисунке 4.2 [83].

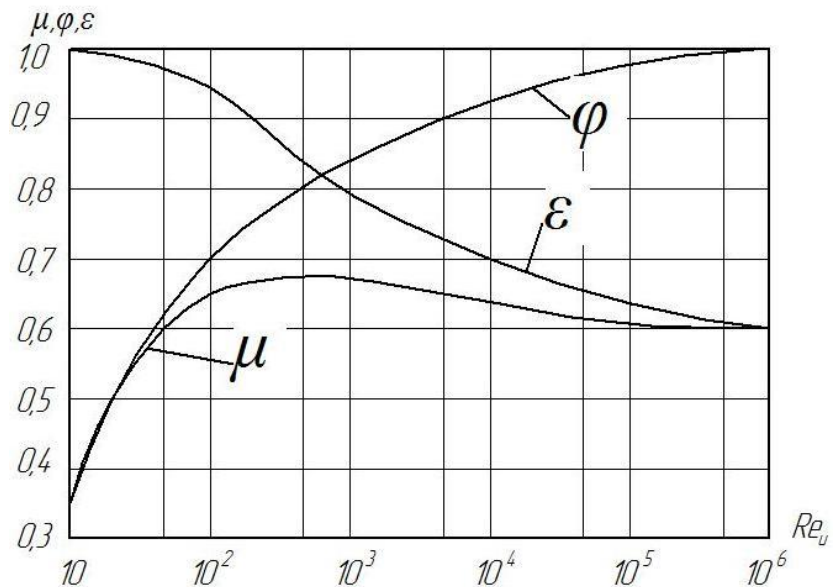


Рисунок 4.2 - Зависимость коэффициента расхода μ , коэффициента скорости истечения жидкости φ и коэффициента сжатия струи ε от числа Рейнольдса.

Увеличение числа Re означает уменьшение сил вязкости, поэтому коэффициент φ возрастает в связи с уменьшением коэффициента сопротивления ξ (влияние трения становится меньше), коэффициент ε уменьшается из-за уменьшения торможения жидкости у кромки отверстия и увеличения радиусов кривизны струи на входе в цилиндрическую часть. При $Re_u \rightarrow \infty$ значения коэффициентов приближаются к $\varphi \rightarrow 1$ и $\varepsilon \rightarrow 0,6$ и соответствуют истечению идеальной жидкости [29, 49, 105].

Коэффициент расхода μ , определяемый произведением ε на φ с увеличением Re сначала растет, что связано с ростом φ , а затем уменьшается со значительным падением ε при больших значениях Re_u равен $\mu = 0,60 \div 0,61$.

На дефлекторной насадке с канавкой по окружности сопло выполнено конусоидальной формы, что обеспечивает приблизительно естественное сжатие струи и безотрывное течение воды в параллельноструйность при выходе на конус насадки. Коэффициент расхода при такой форме сопла близок к единице и очень малые потери, а так же устойчивый режим истечения без кавитации [31, 96].

Диаметр выходного отверстия сопла на протяжении от неподвижной опоры ДМ «Фрегат» до концевого дождевального аппарата варьируется от 4 до 16 мм, что зависит от величины напора в водопроводящем поясе машины на данном участке. Длина конусной части сопла на дефлекторной насадке с канавкой составляет $l = 19 \div 22$ мм. Такая длина позволяет избежать увеличения угла корневого факела при выходе из сопла, попадание параллельной струи на конус дефлектор без существенных потерь воды [92].

Угол конуса выполняется в пределах от 30 до 60°, что обеспечивает оптимальные коэффициент расхода насадки $\mu = 0,87 \div 0,97$ и форму струи, которая воздействует на конус дефлектора. Изготовление дефлекторной насадки с канавкой с помощью литья из полимерных материалов существенно снизит трудоемкость и себестоимость продукции.

На рисунке 4.3 представлена расходно-напорная характеристика дефлекторной насадки с кольцевой канавкой. На графике дана зависимость значения расхода дефлекторных насадок при изменении напора воды при разных значениях диаметра выходного диаметра сопла (4... 15 мм)[53, 59].

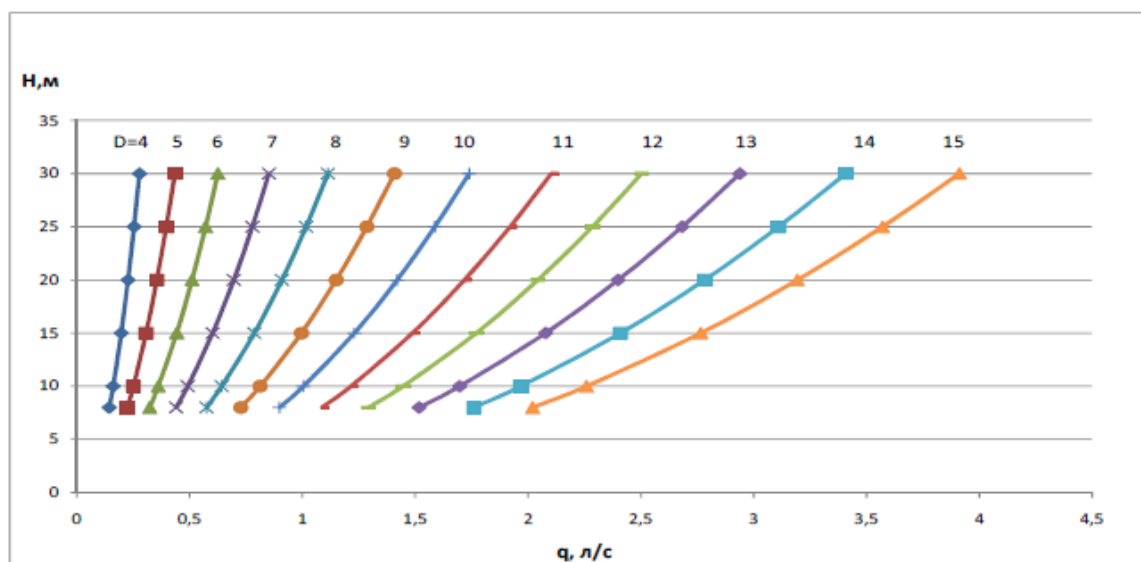


Рисунок 4.3 - Расходно-напорная характеристика дефлекторной насадки с канавкой.

Как видно из графика, что изменение напора практически менее сказывается на насадках с меньшим диаметром. А на насадках с большим диаметром расход воды существенно падает с потерей напора. На серийных ДМ «Фрегат» с удалением от неподвижной опоры изменяется и диаметр трубы с 202 мм на 178 мм, что обеспечивает небольшой перепад напора по всей длине машины. Исходя из этого, можно подобрать выходные диаметры насадок для машин разной длины и модификаций.

Исходя из выше изложенного, можно сделать вывод, что конструктивные параметры и форма сопла влияют только на расходные характеристики дефлекторной насадки и радиус ее действия, а распределение равномерности дождя по площади полива и крупность капель не зависят от сопла. Поэтому конструкцию сопла дефлекторной насадки кругового действия целесообразно оставлять неизменной как у прототипа.

4.2. Влияние формы и геометрических размеров конуса дефлектора на качество дождя

На сегодняшний день известны множества дефлекторных насадок разнообразных конструкций как отечественных, так и зарубежных ученых. Исследованиям влияния дефлектора различных конструкций дождеобразующих устройств на качество полива посвящены работы А. П. Исаева [31], Б. М. Лебедева [43], Н. Ф. Рыжко [93] и В. К. Федосеева [114]. Дефлекторные насадки, как правило, являются короткоструйными и по данным Лебедева работают при давлении 0,5 – 1,5 атм. При поливе дефлекторными насадками разработки ВолжНИИГиМ на ДМ «Фрегат» модификации ДМУ рабочее давление при входе в машину составляет 0,4÷0,7 МПа. Дефлекторные насадки создают широкий, веерообразный поток воды орошают всю прилегающую площадь, находясь на одной позиции.

Основными разновидностями дефлекторных насадок секторного и кругового действия. Они образуют тонкую водяную пленку, которая в несколько раз тоньше, чем на серийных дождевальными аппаратах ДМ «Фрегат», и меньше воздействуют на почву и растения. Секторные дефлекторные насадки орошают площадь по форме близкой к эллипсу (рисунок 4.4), а кругового действия – к кругу [93].

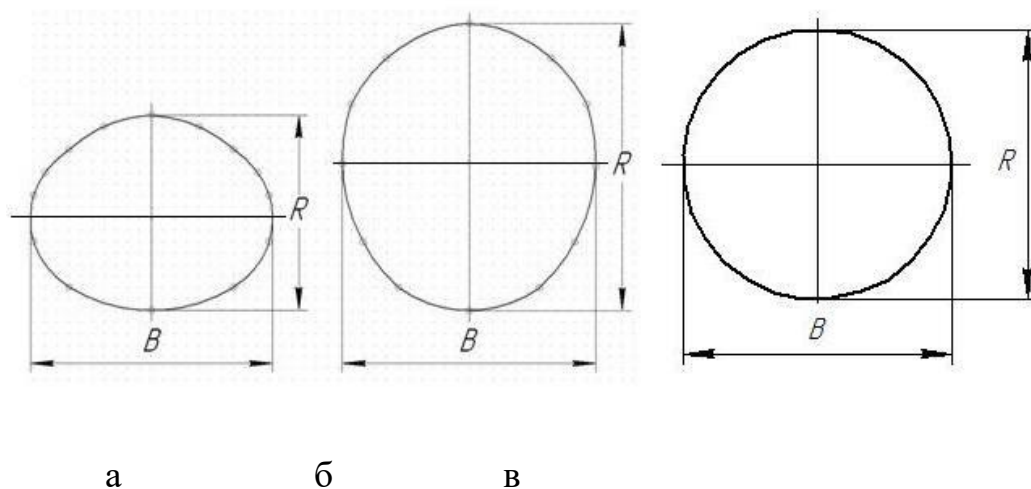


Рисунок 4.4 - Мгновенная площадь полива секторной насадки с криволинейным дефлектором $D=6$ мм, $P=0,2$ МПа (а), с плоским отражателем $D=8,5$ мм, $P=0,2$ МПа (б) и круговым дефлектором $D = 6$ мм $P=0,2$ МПа (в)

При попадании на конус дефлектор струя воды растекается по периферии и образует пленку воронкообразной формы. Далее пленка разрушается на капли различного диаметра и орошает прилегающую площадь. Важно, чтобы ось конуса и сопла насадки находились на одной оси, чтобы водяной поток равномерно распределялся по всей поверхности дефлектора, и орошение было более равномерным [62].

Таблица 4.1 – Показатели площади полива разных типов дождевальных насадок в зависимости от диаметра сопла и напора

Д, мм	Н, м вод. ст.	Р, м	В, мм	Д, мм	Н, м вод. ст.	Р, м	В, мм
Секторная насадка с плоским отражателем, угол вылета струи 30°				Секторная насадка с криволинейным дефлектором, угол вылета струи 30°			

5	10	6,5	7,0	3	10	3,8	6,5
	20	7,8	8,0		20	4,3	8,0
	30	8,4	9,0		30	4,4	10,0
8,5	10	9,0	9,0	6	10	4,6	7,7
	20	11,7	11,0		20	7,7	9,5
	30	13,0	11,5		30	8,2	11,5
10,0	10	9,8	10,0	10	10	8,8	11,0
	20	13,1	11,5		20	11,3	13,5
	30	14,7	12,5		30	12,5	15,0
Дефлекторная насадка кругового полива							
4	10	3,3	6,6	8	10	5,2	10,4
	20	3,6	7,2		20	6,5	13,0
	30	3,8	7,6		30	7,0	14,0
6	10	4,3	8,6	10	10	6,0	12,0
	20	5,2	10,4		20	7,6	15,2
	30	5,5	11,0		30	8,4	16,8
Секторная плоскоструйная насадка ДДА-100В				Дождевальная насадка i-Wob ($h_y=3,7$ м)			
13	10	5,5	11,0	3	10	6,5	13,0
	20	7,5	15,0	7	10	7,5	15,0
Дождевальная насадка Nelson ($h_y=1.2$ м)							
5,5	10	5,0	10,0				

Основными конструктивными характеристиками конуса дефлектора являются угол при вершине и диаметр конуса. По данным Б. М. Лебедева [43], насадка КДУ имела угол при вершине 120° , который обуславливает вылет потока под углом 30° к горизонту. Но при скорости ветра более 3 м/с и высоте расположения насадки на машине более 2 м это обеспечивает снос большого количества воды, а в жаркую погоду и большие показатели потери при испарении.

При разработке конструкции конуса дефлектора мы обратились к дефлекторной насадке кругового действия. Угол при вершине выполнен 140° при вылете струи под углом 20° к горизонту. Малый угол вылета обеспечивает уменьшение потерь воды, так как поток более устойчив к сносу при больших напорах, а радиус полива достигает 6 – 12 м в зависимости от напора и диаметра сопла.

Согласно исследованиям Исаева А. П. [31], радиус полива дефлекторно насадкой кругового действия зависит от длины пленки после схода с дефлектора, чем больше диаметр выходного отверстия сопла, тем длиннее пленка. Согласно лабораторным исследованиям изменение длины пленки в зависимости от напора и диаметра сопла на рисунке 4.4.

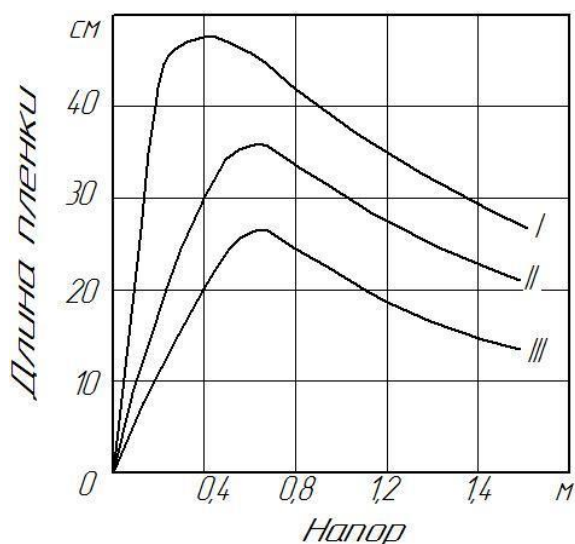


Рисунок 4.4 - Изменение длины пленки в зависимости от напора и диаметра сопла: I—диаметр сопла 14 мм; II— диаметр сопла 10 мм; III— диаметр сопла 8 мм.

Рассматривая график, можно сделать вывод, что чем больше диаметр сопла при одинаковом напоре, тем длиннее пленка, сходящая с дефлектора. В первом случае длина пленка составляет практически 50 см, затем она распадается на капли и орошает прилегающую площадь. Это обусловлено большей толщиной пленки воды на поверхности дефлектора из-за большего диаметра сопла насадки и напора. Достигнув значения напора 0,6 м, из-за существенной турбулизации потока воды длина пленки начинает снижаться на всех испытываемых насадках.

Диаметр дефлектора так же определяет толщину пленки и находится по формуле [94]:

$$D_d = 5,0 \cdot d_c, \quad (4.5)$$

где d_c – диаметр выходного отверстия сопла, мм.

Так как средний диаметр сопла дефлекторных насадок находится в пределах от 8 до 12 мм, то целесообразно выбрать диаметр 50мм.

4.3. Влияние геометрических параметров и расположения канавки на размер капель при поливе.

Для увеличения равномерности полива и получения оптимального среднего диаметра капель при поливе дефлекторной насадкой кругового действия предложена кольцевая канавка с треугольным сечением. На рисунке 4.5 представлены конструктивные характеристики данной канавки, на схеме конец канавки находится в точке C схода потока воды с дефлектора. Исследования показали, что глубина канавки h_k , угол при вершине канавки α' , угол края канавки α_k , и её ширина B_k оказывают влияние на турбулизацию движения потока воды и ее отрыв от конуса., На рисунке 4.5 рассматривается установившееся обтекание осредненным турбулентным потоком жидкости конического рассекателя с углом при вершине 2β . [7].

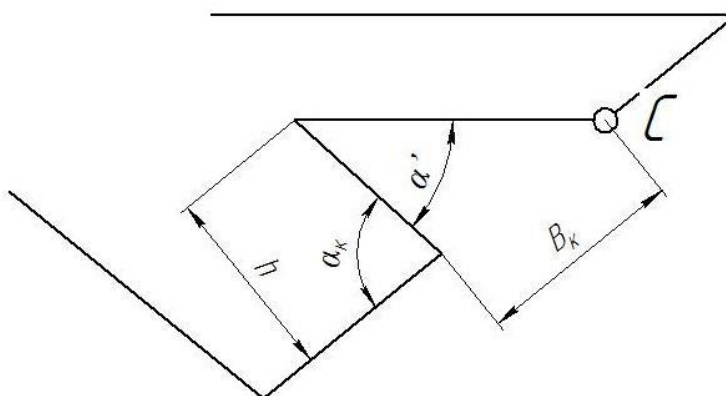


Рисунок 4.5 -Конструктивные параметры кольцевой канавки

Для определения математической модели влияния конструктивных параметров кольцевой канавки, а именно ширины B_k , мм, и расположения относительно оси дефлектора K , и давления перед входом P , Мпа, на крупность капель при проведении многофакторного эксперимента необходимо произвести расчет дисперсии полученных параметров оптимизации и получить графическую интерпретацию их влияния [28].

Результаты исследования представлены в виде матрицы планирования и результатов опытов, расчет ошибки параллельных опытов и дисперсии параметров оптимизации.

Таблица 4.2. Матрица планирования и результатов опыта

Номер опыта в матрице	Случайный порядок проведения опыта	X ₁		X ₂		X ₃		Y
		код	МПа	код	мм	код		мм
1	13	-	0,02	-	3	+	3	0,6
	4							0,8
	3							0,7
2	23	+	0,18	-	3	-	1	0,4
	15							1,4
	18							0,6
3	8	-	0,02	+	5	-	1	1,2
	16							0,5
	24							0,7
4	19	+	0,18	+	5	+	3	1,6
	9							1,4
	5							1,0
5	7	-	0,02	-	3	-	1	0,5
	21							0,4
	10							0,6
6	2	+	0,18	-	3	+	3	0,3
	12							0,7
	14							0,5
7	22	-	0,02	+	5	+	3	0,8
	1							0,9
	20							1,0
8	17	+	0,18	+	5	-	1	0,8
	6							1,5
	11							1,2

Таблица 4.3. Расчет дисперсий параметра оптимизации и определение ошибки параллельных опытов

Номер опыта в матрице	Случайный порядок проведения опыта	Диаметр капель, (мм), Y	\bar{Y}	$Y - \bar{Y}$	$(Y - \bar{Y})^2$	$\Sigma(Y - \bar{Y})^2$	$S^2 = \frac{\Sigma(Y - \bar{Y})^2}{n - 1}$	$S = \sqrt{S^2}$	$\frac{ Y - \bar{Y} }{S} \geq t_{cr}$
1	13	0,6	0,7	-0,1	0,01	0,02	0,01	0,1	1
	4	0,8		0,1	0,01				1

	3	0,7		0	0				0
2	23	0,4	0,8	-0,4	0,16	0,56	0,28	0,53	0,75
	15	1,4		0,6	0,36				1,13
	18	0,6		-0,2	0,04				0,38
3	8	1,2	0,8	0,4	0,16	0,26	0,13	0,36	1,11
	16	0,5		-0,3	0,09				0,83
	24	0,7		-0,1	0,01				0,28
4	19	1,6	1,33	0,27	0,0729	0,1864	0,0932	0,31	0,87
	9	1,4		0,07	0,0049				0,23
	5	1,0		-0,33	0,1089				1,06
5	7	0,5	0,5	0	0	0,17	0,085	0,29	0
	21	0,4		-0,4	0,16				1,38
	10	0,6		0,1	0,01				0,34
6	2	0,3	0,5	-0,2	0,04	0,08	0,04	0,2	1
	12	0,7		0,2	0,04				1
	14	0,5		0	0				0
7	22	0,8	0,9	-0,1	0,01	0,02	0,01	0,1	1
	1	0,9		0	0				0
	20	1,0		0,1	0,01				1
8	17	0,8	1,16	-0,36	0,1296	0,2468	0,1234	0,35	1,03
	6	1,5		0,34	0,1156				0,97
	11	1,2		0,04	0,0016				0,11

$$\Sigma S^2 = 0,7712$$

Для определения возможности определения регрессионного анализа рассчитаем однородности дисперсий параллельных опытов по критерию Кохрена:

$$\sigma_p = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^N S^2} = \frac{0,28}{0,7712} = 0,36 \quad (4.6)$$

где S_{max}^2 – наибольшая дисперсия;

$\sum_{i=1}^N S^2$ – сумма дисперсий опытов.

Расчетное значение критерия сравниваем с табличным для степеней свободы:

$$- \text{числителя } f_1 = I - 1 = 3 - 1 = 2$$

где I – число параллельных опытов;

$$- \text{знаменателя } f_2 = N = 8$$

где N – число опытов.

в соответствии при выбранном уровне значимости = 0,05

$$\sigma_{\text{табл}} = 0,515 > \sigma_p = 0,36 \quad (4.7)$$

Следовательно, гипотеза об однородности дисперсий параллельных опытов принимается.

Отсюда дисперсия воспроизводимости:

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum S^2 = \frac{0,28}{8} = 0,035 \quad (4.8)$$

Ошибка эксперимента $S = \sqrt{0,035} = 0,19$

$$b_0 = \frac{0,7 + 0,8 + 0,8 + 1,33 + 0,5 + 0,5 + 0,9 + 1,16}{8} = 0,84$$

$$b_1 = \frac{-0,7 + 0,8 - 0,8 + 1,33 - 0,5 + 0,5 - 0,9 + 1,16}{8} = 0,11$$

$$b_2 = \frac{-0,7 - 0,8 + 0,8 + 1,33 - 0,5 - 0,5 + 0,9 + 1,16}{8} = 0,21$$

$$b_3 = \frac{0,7 - 0,8 - 0,8 + 1,33 - 0,5 + 0,5 + 0,9 - 1,16}{8} = 0,02$$

$$b_{12} = \frac{0,7 - 0,8 - 0,8 + 1,33 + 0,5 - 0,5 - 0,9 + 1,16}{8} = 0,09$$

$$b_{13} = \frac{-0,7 - 0,8 + 0,8 + 1,33 + 0,5 + 0,5 - 0,9 - 1,16}{8} = -0,05$$

$$b_{23} = \frac{-0,7 + 0,8 - 0,8 + 1,33 + 0,5 - 0,5 + 0,9 - 1,16}{8} = 0,04$$

$$b_{123} = \frac{0,7 + 0,8 + 0,8 + 1,33 - 0,5 - 0,5 - 0,9 - 1,16}{8} = 0,07$$

После расчета всех коэффициентов уравнение имеет вид:

$$Y = 0,84X_1 + 0,11X_2 + 0,21X_3 + 0,02X_{1,2} + 0,09X_{1,3} - 0,05X_{2,3} + 0,04X_{1,2,3}$$

Расчет адекватности модели:

$$Y_1 = 0,84(+1) + 0,11(-1) + 0,21(-1) + 0,02(+1) + 0,09(+1) - 0,05(-1) + 0,04(-1) + 0,07(+1) = 0,71;$$

$$Y_2 = 0,84(+1) + 0,11(+1) + 0,21(-1) + 0,02(-1) + 0,09(-1) - 0,05(-1) + 0,04(+1) + 0,07(+1) = 0,79;$$

$$Y_3 = 0,84(+1) + 0,11(-1) + 0,21(+1) + 0,02(-1) + 0,09(-1) - 0,05(+1) + 0,04(-1) + 0,07(+1) = 0,81;$$

$$Y_4 = 0,84(+1) + 0,11(+1) + 0,21(+1) + 0,02(+1) + 0,09(+1) - 0,05(+1) + 0,04(+1) + 0,07(+1) = 1,33;$$

$$Y_5 = 0,84(+1) + 0,11(-1) + 0,21(-1) + 0,02(-1) + 0,09(+1) - 0,05(+1) + 0,04(+1) + 0,07(-1) = 0,51;$$

$$Y_6=0,84(+1)+0,11(+1)+0,21(-1)+0,02(+1)+0,09(-1)-0,05(+1)+0,04(-1)+0,07(-1)=0,51;$$

$$Y_7=0,84(+1)+0,11(-1)+0,21(+1)+0,02(+1)+0,09(-1)-0,05(-1)+0,04(+1)+0,07(-1)=0,89;$$

$$Y_8=0,84(+1)+0,11(+1)+0,21(+1)+0,02(-1)+0,09(+1)-0,05(-1)+0,04(-1)+0,07(-1)=1,17.$$

Таблица 4.3 - Расчет дисперсии адекватности

№ опыта	\bar{Y}	\hat{Y}	$\bar{Y} - \hat{Y}$	$(\bar{Y} - \hat{Y})^2$
1	0,7	0,71	-0,01	0,0001
2	0,8	0,79	0,01	0,0001
3	0,8	0,81	-0,01	0,0001
4	1,33	1,33	0	0
5	0,5	0,51	-0,01	0,0001
6	0,5	0,51	-0,01	0,0001
7	0,9	0,89	0,01	0,0001
8	1,16	1,17	-0,01	0,0001
				$\Sigma 0,0007$

Гипотезу адекватности уравнения проверили по критерию Фишера:

$$F_{ад} = \frac{S_{ад}}{S_Y^2} = \frac{0,0007}{0,035} = 0,02$$

Экспериментальная величина не превысила табличную, равную для степеней свободы $f_1 = I - 1 = 3 - 1 = 1$ и $f_2 = N = 8$ и соответственно при выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$:

$$F_{табл} = 4,5; \quad F_{расч} = 0,02. \quad (4.9)$$

Следовательно, гипотеза адекватности модели принимается.

Проверку статистической значимости коэффициентов проводили с помощью критерия Стьюдента.

Для полного факторного эксперимента ошибка всех коэффициентов равны между собой и определяются по формуле:

$$S_{bi} = \frac{S}{\sqrt{N \cdot I}} = \frac{0,19}{24} = 0,008$$

Для определения доверительного интервала выбрано значение:

$$t_{табл} = 2,3$$

Доверительный интервал:

$$\Delta b_i = t_{табл} S_{bi} = 2,3 \cdot 0,008 = 0,0184$$

Критическое значение $t_{кр}$ выбираем по таблице распределения Стьюдента для числа степеней свободы $f = N(I-1) = 8(2-1) = 8$ в принятом уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Все коэффициенты статически значимы.

Заменяя кодовые значения факторов в уравнении регрессии (4.4) на натуральные, получим уравнение в натуральной форме (Приложение А):

$$Y = - 0,15 - 0,084h + 0,13b - 0,138n + 0,09hb - 0,005hn + 0,04bn \quad (4.10)$$

Графическая интерпретация полученного уравнения в виде поверхностей разного отклика позволила построить факторную область оптимальных конструктивных и технологических параметров канавки дефлектора насадки, влияющих на получение оптимального диаметра капель при орошении ДМ «Фрегат».

Физический смысл полученного графика следующий:

- нижняя поверхность, ограничивающая факторную область, определяется давлением воды перед входом в насадку P и ширине канавки B_k на дефлекторе.
- Верхняя поверхность, ограничивающая факторную область, определяет средний диаметр капель d_k при поливе.

Любая точка, выбранная в факторной области, позволит выбрать ширину канавки на дефлекторе и напор воды для получения оптимального среднего диаметра капель.

Зависимость влияния давления воды перед насадкой P , МПа, и ширины канавки B_k , мм, на средний диаметр капель при поливе d_k , мм, показана на рисунке 4.6.

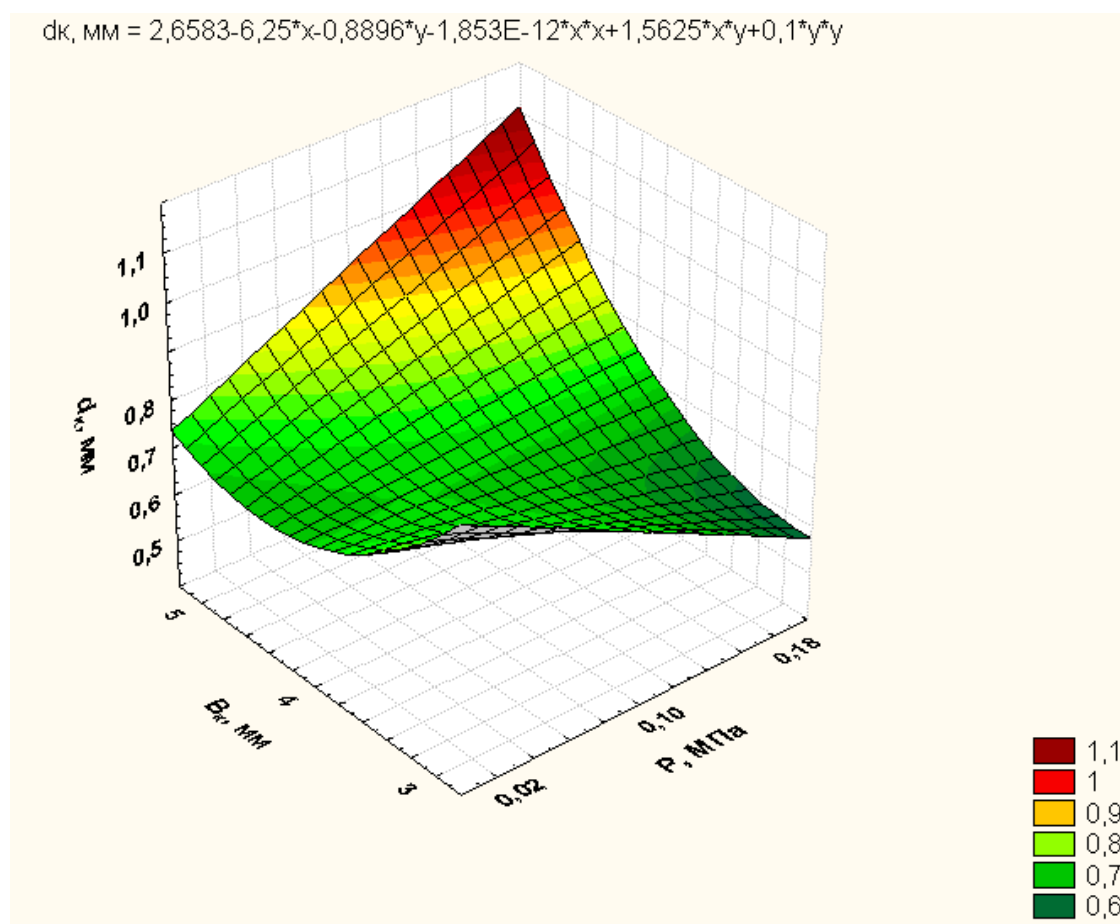


Рисунок 4.6 - Влияние параметров P , МПа, и B_k , мм, на величину среднего диаметра капель d_k , мм

Построенная поверхность представлена различными цветами, которые характеризуют средний диаметр капель d_k , мм, при поливе насадкой при разных сочетаниях P , МПа, и B_k , мм.

В результате графической интерпретации влияния напора воды перед насадкой и ширины канавки на дефлекторе на средний диаметр капель d_k , мм

(рис. 4.6) позволила определить оптимальную ширину канавки на дефлекторе. Выведена эмпирическая формула по определению диаметра капель в зависимости от напора и ширины канавки:

$$d_k = 0,1P^2 - 11B_k^2 + 1,25PB_k - 5P - 1,23B_k(4.11)$$

Как видно из графика, чем больше величина напора перед дефлекторной насадкой при ширине канавки 3 мм, тем меньше диаметр капель, которые в большей степени подвержены сносу и испарению. При больших показателях напора и ширины кольцевой канавки крупность капель значительно возрастает более 1 мм, отсюда, судя по построенной поверхности, оптимальную крупность $d_k = 0,6 - 0,8$ мм капли обретают при напоре воды 0,1 – 0,15 МПа при входе насадку при диаметре сопла 8 мм ширина канавки должна быть 3,8 – 4,3 мм, ширину канавки принимаем 4 мм[64, 99].

На рисунке 4.6 изображены диаграммы распределения капель различного диаметра при поливедефлекторной насадкой с канавкой и дефлекторной насадкой кругового действия разработки ВолжНИИГиМ [54].

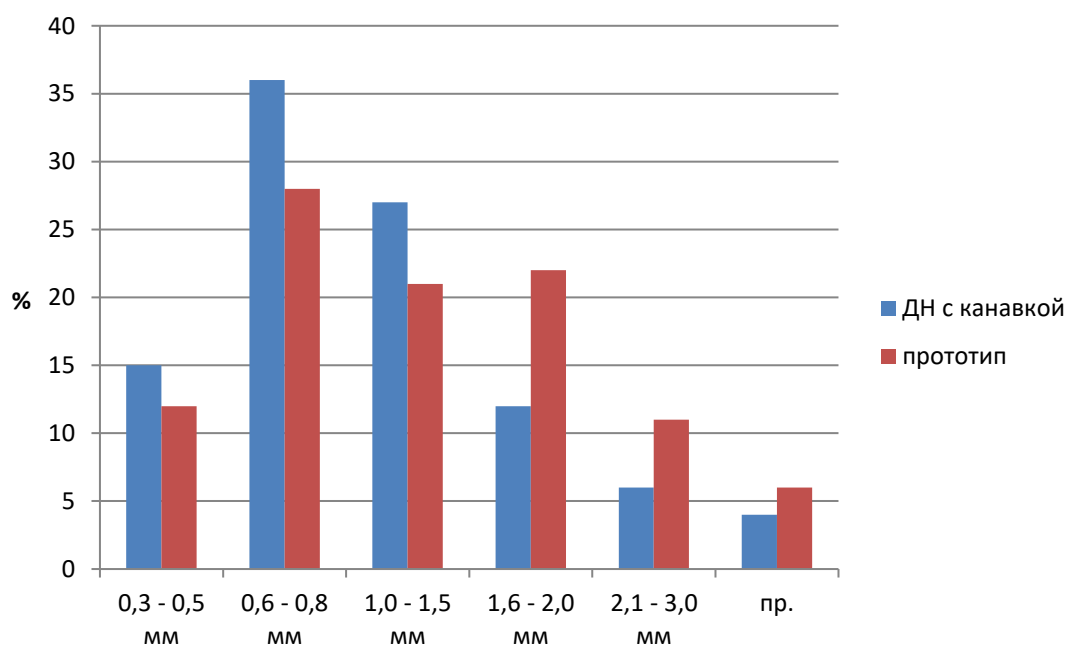


Рисунок 4.7 - Распределения капель различного диаметра при поливе

Анализируя данные диаграммы, можно заметить, что при поливе дефлекторной насадкой с канавкой процентное отношение капель диаметров 0,6 – 0,8 мм и 1,0 – 1,5 мм больше, чем при поливе дефлекторной насадкой кругового действия (на 5 % и 8 % соответственно). Капли такого размера существенно меньше оказывают негативного влияния на рассаду, сток и смыв почвы. Число капель диаметром 0,3 – 0,5 мм также больше у дефлекторной насадки с канавкой, говоря о том, что, проходя канавку, уже большее количество воды отрывается от общего потока и орошает площадь в непосредственной близости от насадки. Также у дефлекторной насадки с канавкой на 5 % меньше капель диаметром более 2 мм, чем у прототипа.

На рисунке 4.8 изображен график изменения коэффициента K_d в зависимости от расположения начала канавки от ширины канавки.

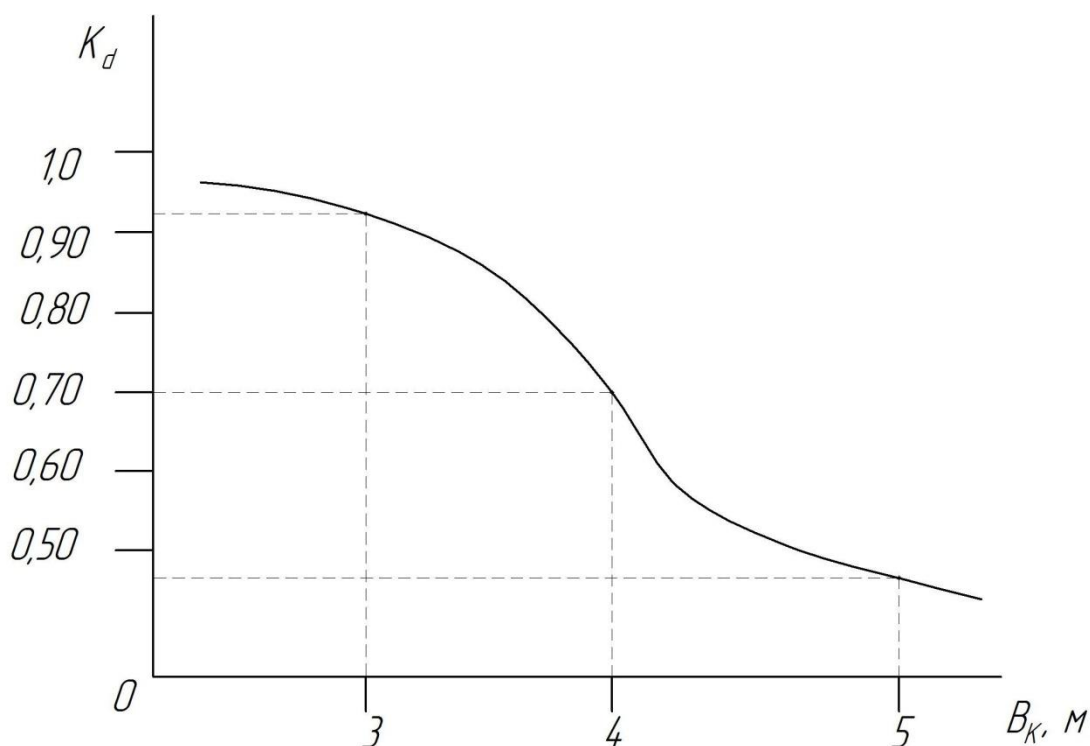


Рисунок 4.8 – Изменение коэффициента K_d в зависимости от ширины канавки.

Из графика можно заметить, что при ширине канавки 3 мм и менее коэффициент K_d более 0,9, что говорит о несущественном изменении среднего диаметра капель. При ширине канавки 5 мм и более коэффициент K_d снижается до 0,5, что говорит о формировании большого количества капель диаметром 0,2 ÷ 0,5 мм. Снижение среднего диаметра капель на 70% относительно аналоговой дефлекторной насадки наблюдается при ширине 4 мм, который будет находиться в пределах $d_k = 0,6 - 0,8$ мм.

Основываясь на экспериментальных данных, можно сделать вывод, что оптимальную крупность капель $d_k = 0,6 - 0,8$ мм при поливе дефлекторной насадкой кругового действия с диаметром отверстия сопла 8 мм при напоре воды 0,1 – 0,15 МПа можно получить при выполнении на дефлекторе кольцевой канавки шириной 4 мм. Экспериментальные данные также показали, что увеличение ширины канавки и напора ведет к существенному и резкому увеличению среднего диаметра капель в дождевом облаке насадки, что нежелательно при орошении, так как капли такого размера вредят сельскохозяйственным культурам и способствуют водной эрозии почвы.

4.4. Влияние геометрических параметров и расположения канавки на равномерность полива.

Агротехнические требования лимитируют три характеристики искусственного дождя: равномерность распределения интенсивности дождя, среднюю интенсивность и среднеобъемный диаметр капель. Анализ же показывает, что данные характеристики далеко не полностью выражают качество дождя.

При наличии критериев, характеризующих интенсивность дождя и равномерность его выпадения, среднеобъемный диаметр капель нечего не добавляет к агротехнической оценке дождевого облака.

Помимо этого, среднеобъемный диаметр капель далеко не полностью определяет структуру дождя и не характеризует картину распределения количества капель по размерам.

Дождь не оцениваться только средней величиной размера капель. Необходимо выработать более полные критерии, характеризующие еще и распределение капель по размерам.

При поливе ДМ «Фрегат» для повышения урожайности необходимо, чтобы коэффициент эффективного полива на поле был как можно большим и стремился к 100%-ному показателю. Для этого необходимо, что интенсивность полива была как можно равномерно распределена по орошаемой площади и каждое растение получило нужное количество влаги. При поливе дефлекторных насадок коэффициент равномерности полива достигает значений 55...70 %, что недостаточно, и вынудило применить расстановку дождеобразующих по учащенной схеме по трубопроводу [82, 87].

Для увеличения равномерности полива на конусе дефлектора насадки кругового действия, выполнена кольцевая канавка треугольного сечения с шириной канавки 4 мм, чтобы определить на каком расстоянии от оси дефлектора необходимо ее выполнять, был проведен многофакторный эксперимент с дефлекторами 3 видов, начало которых были на расстоянии 10,1 мм, 12,4 мм и 14,4 мм от оси насадки [44].

Для определения математической модели влияния конструктивных параметров кольцевой канавки, а именно ширины B_k , мм, расположения относительно оси дефлектора K , и давления перед входом P , Мпа, на равномерность распределения интенсивности дождя по площади орошения при проведении многофакторного эксперимента необходимо произвести расчет дисперсии полученных параметров оптимизации и получить графическую интерпретацию их влияния [28].

Результаты исследования представлены в виде матрицы планирования и результатов опытов, расчет ошибки параллельных опытов и дисперсии параметров оптимизации.

Таблица 4.4 - Матрица планирования и результатов опыта

Номер опыта в матрице	Случайный порядок проведения опыта	X ₁ , мм		X ₂		X ₃		Y
		код	Мм	код		код	Мпа	%
1	4	-	3	-	1	+	0,18	72
	3							71,9
2	14	+	5	-	1	-	0,02	69,8
	16							70,5
3	8	-	3	+	3	-	0,02	71,1
	15							73
4	9	+	5	+	3	+	0,18	78,6
	5							69,8
5	7	-	3	-	1	-	0,02	71,3
	10							70,1
6	2	+	5	-	1	+	0,18	68,4
	12							75,1
7	1	-	3	+	3	+	0,18	66,1
	13							69,9
8	6	+	5	+	3	-	0,02	73,5
	11							77

Таблица 4.5 - Расчет дисперсий параметра оптимизации и определение ошибки параллельных опытов

Номер опыта в матрице	Случайный порядок проведения опыта	Коэффициент равномерности по Кристиансену, (%), Y	\bar{Y}	$Y - \bar{Y}$	$(Y - \bar{Y})^2$	$\Sigma(Y - \bar{Y})^2$	$S^2 = \frac{\Sigma(Y - \bar{Y})^2}{n - 1}$	$S = \sqrt{S^2}$	$\frac{ Y - \bar{Y} }{S} \geq t_{cp}$
1	3	72	71,95	0,05	0,0025	0,005	0,005	0,07	0,71
	4	71,9		-0,05	0,0025				0,71
2	14	69,8	70,15	-0,35	0,1225	0,245	0,245	0,49	0,71
	16	70,5		0,35	0,1225				0,71
3	8	71,1	72,05	-0,95	0,9025	1,805	1,805	1,34	0,7
	15	73		0,95	0,9025				0,7
4	9	78,6	74,2	4,4	19,4	38,8	38,8	6,23	0,7

	5	69,8		-4,4	19,4				0,7
5	7 10	71,3 70,1	70,7	0,6 -0,6	0,36 0,36	0,72	0,72	0,85	0,7 0,7
6	2 12	68,4 75,1	71,75	-3,35 3,35	11,22 11,22	22,44	22,44	4,73	0,7 0,7
7	1 13	66,1 69,9	68	-1,9 1,9	3,61 3,61	7,22	7,22	2,69	0,7 0,7
8	6 11	73,5 77	75,3	-1,8 1,7	3,24 2,89	6,13	6,13	2,48	0,73 0,69

$$\Sigma S^2 = 76,9$$

Для определения возможности определения регрессионного анализа рассчитаем однородности дисперсий параллельных опытов по критерию Кохрена:

$$\sigma_p = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^N S^2} = \frac{38,8}{76,9} = 0,5$$

где S_{max}^2 – наибольшая дисперсия;

$\sum_{i=1}^N S^2$ – сумма дисперсий опытов.

Расчетное значение критерия сравниваем с табличным для степеней свободы:

- числителя $f_1 = I - 1 = 2 - 1 = 1$

где I – число параллельных опытов;

- знаменателя $f_2 = N = 8$

где N – число опытов.

в соответствии при выбранном уровне значимости = 0,05

$$\sigma_{табл} = 0,679 > \sigma_p = 0,5$$

Следовательно, гипотеза об однородности дисперсий параллельных опытов принимается.

Отсюда дисперсия воспроизводимости:

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum S^2 = \frac{38,8}{8} = 4,85$$

$$\text{Ошибка эксперимента } S = \sqrt{4,85} = 2,2$$

Расчетные коэффициенты уравнения:

$$b_0 = \frac{71,95 + 70,15 + 72,05 + 74,2 + 70,7 + 71,75 + 68 + 75,3}{8} = 71,76$$

$$b_1 = \frac{-71,95 + 70,15 - 72,05 + 74,2 - 70,7 + 71,75 - 68 + 75,3}{8} = 1,08$$

$$b_2 = \frac{-71,95 - 70,15 + 72,05 + 74,2 - 70,7 - 71,75 + 68 + 75,3}{8} = 0,63$$

$$b_3 = \frac{71,95 - 70,15 - 72,05 + 74,2 + 70,7 - 71,75 - 68 + 75,3}{8} = 1,28$$

$$b_{12} = \frac{71,95 - 70,15 - 72,05 + 74,2 - 70,7 + 71,75 + 68 - 75,3}{8} = -0,29$$

$$b_{13} = \frac{-71,95 - 70,15 + 72,05 + 74,2 + 70,7 + 71,75 - 68 - 75,3}{8} = 0,41$$

$$b_{23} = \frac{-71,95 + 70,15 - 72,05 + 74,2 + 70,7 - 71,75 + 68 - 75,3}{8} = -1,12$$

$$b_{123} = \frac{71,95 + 70,15 + 72,05 + 74,2 - 70,7 - 71,75 - 68 - 75,3}{8} = 0,33$$

После расчета всех коэффициентов уравнение имеет вид:

$$Y = 71,76 + 1,08 + 0,63 + 1,28 - 0,29 + 0,41 - 1,12 + 0,33$$

Расчет адекватности модели:

$$Y_1 = 71,76(+1) + 1,08(-1) + 0,63(-1) + 1,28(+1) - 0,29(+1) + 0,41(-1) - 1,12(-1) + 0,33(+1) = 72,08;$$

$$Y_2 = 71,76(+1) + 1,08(+1) + 0,63(-1) + 1,28(-1) - 0,29(+1) + 0,41(+1) - 1,12(-1) + 0,33(-1) = 71,84;$$

$$Y_3 = 71,76(+1) + 1,08(-1) + 0,63(+1) + 1,28(-1) - 0,29(-1) + 0,41(+1) - 1,12(-1) + 0,33(+1) = 72,18;$$

$$Y_4 = 71,76(+1) + 1,08(+1) + 0,63(+1) + 1,28(+1) - 0,29(+1) + 0,41(+1) - 1,12(+1) + 0,33(+1) = 74,08;$$

$$Y_5 = 71,76(+1) + 1,08(-1) + 0,63(-1) + 1,28(-1) - 0,29(+1) + 0,41(+1) - 1,12(+1) + 0,33(-1) = 67,44;$$

$$Y_6 = 71,76(+1) + 1,08(+1) + 0,63(-1) + 1,28(+1) - 0,29(-1) + 0,41(+1) - 1,12(-1) + 0,33(-1) = 74,98;$$

$Y_7=71,76(+1)+1,08(-1)+0,63(+1)+1,28(+1)-0,29(-1)+0,41(-1)-1,12(+1)+$
 $+0,33(-1)=71,02;$

$Y_8=71,76(+1)+1,08(+1)+0,63(+1)+1,28(-1)-0,29(+1)+0,41(-1)-1,12(-1)+$
 $+0,33(-1)=71,28.$

Таблица 4.6 - Расчет дисперсии адекватности

№ опыта	\bar{Y}	\hat{Y}	$\bar{Y} - \hat{Y}$	$(\bar{Y} - \hat{Y})^2$
1	71,95	72,08	-0,13	0,0169
2	70,15	71,84	-1,69	2,8561
3	72,05	72,18	-0,13	0,0169
4	74,2	74,08	0,12	0,0144
5	70,7	71,02	0,32	0,1024
6	71,75	71,28	0,47	0,2209
7	68	67,44	0,56	0,3136
8	75,3	74,98	0,32	0,1024
				$\Sigma 3,6436$

Гипотезу адекватности уравнения проверили по критерию Фишера:

$$F_{ад} = \frac{S_{ад}}{S_Y^2} = \frac{3,6436}{4,85} = 0,66$$

Экспериментальная величина не превысила табличную, равную для степеней свободы $f_1 = I - 1 = 2 - 1 = 1$ и $f_2 = N = 8$ и соответственно при выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$:

$$F_{табл} = 5,3;$$

$$F_{расч} = 0,66.$$

Следовательно, гипотеза адекватности модели принимается.

Проверку статистической значимости коэффициентов проводили с помощью критерия Стьюдента.

Для полного факторного эксперимента ошибка всех коэффициентов равны между собой и определяются по формуле:

$$S_{bi} = \frac{S}{\sqrt{N \cdot I}} = \frac{2,2}{16} = 0,138$$

Для определения доверительного интервала выбрано значение:

$$t_{табл}=2,3$$

Доверительный интервал:

$$\Delta b_i = t_{табл} S_{bi} = 2,3 \cdot 0,138 = 0,316$$

Критическое значение $t_{кр}$ выбираем по таблице распределения Стьюдента для числа степеней свободы $f = N(I-1) = 8(2-1) = 8$ в принятом уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Все коэффициенты статически значимы.

Заменяя кодовые значения факторов в уравнении регрессии на натуральные, получим уравнение в натуральной форме (Приложение Б):

$$Y = 50,8 + 17,3h + 2,9b + 5,6n - 0,29hb + 0,41hn - 1,12bn$$

Графическая интерпретация полученного уравнения в виде поверхностей разного отклика позволила построить факторную область оптимальных конструктивных и технологических параметров канавки дефлектора насадки, которая позволит получить равномерную интенсивность дождя по всей площади орошения.

Физический смысл полученного графика показал следующее:

- Нижняя поверхность, ограничивающая факторную область, определяется по напору воды перед насадкой H и расположению канавки относительно оси дефлектора K .

- Верхняя поверхность, ограничивающая факторную область, определяется коэффициенту равномерности полива P дефлекторной насадкой с канавкой.

Зависимость влияния расположения канавки от оси дефлектора K и напора воды перед насадкой H , МПа, на коэффициент равномерности полива P , %, показана на рисунке 4.9.

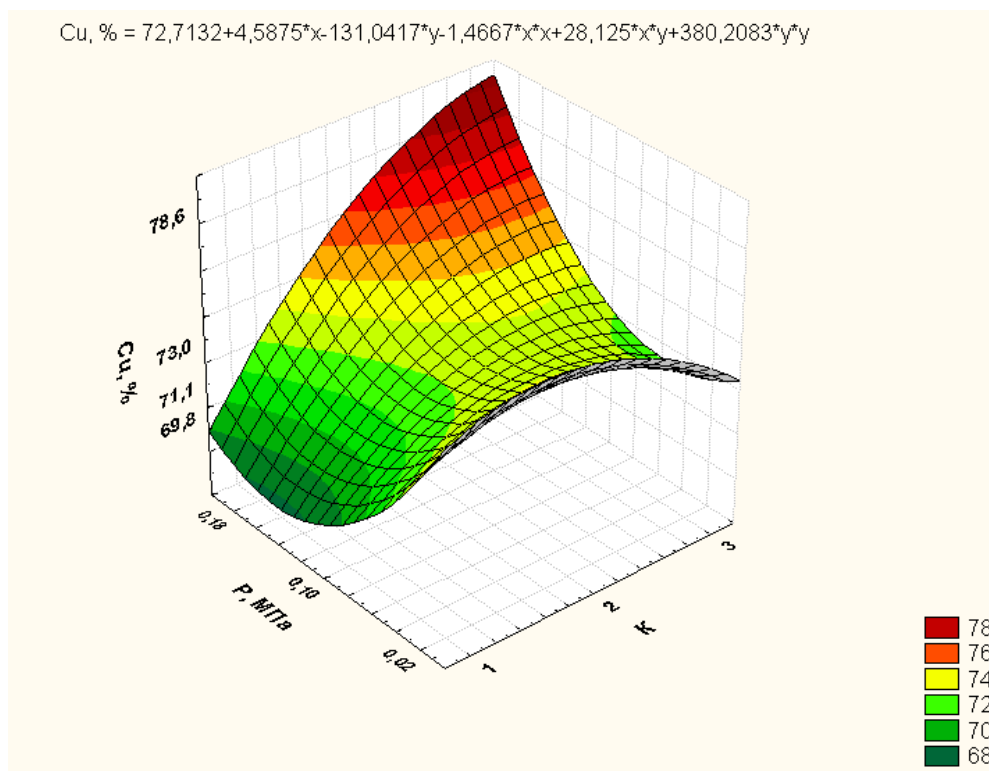


Рисунок 4.9 - Влияние параметров P , МПа и K на коэффициент равномерности полива P , %.

Анализ поверхности равного отклика показывает, что наилучшими являются параметры, находящиеся в пределах средней области, представленной в виде трехмерной криволинейной поверхности окрашенной в черный цвет, которая соответствует оптимальному коэффициенту равномерности полива 72 – 75%.

Анализируя зависимость, можно заметить, что значение коэффициента равномерности полива достигает 80 % при резком увеличении напора воды, а при расположении канавки близком к оси дефлектора, равномерность резко снижается. При номинальных значениях давления 0,1...0,15 МПа и расположения центра канавки в пределах 12,4 мм, коэффициент равномерности остается приблизительно одного значения 72 – 75%, который выше чем при поливе прототипом.

Данный предел является оптимальным и необходимым условием получения высокого коэффициента равномерного полива при поливе

дефлекторной насадки с канавкой. Границы данной области являются границами давления воды перед насадкой P , МПа и геометрическими параметрами канавки K , которые находятся в пределах высокого коэффициента равномерности полива 72 – 75%, что является гарантией для качественной равномерности полива по всей площади орошения дефлекторной насадкой с канавкой [47, 55].

В ходе анализа 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 4.10.

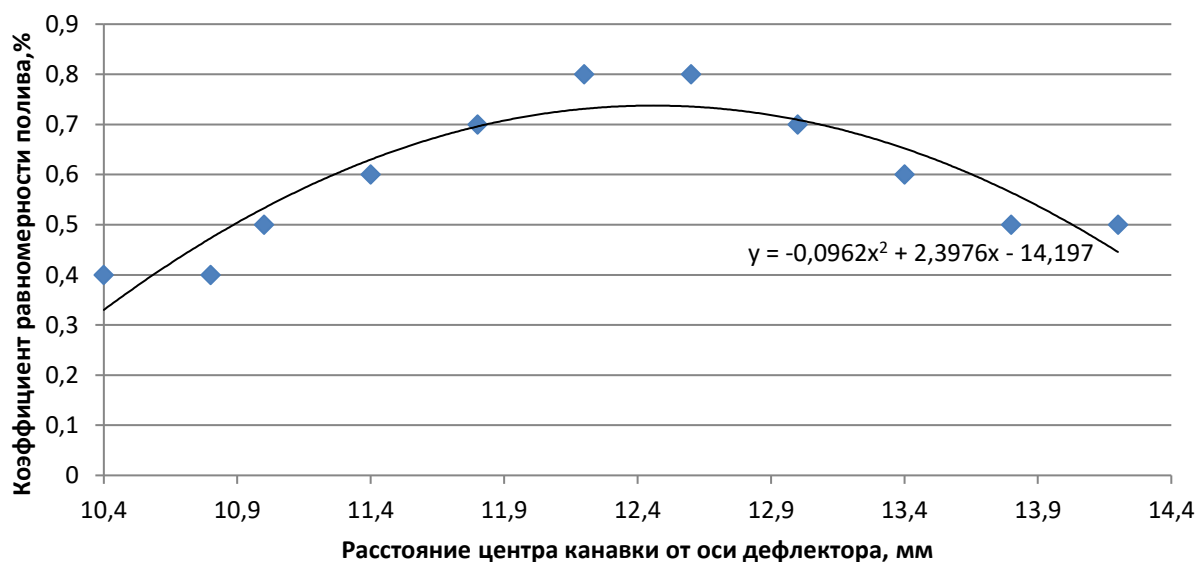


Рисунок 4.10 - Зависимость коэффициента равномерности от расположения канавки от оси дефлектора шириной 4 мм.

Анализируя график, можно определить, что высокие значения коэффициента равномерности полива по Кристиансену находятся в

пределах 12,2...12,6 мм, а точка схода потока воды с конуса дефлектора для дождевальной насадки кругового действия находится на расстоянии 12,4 мм. При отдалении начала канавки от точки 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 4.11.

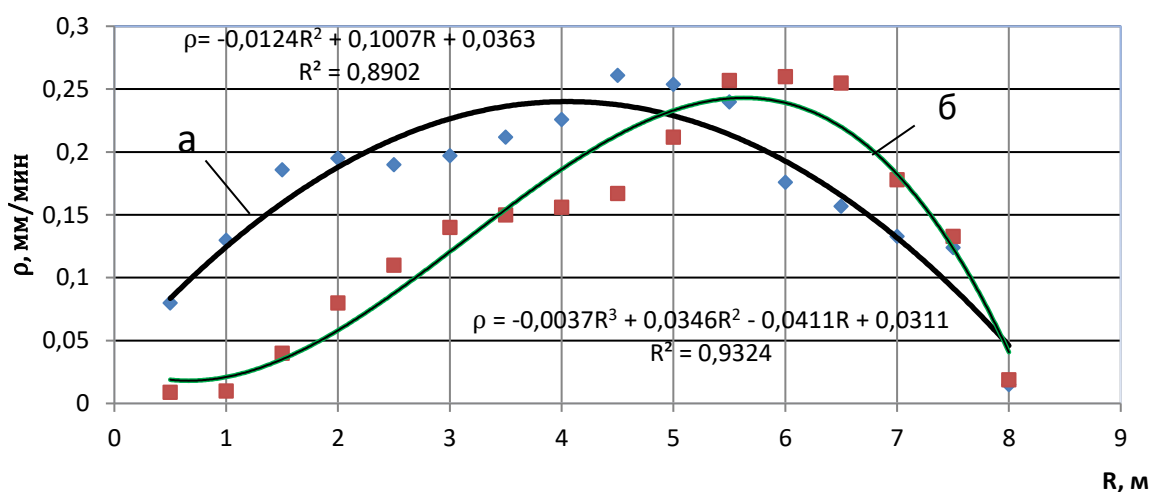


Рисунок 4.11 -График распределения интенсивности полива по радиусу захвата: а) дефлекторной насадки с канавкой шириной 4 мм с расположением начала канавки от оси насадки 12,4 мм; б) серийная дефлекторная насадка кругового действия.

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 $C_n = 74,6 \%$ [9, 17, 38].

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 $0,3 \text{ мм/мин}$ на расстоянии 5 м от насадки и малые показатели интенсивности распределения в непосредственной близости от насадки, а коэффициент равномерности по Кристиансену менее 55% .

Коэффициент равномерности полива также зависит не только от расположения канавки от оси дефлектора, но и от ширины. При проведении экспериментальных исследований была выявлена и представлена на рисунке 4.12 зависимость влияния показателей равномерности полива дефлекторной насадкой кругового действия от ширины канавки, выполненной на конусе дефлектора. На графике отчетливо видно, что большие значения коэффициента равномерности полива достигает при ширине канавки $3,8 \div 4,3 \text{ мм}$.

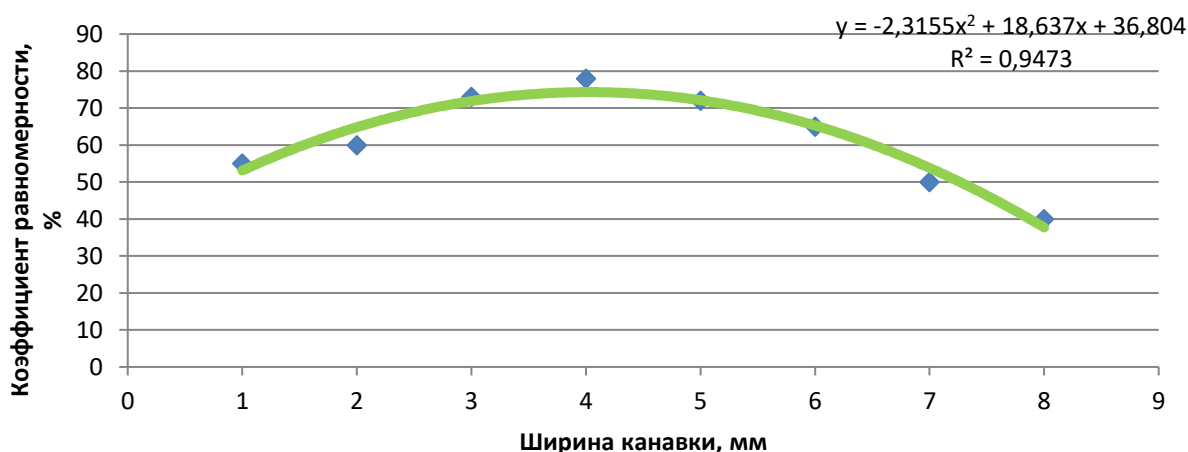


Рисунок 4.12. Влияние ширины канавки на равномерность полива

Канавки шириной 4 мм обеспечили достаточную равномерность как вблизи насадки ($\rho = 0,15$ мм/мин), так и на протяжении всего радиуса полива. Резких увеличений и снижений показателей интенсивности не наблюдается, стабильно держится в пределах от 0,15 до 0,25 мм/мин до расстояния 4 м, что соответствует цели научной работы и не наблюдается у дефлекторных насадок кругового действия. Высокий коэффициент равномерности распределения полива по Кристиансену у насадки с шириной канавки 4 мм $C_n = 74,6$ %, в сравнении с аналогом $C_n = 52,3$ %, говорит о лучшей равномерности распределения интенсивности по всей площади полива дефлекторной насадки, что наглядно можно увидеть на рисунке 4.13, где представлено распределение средней интенсивности по площади орошения при поливе дефлекторной насадкой с канавкой.

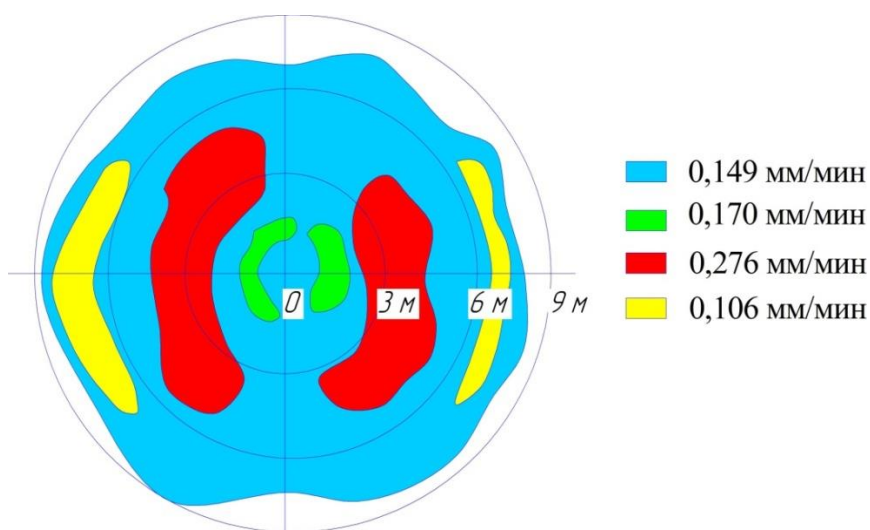


Рисунок 4.13. График распределения средней интенсивности по площади орошения при поливе дефлекторной насадкой с канавкой

На графике можно заметить, что большая площадь полива дефлекторной насадкой кругового действия с кольцевой канавкой имеют достаточную интенсивность полива. Самые большие значения интенсивности полива достигали 0,276 мм/мин на участках, окрашенные в красный цвет, значение которой является оптимальным. Можно заметить, что участки в непосредственной близости от насадки, окрашенные в зеленый цвет,

поливались с интенсивностью 0,17 мм/мин, что говорит о том, что большое число капель отрывалась от общего потока при взаимодействии с кольцевой канавкой.

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%.

4.5. Выводы

1. Исследования выбора оптимальных конструктивных параметров дефлекторной насадки кругового действия с кольцевой канавкой показали, конструктивные параметры и форма сопла влияют только на расходные характеристики дефлекторной насадки и радиус ее действия, а распределение равномерности дождя по площади полива и крупность капель не зависят от сопла. Поэтому конструкцию сопла дефлекторной насадки кругового действия целесообразно оставлять неизменной как у прототипа. Конус дефлектора насадки необходимо выполнять под углом 140° для устойчивости струи перед ветром и сносу, а диаметр основания равный 50 мм.

2. Оптимальная крупность капель $d_k = 0,6 - 0,8$ мм при поливе дефлекторной насадкой с диаметром отверстия сопла 8 мм при давлении воды 0,1 – 0,15 МПа можно получить при выполнении на дефлекторе кольцевой канавки шириной 4 мм. Экспериментальные данные также показали, что увеличение ширины канавки и напора ведет к существенному и резкому увеличению среднего диаметра капель в дождевом облаке насадки, что

нежелательно при орошении, так как капли такого размера вредят сельскохозяйственным культурам и способствуют водной эрозии почвы. 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%.

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕФЛЕКТОРНЫХ НАСАДОК НА ДМ «ФРЕГАТ»

5.1. Энергетическая оценка эффективности применения исследуемых дефлекторных насадок

Для оценки эффективности применения дефлекторных насадок с канавкой при поливе ДМ «Фрегат» по сравнению с дефлекторными насадками разработки «ВолжНИИГиМ» необходимо рассчитать энергоёмкость W_0 (Дж) по формуле [13]:

$$W_0 = \gamma \cdot H_0 \cdot Q, \quad (5.1)$$

где γ – удельный вес воды, 10^4 Н/м;

H_0 – напор воды, подаваемый насосной станцией, м;

Q – общий объём воды, выданный машиной за время, м^3 .

Потребляемая мощность N (кВт) при поливе ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками с канавкой рассчитана по формуле:

$$N = \gamma \cdot G \cdot H, \quad (5.2)$$

где G – расчетный расход оросительной воды дождевальной машины, $\text{м}^3/\text{с}$;

H – напор на входе в дождевальную машину, м;

Далее, умножив мощность, затраченную на полив одной дождевальной машины, на время t , за которое проводился полив, были найдены энергозатраты на транспортировку воды по трубопроводу машины, образование дождевого облака и привод $W = 15,8 \cdot 10^9$ Дж.

Полная энергоёмкость при поливе двух ДМ «Фрегат» с монтированными на них дефлекторными насадками с канавкой с энергозатратами на насосной станции и подводом воды к машинам составила $W_0 = 53,4 \cdot 10^9$ Дж.

В таблице 5.1 представлены энергетические затраты при поливе машиной «Фрегат» модификации ДМУ–А-337 со СДА, дефлекторными насадками кругового действия разработки «ВолжНИИГиМ», дефлекторной насадкой с

канавкой на поле ОПХ «ВолжНИИГиМ» площадью 54 га, напором при входе в машину 60 м и поливной нормой для сахарной свеклы 450 м³/га.

Таблица 5.1. Энергетические затраты при поливе ДМУ-А-337 с разными дождеобразующими устройствами.

Типы дождеобразующий устройств	Энергоемкость машины, Дж	Полная энергоемкость, Дж
Среднеструйный дождевальные аппараты «Фрегат»	21,3 · 10 ⁹	32,3 · 10 ⁹
Дефлекторные насадки кругового действия	15,2 · 10 ⁹	25,6 · 10 ⁹
Дефлекторные насадки с канавкой	15,8 · 10 ⁹	26,2 · 10 ⁹

Так как среднеструйные дождевальные аппараты сейчас практически не применяют при поливе ДМ «Фрегат», на орошаемых полях Саратовского Заволжья очень широко применяются дефлекторные насадки кругового действия, монтируемые непосредственно на водопроводящем поясе машины, то, судя по таблице можно сделать вывод, что энергетические эффективности от применения дефлекторных насадок разработки «ВолжНИИГиМ» и предлагаемой насадки практически не отличаются.

5.2. Годовой экономический эффект от использования дефлекторных экспериментальных насадок на ДМ «Фрегат»

Годовой экономический эффект от использования дефлекторных насадок установленных на ДМ «Фрегат» при поливе сельскохозяйственных угодий обеспечивается путем [16, 34, 40, 46, 54,63, 89]:

- создания более равномерной интенсивности дождевания по всей площади полива насадкой при ветре более 3 м/с и увеличение коэффициента равномерного полива до 0,84;

- повышения урожайности, мелкодисперсный дождь с небольшой скоростью падения капель и мощностью дождя обеспечивает сохранение растений без существенного воздействия дождя на молодые побеги;
- надежной работы в течение длительного срока без засорений;
- орошения мелкокапельным дождем с диаметром капель 0,4 – 0,8 мм, меньшего подъема воды и соответственно потери воды на испарение и снос ветром из «водяной пыли».

Расчет экономической эффективности от использования дефлекторных насадок с канавкой ведется на основании «Методики расчета экономической эффективности внедрения новой техники и технологии» и «Инструкции по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в орошении и осушении земель, обводнении пастбищ и мелиоративном строительстве». Полученные результаты приведены в таблице 5.2.

Экономический эффект от использования новой машины с применением дефлекторных насадок с канавкой в рублях (\mathcal{E}) рассчитан по формуле:

$$\mathcal{E} = A(\Pi_{\text{б}} - \Pi_{\text{н}} + \mathcal{E}_{\text{п}}), \quad (5.3)$$

где $\Pi_{\text{б}}$ и $\Pi_{\text{н}}$ – приведенные затраты на объем сельскохозяйственной продукции при поливе базовой и новой дождевальными машинами, руб./га;

$\mathcal{E}_{\text{п}}$ – экономический эффект от снижения потерь воды на испарение и снос в расчете на 1 га; руб./га;

A – годовой объем внедрения, га.

Таблица 5.2. Данные расчета

Наименование показателей	Принятые обозначения	Ед. изм.	Сравниваемые варианты	
			базовый	новый
1 Объем внедрения	А	га	-	79
2 Количество машин с дефлекторными насадками с канавкой	<i>n</i>	шт.	-	2
3 Количество поливов	-	-	11	11
4 Норма полива за сезон	-	м ³ /га	3900	3900
5 Коэффициент эффективности полива при скорости ветра 4 м/с	-	-	0,57	0,73
6 Потери воды на испарение и снос	-	%	20	12
7 Урожайность капусты	У	ц/га	750	810
8 Стоимость валовой продукции с 1 га	Ц	руб./га	525000	567000
9 Закупочная цена на капусту	Ц _з	руб./т	7000	7000
10 Приведенные затраты на 1 га орошаемой площади	З	руб./га	352500	352350
11 Себестоимость 1 т капусты	С	руб./т	4700	4350
12 Экономия оросительной воды	ΔW	м ³ /га	-	425
13 Стоимостная оценка оросительной воды	С _в	руб./м ³	2,30	2,30
14 Нормативный коэффициент эффективности	Е _н	-	0,15	0,15
15 Стоимость комплекта насадок	Ц _у	руб.	-	8000
16 Экономическая эффективность на машину	Э	руб.	-	190604
17 Прирост прибыли в хозяйстве на 1 га орошаемой площади	ΔП	руб./га	-	43127,5

Стоимость валовой продукции с 1 га орошаемой площади при поливе стандартными дефлекторными насадками кругового действия и насадками с канавкой была рассчитана по формулам:

$$Ц_6 = Ц_3 \cdot У_6; \quad (5.4)$$

$$Ц_Н = Ц_3 \cdot У_Н; \quad (5.5)$$

где $У_6$ – урожайность капусты при поливе дефлекторными насадками кругового действия, т/га;

$У_Н$ – урожайность капусты при поливе дефлекторными насадками с канавкой, т/га.

Приведенные затраты на 1 га орошаемой площади рассчитаны по формуле:

$$П_6 = С \cdot У_6; \quad (5.6)$$

$$П_Н = С \cdot У_Н. \quad (5.7)$$

Использование дефлекторных насадок с канавкой по окружности привело к приросту прибыли с 1 га орошаемой площади в размере 43127,5руб. и определялся по формуле:

$$\Delta\Pi = [(Ц_Н - (П_Н - К_{нп})) - (Ц_6 - П_6) + \Delta W \cdot C_B] \quad (5.8)$$

Годовой экономический эффект от использования дефлекторных насадок с кольцевой канавкой при поливе на ДМ «Фрегат» составил 190604 руб./год на 79 га.

5.3. Выводы

Экономический эффект от внедрения на полях ОПХ «ВолжНИИГиМ» дождевальная машины Фрегат с установленными дефлекторными насадками кругового действия с кольцевой канавкой выполненной на дефлекторном конусе за счет улучшения качества распыла воды, снижения потерь воды на испарения и

снос ветром, а так же увеличения равномерности полива позволило повысить урожай капусты до 8 %, и получить годовой экономический эффект в сумме Э=190604 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ и оценка эффективности применения дефлекторных насадок на ДМ «Фрегат» выявили недостаточную равномерность при поливе с большими потерями воды на испарение и снос ветром. Разработано наиболее эффективное решение, позволяющее повысить качество дождя и равномерность полива, заключающееся в применении дефлекторной насадки кругового действия с кольцевой канавкой по окружности рассекателя находящейся от оси рассекателя на оптимальном расстоянии.

2. Проведенные теоретические исследования позволили уточнить математические зависимости, описывающие: движение жидкости по конусу рассекателя насадки имеющего кольцевую канавку; расположение оптимальной точки характеризующей начало процесса распада пленки воды на конусе рассекателя; расположение и геометрические параметры кольцевой канавки выполненной на конусе рассекателя.

3. Достижение равномерного распределения интенсивности дождя по всей площади орошения создаваемого дефлекторной насадкой, с канавкой по окружности, установленной на дождевальная машина Фрегат достигается при следующих конструктивных параметрах:

- коэффициент расхода насадки $\mu = 0,87 \div 0,97$ достигается при угле конусности сопла выбранного в диапазоне от 30° до 60° , в зависимости от диаметра сопла, который не влияет на образование капель оптимального диаметра и равномерность полива;

- угол конусности рассекателя 140° ;

- диаметр рассекателя выбран 50 мм;

- при диаметре сопла 8 мм оптимальная ширина канавки выбрана 4 мм, а расстояние ее центра от оси рассекателя 12,4 мм.

4. Экспериментальные исследования показали, что увеличение ширины канавки и напора ведет к резкому увеличению среднего диаметра капель в дождевом облаке, создаваемым дефлекторной насадкой, что нежелательно при орошении, так как капли такого размера вредят сельскохозяйственным культурам и способствуют водной эрозии почвы. Оптимальная крупность капель $d_k = 0,6 - 0,8$ мм и коэффициент равномерности полива равным 80 % достигаются при поливе дефлекторной насадкой кругового действия с диаметром выходного отверстия сопла 8 мм при давлении воды 0,1 – 0,15 МПа. Кольцевая канавка выполненная на конусе рассекателя должна быть треугольного сечения с шириной 4 мм и расположенной на расстоянии 12,4 мм от оси насадки.

5. Экономический эффект от внедрения на полях ОПХ «ВолжНИИГиМ» дождевальная машины Фрегат с установленными дефлекторными насадками кругового действия с кольцевой канавкой, выполненной на конусе рассекателя за счет улучшение качества распыливания воды, снижения потерь воды на испарения и снос ветром, а так же увеличения равномерности полива позволило повысить урожай капусты до 8 %, и получить годовой экономический эффект в сумме $\mathcal{E}=190604$ руб.

РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Организациям, осуществляющим орошение сельскохозяйственных культур, рекомендуется с целью повышения качества полива применять на ДМ «Фрегат» дефлекторные насадки с кольцевой канавкой треугольного сечения, имеющей ширину $V_k=4$ мм и удаленной от центра конуса рассекателя на величину 12,4 мм. Это позволит создать дождь с оптимальным диаметром капель $d_k=0,6-0,8$ мм и повысить коэффициент равномерности полива до 80 %.

2. Полученные математические зависимости, описывающие характер движения воды по конусу рассекателя дефлекторной насадки с кольцевой канавкой, рекомендуется использовать в научно-исследовательских, учебных заведениях, а также в организациях, осуществляющих выпуск дождевальных машин.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Разработка усовершенствованных конструкций дефлекторных насадок со сменным соплом и сложной конфигурацией конуса рассекателя с обоснованием математических зависимостей движения жидкости и геометрических параметров насадки с целью их применения на дождевальных машинах отечественного и зарубежного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, А. М. Определение параметров впитывания воды в почву с учетом энергетических характеристик дождя /А. М. Абрамов // Почвоведение. – 1985. – № 6. – С. 137– 143.
2. Абрамов, А. М. Методы определения эрозионно-допустимых поливных норм при дождевании : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Абрамов Анатолий Михайлович– М., 1987. – 18 с.
3. Абрамов, Г. Ф. Исследование структуры дождя при орошении дождеванием: автореф. дис. канд. техн. наук / Абрамов Г. Ф. – М., 1952. – 20 с.
4. Айдаров, Н. П. Оросительные мелиорации / Н. П. Айдаров, А. И. Голованов. – М. : Колос, 1982. – 176 с.
5. Акпасов, А. П. Детализация распада струи на дефлекторе дождевальной насадки // Материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень, 2017. – С. 22 – 26.
6. Акпасов, А. П. Совершенствование конструкции дефлекторных насадок для увеличения равномерности полива // «Проблемы и перспективы развития мелиорации в современных условиях» ВолжНИИГиМ. – Энгельс, 2016. – С. 87 – 93.
7. Акпасов, А.П. Расширение технологических возможностей многоопорных дождевальных машин /Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н., Акпасов А.П., Емельянов А.А., Хорин С.А., Органов М.С. // Использование мелиоративных земель – современное состояние и перспективы развития мелиоративного земледелия. – Тверь, 2015. – С. 212 – 216.
8. Акпасов, В. А. Расчет напорного трубопровода полосового дождевателя барабанного типа / В. А. Акпасов //Иновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. – Саратов, 2015. – С. 4 – 7.

9. Анисимов, В. А. Потери воды при испарении / В. А. Анисимов, М. С. Мансуров // Гидротехника и мелиорация. – 1969. – № 8. – С. 37–44.
10. Афанасик, Г.И. Оптимальная влажность почвы / Г.И. Афанасик, В.Н. Пятницкий // Мелиорация: энциклопедический справочник. – Минск, 1984. – С. 323-324.
11. Багров, М. Н. Оросительные системы и их эксплуатация / М. Н. Багров, И. П. Кружилин. – М. : Колос, 1978. – 208 с.
12. Беляев, В. В. Дождевальные машины / В. В. Беляев, Б. М. Лебедев. – М. : Машгиз, 1957. – 295 с.
13. . Божко И.А. Рекомендации к научно-обоснованной системе орошаемого земледелия Саратовской области на 1981–1985 гг. / Н.Ф. Рыжко [и др.]. ; Саратов, 1982. – 90 с.
14. Бородин, В. А. Распыливание жидкостей / В. А. Бородин. – М. : Машиностроение, 1967. – 262 с.
15. Бородычѐв, В.В. Алгоритм решения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур/ В.В. Бородычѐв, М.Н. Лытов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 8-11.
16. Бредихин, Н. П. Влияние ветра на работу дальнеструйных дождевателей и пути повышения качества полива: автореф. дис... канд. техн. наук / Бредихин Н. П. – Новочеркасск, 1969. – 19 с.
17. Волынский, М. С. Труды о дроблении капель жидкости в потоке воздуха / Волынский М. С. // - Москва, 1984. – 12 с.
18. Гаджиев, Г. М. Исследования и обоснование оптимальных параметров дождя «Фрегат» для орошения приоазисных песков : автореф. дис. ... канд. техн. наук /Гаджиев Г. М.. – М., 1979. – 18 с.
19. Гаджиев, Г. М. К вопросу использования дождевальных машин «Фрегат» при орошении приоазисных песчаных земель / Г. М. Гаджиев // Тракторы и сельхозмашины. – 1976. – № 11. – С. 20–21.

20. Гаджиев, Г. М. Особенности орошения приоазисных песков дождеванием / Г. М. Гаджиев, Ю. С. Пунинский // Гидротехника и мелиорация. – 1979. – № 5. – С. 38–41.
21. Гаджиев, Г. М. Скорость падения капель дождя, создаваемого дождевальными машинами «Фрегат» / Г. М. Гаджиев // Тракторы и сельхозмашины. – 1977. – № 7. – С. 26–27.
22. Гусейн-Заде, С. Х. Многоопорные дождевальные машины / С. Х. Гусейн-Заде, Л. А. Перевезенцев, В. И. Коваленко. – М. : Колос, 1984. – 191 с.
23. Гавырин, И. В. К вопросу об исследовании гидромониторных струй / Гавырин И. В. // Сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М. : ВАСХНИЛ, 1938. – С. 131–142.
24. Голы, М. Оросительные мелиорации / М. Голы. – М.: Колос, 1988. – 189 с.
25. Городничев, В. И. К оценке дождевальной техники / В. И. Городничев // Экологически и экономически обоснованные технологии и технические средства полива: сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М., 1999. – С. 121–127.
26. Дементьев, В. Г. О движении и разрушении дождевальных струй: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Дементьев В. Г. – Л., 1952. – 16 с.
27. Дождевальная машина «Фрегат» - М.: ПТО, 1978.
28. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Колос, 1973. – 336 с.
29. Ермаков, Б. С. Мелкодисперсный распылитель воды для зеленого черенкования / Б. С. Ермаков, С. П. Ильин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1977. - № 6. - С. 46-47.
30. Ильинская, И.Н. Нормирование водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе / И.Н. Ильинская. – Новочеркасск: РОСНИИПМ, 2001. – 163 с.
31. Исаев, А. П. Гидравлика дождевальных машин / А. П. Исаев. – М. : Машиностроение, 1973. – 215 с.

32. Исследования режима орошения и техники полива сельскохозяйственных культур в Сыртовой части массива Куйбышевской обводнительно-оросительной системы : отчет о НИР / ВолжНИИГиМ ; рук. Клепальский А. П. – Энгельс, 1976. – 172 с.
33. Кван, Р. А. Установление потерь оросительной воды в процессе полива дождеванием / Р. А. Кван, В. В. Немченко, А. Н. Аяббертепов // Обводнение и сельхозводоснабжение : сб. науч. тр. / САНИИРИ. – Ташкент, 1978.– Вып. 155.– С. 50–57.
34. Клепальский, А. П. Влияние интенсивности дождя на поливные нормы в зоне Сыртов Заволжья. / А. П. Клепальский, В. Н. Корочков, А. Я. Божкова.// Орошение земель в Поволжье – Саратов, 1973. – С. 108–117.
35. Колганов, А. В. Научные основы развития орошения и техническое совершенствование оросительных систем в засушливой зоне Российской Федерации : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Колганов Александр Васильевич. – М., 2000. – 52 с.
36. Колесников, Ф. И. Методика оценки эффективности дождевальных машин / Ф. И. Колесников. – М., 1975. – 157 с.
37. Коновалов, И.М. Движение жидкости с переменным расходом / И.М. Коновалов // Труды ЛИИВТ. – Л., 1937. – вып. 8. – С. 21-74.
38. Котов, В.П. Биологические основы получения высоких урожаев овощных культур / В.П. Котов, Н.А. Адрицкая, Т.И. Завьялова. – С.-П.: Изд-во «Лань», 2010. – 125 с.
39. Краснощеков, В.С. Энергетическая оценка качества дождя машин «Фрегат» и «Волжанка» / В. С. Краснощеков // Новое в технике и технологии полива: сб. науч. тр. / ВНПО «Радуга». – М., 1979. – Вып. 12. – С. 88–97.
40. Кружилин, А. С. Выращивание овощных культур и картофеля при орошении / А. С. Кружилин - М.: Россельхозиздат, 1975. - 116 с.

41. Кружилин, И. П. Улучшение качества полива машиной «Фрегат» в Волгоградском Заволжье / И. П. Кружилин, П. И. Кузнецов // Гидротехника и мелиорация. – 1976. – № 12. – С. 29–35.
42. Кузнецов, П. И. Исследования параметров структуры дождя и качества полива машин кругового действия в Волгоградском Заволжье : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Кузнецов Петр Иванович. – Новочеркасск, 1983. – 20 с.
43. Лебедев, Б. М. Дождевальные машины: теория и конструкции/ Б. М. Лебедев. – М. : Машиностроение, 1977. – 246 с.
44. Машины и установки дождевальные. Программа и методы испытаний. РД 10.11.1– 89. – Издание официальное. – 172 с.
45. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей СТО АИСТ 11.1 – 2010. – 56 с.
46. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: Справочник ; под ред. Б. Б. Шумакова. – М. : Агропромиздат, 1990. – 415 с.
47. Мельников, С.В., Планирование эксперимента в исследованиях с.-х. процессов /С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – М.: Колос, 1972. – 200с.
48. Москвичев, Ю. А. Агрономическая оценка полива широкозахватными дождевальными машинами / Ю. А. Москвичев // Широкозахватные дождевальные машины «Фрегат» и «Волжанка» : сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. – Коломна, 1974. – Т. 5. – С. 60–104.
49. Нагорный, В.А. Экспериментальное исследование агротехнических характеристик полива дефлекторных насадок ДМ «Фрегат» / В.А. Нагорный, Н.Ф. Рыжко // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2009. – № 1. – С. 49–51.
50. Надежкина, Г. П. Энергетические показатели дождя ДМ «Фрегат» / Надежкина Г. П., Слюсаренко В. В. Акпасов А. П. // «Известия» Самарская ГСХА. – 2015. - № 3 – С. 20-22.

51. Надежкина Г.П. Определение потери на испарение и снос дождя при поливе ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками // сборник научных работ «Проблемы научного обеспечения сельскохозяйственного производства и образования». -2008. – С. 168-170.

52. Надежкина Г. П. Совершенствование устройств приповерхностного полива дождевальнoй машины «Фрегат»:автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г. П. Надежкина. – Саратов, 2014. – 8 с.

53. Надежкина, Г. П. Экологическая совместимость ДМ «Фрегат» с почвой / Г. П. Надежкина, В. В. Слюсаренко, А. П. Акпасов, З. З. Дасаева //Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. – Саратов, 2015. – С. 50 – 55.

54. Низконапорные короткоструйные насадки широкозахватной техники / А. В. Угрюмов [и др.]// Мелиорация и водное хозяйство. Орошение и оросительные системы: экспресс-информация : ЦБНТИ: Серия 1. – М., 1981. – Вып. 10. – С. 4–15.

55. Нуриддинов, Т. Н. Исследование и изыскание рациональных параметров коромыслового привода среднеструйных дождевальных аппаратов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / НуриддиновТашниязНуриддинович. – М., 1975. – 22 с.

56. Овчинников, А.С. Экспериментальные исследования гидравлических характеристик оросительных систем / А.С. Овчинников, В.С. Бочарников. - Проблемы развития АПК региона.–2012.–№3(11). – С. 92-96.

57. Пат.2616842 Российская Федерация А 01 G 25/09. Дождевальнаядефлекторная насадка / В. В. Слюсаренко, Н. Ф. Рыжко, А. В. Русинов, А. В. Хизов, А. П. Акпасов, Д. А. Русинов, Г. П. Надежкина, С. В. Затинаяцкий; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». –№ 2015148965; заявл. 16.11.15 ; опубл. 18.04.17. – Изобретения. Полезные модели. –№ 11. – 4 с.

58. Пат.2313405 Российская Федерация А 01 G 25/02. Насадок дождевального агрегата / В. П. Зволинский, А. М. Салдаев; заявитель и патентообладатель ГНУ Прикаспийский НИИ аридного земледелия Российской академии сельскохозяйственных наук –№ 2006123858/12; заявл. 03.07.2006; опубл.27.01.2008. – Изобретения. Полезные модели. –№ 3. – 5 с.

59. Пат.2315472 Российская Федерация А 01 G 25/02. Насадок дождевального агрегата / В. П. Зволинский, А. М. Салдаев; заявитель и патентообладатель ГНУ Прикаспийский НИИ аридного земледелия Российской академии сельскохозяйственных наук –№ 2006123858/12; заявл. 03.07.2006; опубл.27.01.2008. – Изобретения. Полезные модели. –№ 3. – 5 с.

60. Пат. 2173584 Российская Федерация В 05 В 1/18. Насадок дождевального агрегата / В.Г. Абезин, В.В. Карпунин, В.А. Дранников, А.М. Салдаев; заявитель и патентообладатель Поволжский НИИ эколого-мелиоративных технологий –№ 2000125119/12; заявл. 04.10.2000; опубл. 20.09.2001. – Изобретения. Полезные модели. – № 26. – 6 с.

61. Пат. 2326742 Российская Федерация В 05 В 1/18. Дождевальный насадок / В.Г. Абезин, В.В. Карпунин, А. С. Овчинников; заявитель и патентообладатель Поволжский НИИ эколого-мелиоративных технологий –№ 2006141193/12; заявл. 21.11.2006; опубл. 20.06.2008. – Изобретения. Полезные модели. – № 17. – 6 с.

62. Пат. 2615574 Дождевальнаядефлекторная насадка / В. В. Слюсаренко, Н. Ф. Рыжко, А. В. Русинов, А. В. Хизов, А. П. Акпасов, Д. А. Русинов, Г. П. Надежкина, С. В. Затинацкий; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». –№ 2015148623; заявл. 12.11.15 ; опубл. 05.04.17. – Изобретения. Полезные модели. –№ 10. – 4 с.

63. Пажи Д. Г. Основы техники распыливания жидкостей / Пажи Д. Г., Галустов В. С. // - М.: Химия - 1984. – 256 с.

64. Плюснин, И.И. Мелиоративное почвоведение / И.И. Плюснин, А.И. Голованов – М.: Колос, 1983. – 318 с.

65. Поспелов, А. М. Дождевание / А. М. Поспелов. – М. : Сельхозиздат. – 1962. – 61 с.
66. Распыливание жидкости / Ю. П. Детяткин [и др.]. – М. : Машиностроение. 1976, – 168 с.
67. Райхман, Д.Б. Анализ способов орошения в сельском хозяйстве / Д.Б. Райхман, Д.В. Зубоченко // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины "Крымский агротехнологический университет". Серия: Технические науки. 2013.- № 153. - С. 194-203.
68. Романов, В.М. Перспективные способы и техника полива / В.М. Романов, Т.И. Иванцова, Т.Л. Волчкова. – М.: Колос, 1974. – 128 с.
69. Рачинский, А. А. Потери воды в воздухе при поливе дождеванием / А. А. Рачинский, В. К. Севрюгин // Гидротехника и мелиорация. – 1984. – № 11. – С. 42–45.
70. Русинов, А. В., Изменение плотности почвы после прохождения движителей сельскохозяйственных машин при многочисленных проходах / А. В. Русинов, В. В. Слюсаренко, А. А. Бугаммер // Актуальные инженерные проблемы АПК: Сборник научных трудов Поволжской межвузовской конференции. – Самара, 2001. – С. 243 – 245.
71. Русинов, А. В., Изменение физико-механических свойств мелиоративных почв в результате механического воздействия / А. В. Русинов, В. В. Слюсаренко // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. – Саратов, 2015. – С. 30 – 34.
72. Русинов, А. В. Определение площади уплотнения мелиоративных полей движителями машин / А. В. Русинов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. – Саратов, 2015. – С. 34 – 37.
73. Русинов, А. В. Оценка экологического состояния орошаемых почв в результате воздействия движителей почвообрабатывающих машинно-

тракторных агрегатов / А. В. Русинов // Сборник научных трудов I Международной научно-практической конференции. «Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии». – Тверь, 2015. – С.334-336.

74. 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.

75. Рыжко, Н.Ф. Повышение равномерности ДМ «Фрегат» при ветре / Н.Ф. Рыжко // Нива Поволжья. – 2011. – № 2. – С. 80-84.

76. Рыжко, Н. Ф. Совершенствование конструкции многоопорной дождевальной машины «Волга-СМ» с полиэтиленовым трубопроводом / Рыжко Н. Ф., Шушпанов И. А., Гопкалов Ю. А., Акпасов А. П., Рыжко С. Н., Органов М. С // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – Новочеркасск, 2015. - № 4. – С. 166 – 170.

77. Рыжко, Н.Ф. Улучшение качественных показателей полива дождевальных машин путем совершенствования дождевателей / Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н., Лапшова А.Г., Органов М.С., Хорин С.А.// Использование мелиоративных земель – современное состояние и перспективы развития мелиоративного земледелия. – Тверь, 2015. – С. 216 – 220.

78. Сапунов, А. П. Механизация полива / Сапунов А. П. – М.: Агропромиздат, 1987. - 336 с.

79. Слюсаренко, В.В. Перспектива развития дождевальных машин / В. В. Слюсаренко, А. П. Акпасов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. – Саратов, 2015. – С. 16 – 20.

80. Слюсаренко В. В. Снижение потерь воды при поливе дождеванием / Слюсаренко В. В., Надежкина Г. П., Акпасов А. П., Дасаева З. З. // Научное обозрение. – Саратов, 2015. - №19. – С. 49 – 53.

81. Смыслов, В.В. Истечение воды из малых отверстий в пористую среду / В.В. Смыслов, И.С. Дучинский // Научные исследования по гидротехнике. – Л.: Энергия, 1974. – ч.2. – С. 27-28.
82. Федоренко, И. Д. Об испарении воды при дождевании и зависимости его от диаметра капель дождя // Труды ВНИИГиМ. – М., 1938. – Т. 22. – С. 68–78.
83. Федосеев В.К. Дождеформирующие аппараты для «Фрегата» / В.К. Федосеев, Н.Ф. Рыжко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1995. – № 2. – С. 39-40.
84. Фокин, Б. П. Современные проблемы применения многоопорных дождевальнх машин / Фокин Б. П., Носов А. К. // Научное издание. – Ставрополь, 2011. – 80 с.
85. Фокин, Б. П. Повышение эффективности полива многоопорными дождевальными машинами : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Фокин Борис Павлович. – Ставрополь, 2002. – 52 с.
86. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапира. – М. : Мир, 1969. – 178 с.
87. Циприс Д. Б. Исследование параметров дождевальных струй и искусственного дождя/ Д. Б. Циприс, С. М. Белинский, В. В. Пелентиков// Доклады ВАСХНИЛ. – 1980. – № 7. – С. 25–31.
88. Шаров, И.А. Эксплуатация гидромелиоративных систем / И.А. Шаров - М.: Колос, 1968. - 384 с.
89. Швевс, Г. И. Формирование водной эрозии, стока, наносов и их оценка / Г. И. Швевс. – Л.: Гидрометиздат, 1974. – 184 с.
90. Штангей, А. И. Испарение воды с дождевального облака при поливе машиной «Фрегат» / А. И. Штангей // Метеорология и гидрология.– 1977. – № 10. – С. 72–76.
91. Штеренлихт Д. В. Гидравлика: Учебник для вузов. – М.: Колос С, 2004. – 656 с.

92. Шумаков Б.А. Орошаемое земледелие / Б.А. Шумаков. – М., 1955. – С. 72-103.
93. Alexandresen O. Методика расчета конструктивных параметров дождевальных установок. *Hidrotechika* 1983.18.3. 128-135. П. 30413. //Реф. Журнал «Мелиорация». – 1973. – № 12.
94. Allen, Richard G, Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. -Allen, Richard G, Pereira, Luis S. -*Irrigation Science* Vol. 28; no. 1; 2009, pp. 17 – 34.
95. Bowen, J. Drip irrigation may bring considerable benefits by the grower / J. Bowen // *Agribusiness worldwide*. – 1986. – Vol. 8. – № 5. – P. 28-29.
96. Furui, J. Оценка равномерности распределения поливной воды при дождевании. – *IrrigatSc*. – 1980. – № 2, Япония (англ.).
97. Okamura, S. Teoretickastudieovodnimpaprskuzpostřikavačevpodminkáčbezvětri. – *Vodnihospadaritvi*. – 1970 – № 7.
98. Ragab, R. SALTMED model as an integrated management tool for water, crop, soil and N-fertilizer water management strategies and productivity: field and simulation study / Ragab, R.; Battilani, A; Matovic, G.; Stikic, R.; Psarras, G.; Chartzoulakis, K. - *Irrigation and Drainage*. - 64 (1). – 2015 – pp.13-28.
99. Rodríguez Díaz JA. The Role of Precision Irrigation in Environmentally Sensitive Areas / Rodríguez Díaz JA. and Montesinos P. - *Irrigation & Drainage Systems Engineering*. S1: e001 – 2015. – pp.1-2.
100. Tabari, Hossein Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. - Tabari, Hossein, Grismer, Mark E, Trajkovic, Slavisa *Irrigation Science* Vol. 31; no. 2. - 2013.- pp. 107 – 117.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Приложение А

Принятие решения после построения модели процесса при определении крупности капель.

Для того что бы привести уравнение регрессии к виду с натуральными значениями факторов используем формулу кодирования, путем подставления в уравнение регрессии вместо кодовых натуральные значения факторов.

$$x_1 = \frac{h-0,4}{0,1}, \text{ МПа};$$

$$x_2 = \frac{b-4}{1}, \text{ мм};$$

$$x_3 = \frac{n-2}{1}.$$

$$b_1x_1 = 0,11 \left(\frac{h-0,4}{0,1} \right) = 1,1h - 0,44$$

$$b_2x_2 = 0,21 \left(\frac{b-4}{1} \right) = 0,21b - 0,84$$

$$b_3x_3 = 0,02 \left(\frac{n-2}{1} \right) = 0,02n - 0,04$$

$$b_{1,2}x_1x_2 = 0,09 \left(\frac{h-0,4}{0,1} \right) \left(\frac{b-4}{1} \right) = 0,09hb - 0,036h - 0,0036b + 0,0144$$

$$b_{1,3}x_1x_3 = -0,05 \left(\frac{h-0,4}{0,1} \right) \left(\frac{n-2}{1} \right) = -0,005hn + 0,01h + 0,002n - 0,004$$

$$b_{2,3}x_2x_3 = 0,04 \left(\frac{b-4}{1} \right) \left(\frac{n-2}{1} \right) = 0,04bn - 0,08b - 0,16n + 0,32$$

Подставим в уравнение:

$$Y = 0,84 + 0,11h - 0,44 + 0,21b - 0,84 + 0,02n - 0,04 + 0,09hb - 0,036h - 0,0036b + 0,0144 - 0,005hn + 0,01h + 0,002n - 0,004 + 0,04bn - 0,08b - 0,16n + 0,32$$

Уравнение в натуральной форме:

$$Y = -0,15 - 0,084h + 0,13b - 0,138n + 0,09hb - 0,005hn + 0,04bn$$

Проверка:

Подставим значения из №8 опыта матрицы

$$Y = -0,15 - 0,084 * 0,5 + 0,13 * 5 - 0,138 * 1 + 0,09 * 0,5 * 5 - 0,005 * 0,5 * 1 + 0,04 * 5 * 1 = 0,74$$

Отклонение составило: $1,16 - 0,74 = 0,42$

Принятие решения после построения модели процесса при определении равномерной интенсивности по всей площади полива

Для того что бы привести уравнение регрессии к виду с натуральными значениями факторов используем формулу кодирования, путем подставления в уравнение регрессии вместо кодовых натуральные значения факторов.

$$x_1 = \frac{h-0,4}{0,1}, \text{ МПа};$$

$$x_2 = \frac{b-4}{1}, \text{ мм};$$

$$x_3 = \frac{n-2}{1}.$$

$$b_1 x_1 = 1,8 \left(\frac{h-0,4}{0,1} \right) = 18h - 7,2$$

$$b_2 x_2 = 0,63 \left(\frac{b-4}{1} \right) = 0,63b - 2,52$$

$$b_3 x_3 = 1,28 \left(\frac{n-2}{1} \right) = 1,28n - 2,56$$

$$b_{1,2} x_1 x_2 = -0,29 \left(\frac{h-0,4}{0,1} \right) \left(\frac{b-4}{1} \right) = -0,29hb + 0,116h + 0,0116b - 0,0464$$

$$b_{1,3} x_1 x_3 = 0,41 \left(\frac{h-0,4}{0,1} \right) \left(\frac{n-2}{1} \right) = 0,41hn - 0,82h - 0,164n + 0,328$$

$$b_{2,3} x_2 x_3 = -1,12 \left(\frac{b-4}{1} \right) \left(\frac{n-2}{1} \right) = -1,12bn + 2,24b + 4,48n - 8,96$$

Подставим в уравнение:

$$Y = 71,76 + 18h - 7,2 + 0,63b - 2,52 + 1,28n - 2,56 - 0,29nb + 0,116h + 0,0116b - 0,0464 + 0,41hn - 0,82h - 0,164n + 0,328 - 1,12bn + 2,24b + 4,48n - 8,96$$

Уравнение в натуральной форме:

$$Y = 50,8 + 17,3h + 2,9b + 5,6n - 0,29hb + 0,41hn - 1,12bn$$

Проверка:

Подставим значения из №8 опыта матрицы

$$Y = 50,8 + 17,3 * 0,5 + 2,9 * 5 + 5,6 * 1 - 0,29 * 0,5 * 5 + 0,41 * 0,5 * 1 - 1,12 * 5 * 1 = 73,4$$

Отклонение составило: $75,3 - 73,4 = 1,9$

Таблица 2 – Значения критерия χ^2

Число степеней свободы	Уровень значимости							
	0,99	0,95	0,75	0,50	0,25	0,10	0,05	0,01
1	0,10	0,45	1,32	2,71	3,84	6,63
2	0,02	0,10	0,58	1,39	2,77	4,61	5,99	9,21
3	0,11	0,35	1,21	2,37	4,11	6,25	7,81	11,34
4	0,30	0,71	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	13,28
5	0,55	1,15	2,67	4,35	6,63	9,24	11,07	15,09
6	0,87	1,64	3,45	5,35	7,84	10,64	12,59	16,81
7	1,24	2,17	4,25	6,35	9,04	12,02	14,07	18,48
8	1,65	2,73	5,07	7,34	10,22	13,36	15,51	20,09
9	2,09	3,33	5,90	8,34	11,39	14,68	16,92	21,67
10	2,56	3,94	6,74	9,34	12,55	15,99	17,99	23,21
11	3,05	4,57	7,58	10,34	13,70	17,28	19,68	24,72
12	3,57	5,23	8,44	11,34	14,85	18,55	21,03	26,22
13	4,11	5,89	9,30	12,34	15,98	19,81	22,36	27,69
14	4,66	6,57	10,17	13,34	17,12	21,06	23,68	29,14
15	5,23	7,26	11,04	14,34	18,25	22,31	25,00	30,58
16	5,81	7,96	11,91	15,34	19,37	23,54	26,30	32,00
17	6,41	8,67	12,79	16,34	20,49	24,77	27,59	33,41
18	7,01	9,39	13,68	17,34	21,60	25,99	28,87	34,81
19	7,63	10,12	14,56	18,34	22,72	27,20	30,14	36,19
20	8,26	10,85	15,45	19,34	23,83	28,41	31,41	37,57
21	8,90	11,59	16,34	20,34	24,93	29,62	32,67	38,93
22	9,54	12,34	17,24	21,34	26,04	30,81	33,92	40,29
23	10,20	13,09	18,14	22,34	27,14	32,01	35,17	41,64
24	10,86	13,85	19,04	23,34	28,24	33,20	36,42	42,98
25	11,52	14,61	19,94	24,34	29,34	34,38	37,65	44,31
26	12,20	15,38	20,84	25,34	30,43	35,56	38,89	45,64
27	12,88	16,15	21,75	26,34	31,53	36,74	40,11	46,93
28	13,56	16,93	22,66	27,34	32,62	37,92	41,34	48,28
29	14,26	17,71	23,57	28,34	33,71	39,09	42,56	49,59
30	14,95	18,49	24,48	29,34	34,80	40,26	43,77	50,89
40	22,16	26,51	33,66	39,34	45,62	51,80	55,76	63,69
50	29,71	34,76	42,94	49,33	56,33	63,17	67,50	76,15
60	37,48	43,19	52,29	59,33	66,98	74,40	79,08	88,38
70	45,44	51,74	61,70	69,33	77,58	85,53	90,53	100,42
80	53,54	60,39	71,14	79,33	88,13	96,58	101,88	112,33
90	61,75	69,13	80,62	89,33	98,64	107,56	113,14	124,12
100	70,06	77,93	90,13	99,33	109,14	118,50	124,34	135,81

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2616842

Дождевальная дефлекторная насадка

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова (RU)*

Авторы: *Русинов Алексей Владимирович (RU), Слюсаренко Владимир Васильевич (RU), Хизов Андрей Викторович (RU), Русинов Дмитрий Алексеевич (RU), Акпасов Антон Павлович (RU), Рыжко Николай Федорович (RU), Надежкина Галина Петровна (RU), Затицацкий Сергей Викторович (RU)*

Заявка № 2015148965

Приоритет изобретения 16 ноября 2015 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 18 апреля 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 16 ноября 2035 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2615574

Дождевальная дефлекторная насадка

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет им Н.И. Вавилова" (RU)*

Авторы: *Русинов Алексей Владимирович (RU), Слюсаренко Владимир Васильевич (RU), Хизов Андрей Викторович (RU), Русинов Дмитрий Алексеевич (RU), Акпасов Антон Павлович (RU), Рыжко Николай Федорович (RU), Надежкина Галина Петровна (RU), Затинацкий Сергей Викторович (RU)*

Заявка № 2015148623

Приоритет изобретения **12 ноября 2015 г.**

Дата государственной регистрации в

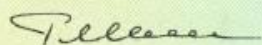
Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **05 апреля 2017 г.**

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает **12 ноября 2035 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 160893

ДОЖДЕВАЛЬНАЯ МАШИНА

Патентообладатель(ли): **Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации" (ФГБНУ "ВолжНИИГиМ") (RU)**

Автор(ы): **см. на обороте**


Заявка № 2015129888

Приоритет полезной модели **20 июля 2015 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **14 марта 2016 г.**

Срок действия патента истекает **20 июля 2025 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015129888/13, 20.07.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.07.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.07.2015

(45) Опубликовано: 10.04.2016 Бюл. № 10

Адрес для переписки:

413123, Саратовская обл., г. Энгельс, ул.
Гагарина, 1, ФГБНУ "ВолжНИИГиМ", ученый
секретарь

(72) Автор(ы):

Рыжко Николай Федорович (RU),
Шушпанов Иван Анатольевич (RU),
Рыжко Сергей Николаевич (RU),
Акпасов Антон Павлович (RU),
Аверичев Алексей Викторович (RU),
Органов Михаил Сергеевич (RU)

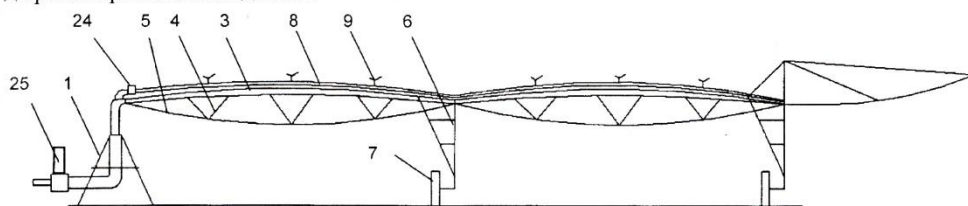
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Волжский научно-
исследовательский институт гидротехники
и мелиорации" (ФГБНУ "ВолжНИИГиМ")
(RU)

(54) ДОЖДЕВАЛЬНАЯ МАШИНА

(57) Формула полезной модели


Дождевальная машина кругового действия, состоящая из неподвижной опоры, водопроводящего стального трубопровода фермового типа, смонтированного на тележках с колесами, отличающаяся тем, что тележки машины снабжены гидромоторами, которые напорными рукавами при помощи двух запорных кранов и регулирующего клапана соединены с трубопроводом машины, а сливными рукавами с двумя запорными кранами соединены со сливной магистралью с дождевальными дефлекторными насадками, кроме того, сверху стального трубопровода при помощи хомутов и направляющих смонтирован полиэтиленовый трубопровод с дождевальными дефлекторными насадками.



ПРИЛОЖЕНИЕ В

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

1. Наименование организации и объекта, где внедрено мероприятие
ОПХ ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» Энгельсского района Саратовской области».
2. Шифр работы, наименование мероприятия, по какому плану внедрялось
«Разработка новых дождеобразующих устройств для повышения качества полива и технологии групповой эксплуатации ДМ «Фрегат».
3. Наименование научной организации, проводящей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия ФГБНУ «ВолжНИИГиМ».
4. Срок начала внедрения мероприятия 2016 г.
5. Краткая характеристика и новизна внедрения мероприятия, взамен чего внедряется.
Внедрение на ДМ «Фрегат» хоз. 1 и 54 новых дефлекторных насадок с кольцевой канавкой, устанавливаемых на трубопроводе машины по учащенной схеме обеспечивает:
 - *повышение равномерности полива до 0,74 ... 0,78 за счет увеличения падения капель в непосредственной близости от водопроводящего трубопровода, а также за счет устойчивости дождевого облака к ветру. Потери воды на испарение и снос дождя снижаются с 14... 20 % до 8 ... 12%. К преимуществам насадок относится: высокая надежность работы в результате отсутствия вращающихся деталей; низкая вероятность засорения мусором.*
 - *существенное уменьшение количества крупных капель в дождевом облаке, снижение негативного влияния капель на растения и эрозионного воздействия дождя на почву. Средний диаметр капель уменьшился до 0,6 ... 1,0 мм вместо 0,8 ... 2,0 мм (дефлекторная насадка кругового действия). Это позволяет снизить количество поврежденных ростков капусты в начале вегетационного периода.*
6. Основные показатели внедренного мероприятия:
 - а) фактический объем внедрения в натуральных показателях
Две ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками с кольцевой канавкой, площадью орошения 54 га.
 - б) эффективность внедрения
Расчетный годовой экономический эффект составляет 69 тыс. руб./маш.

Директор ОПХ ФГБНУ
ФГБНУ «ВолжНИИГиМ»
 Ю. А. Гопкалов


«ВолжНИИГиМ»
 Д. Г. Кайбалиев

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «ВОЛЖСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ»**

**413123, Саратовская область, Энгельский район, р. п. Приволжский, ул.
Гагарина д. 1.Тел. (88453) 75 – 44 – 20, E-mail: volzniigim@bk.ru**

ПРОТОКОЛ № 27-01 от 15 августа 2016 г.

ИСПЫТУЕМЫЙ ОБРАЗЕЦ: Дождевальная дефлекторная насадка с кольцевой канавкой

ЗАКАЗЧИК: Кафедра «ТБ и ТТМ» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет» им. Н. И. Вавилова, г. Саратов, ул. Советская д. 60

ДАТА ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦА: 1 августа 2016 г.

ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЯ: 8 августа 2016 г. – 12 августа 2016 г.

ОБЪЕМ ПРОБЫ, ПОСТУПИВШЕЙ НА ИСПЫТАНИЯ: 12 шт.

СОПРОВОДИТЕЛЬНЫЙ ДОКУМЕНТ: Схема расстановки насадок на ДМ «ФРЕГАТ», конструкторские чертежи

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Определенный показатель	Методика испытаний	Средства измерений	Единица измерений	Результаты испытаний
Средняя интенсивность полива	СТО АИСТ 11.1 -2010	Осадкомеры	мм/мин	0,241
Средний диаметр капель	СТО АИСТ 11.1 -2010	Каплемер	мм	0,65
Коэффициент равномерности полива	СТО АИСТ 11.1 -2010	Осадкомеры	-	0,73
Средний коэффициент расхода насадок	СТО АИСТ 11.1 -2010	-	-	0,84

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: По результатам проведенных испытаний дождевальных дефлекторных насадок с кольцевой канавкой Средняя интенсивность полива, Средний диаметр капель, коэффициент равномерности полива и Средний коэффициент расхода насадок соответствуют агротехническим требованиям.

Внимание!

Результаты, представленные в протоколе, относятся только к образцам прошедшие испытания. Протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения лаборатории.

Результаты исследований подтверждаю:
Заведующий отделом МТС и ТП



Н. Ф. Рыжко