

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РОССИЙСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МСХА ИМЕНИ К.А.
ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи

АЛДИАБ АНАС

**ОБОСНОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОЛИВЕ
ШИРОКОЗАХВАТНЫМИ ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ
КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ**

Специальность 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Журавлева Лариса Анатольевна

Москва – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	8
1.1. Состояние земельного фонда и проблемы орошения в РФ.....	8
1.2. Направления ресурсосбережения для дождевальной техники....	15
1.3. Негативные почвенные процессы при регулярном орошении...	22
1.4. Допустимая интенсивность при дождевании. Водная эрозия почвы.....	24
1.5 Схемы движения и режимы полива.....	31
1.6 Влияние уклона на качественные показатели полива.....	34
1.7 Условия выбора технологии полива.....	36
1.8 Проблемная ситуация, выводы, направления исследований.....	41
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ.....	42
2.1 Оптимизация режима работы дождевальной машины в соответствии с уровнем влагозапасов участка поля.....	42
2.2 Оптимизация режима полива с реверсом движения.....	52
2.3 Управление поливами.....	55
2.4 Выводы по главе.....	58
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	59
3.1 Программа исследований.....	59
3.2 Описание технических средств и оборудования.....	59
3.3 Методики исследований.....	64
3.4 Обработка результатов исследований	74
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	76
4.1 Сравнение стандартной и предлагаемой технологий полива	76
4.2 Результаты исследований влияния рельефа местности на характеристики машины и качественные показатели полива.....	82
4.3 Результаты исследования величины нормы полива до стока.....	87

	Стр.
4.4 .Выводы по главе.....	89
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА.....	91
5.1 Экономия воды при оптимизации поливной нормы.....	92
5.2 Анализ энергетической оценки	93
5.3 Выводы по главе.....	94
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	95
ЛИТЕРАТУРА.....	97
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	112

ВВЕДЕНИЕ

Даже в XXI веке вода по-прежнему используется для орошения с целью производства продуктов питания и кормов. Сельское хозяйство, доля которого составляет около 70%, является крупнейшим потребителем воды в мире [3].

Постоянно растущее население, нехватка ресурсов и ухудшение экологической обстановки оказывают все большее давление на страны. По некоторым оценкам, чтобы ежегодное производство сельскохозяйственных культур удвоилось и удовлетворяло мировые потребности в продовольствии к 2025 году, ежегодное потребление воды для орошения должно увеличиться примерно на 30 процентов по сравнению с нынешним уровнем [3].

Российский парк дождевальных машин по официальным оценкам является устаревшим и характеризуется устойчивой тенденцией к сокращению [4, 12, 34, 42, 70, 78, 128].

В последние годы ситуация с производством новых российских дождевальных машин начинает улучшаться, однако количество их явно не достаточно и в целом негативная статистика по обновлению технической базы в существующих сельскохозяйственных предприятиях сохраняется.

В перспективе спрос на дождевальную технику будет только увеличиваться. Это привлекает в страну большое количество иностранных производителей, подавляя развитие отечественного сельскохозяйственного машиностроения.

Разработка оросительной техники нового поколения с использованием современных систем управления и информационных технологий является основой для повышения конкурентоспособности.

Важнейшим фактором является применение ресурсосберегающих технологий, в особенности рациональное использование водных и земельных ресурсов.

Цель работы – совершенствование технологических процессов полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия на основе требований ресурсосбережения.

Задачи исследования:

- на основании анализа эффективности, обосновать технологию полива, обеспечивающую повышение качества распределения дождя по площади орошения, снижение поверхностного стока и непроизводительных потерь воды;
- провести теоретические исследования технологии полива, выполнить оптимизацию режима полива;
- разработать алгоритм, модель и компьютерную программу для планирования поливной нормы в соответствии с уровнем влагозапасов участков поля на момент их полива;
- провести в условиях эксплуатации сравнительную оценку полива по стандартной и предлагаемой технологии с учетом корректировки поливных норм;
- экспериментально оценить влияние пересеченного рельефа местности и уклона на качество полива и предлагаемые технологические решения при поливе;
- определить экономическую эффективность усовершенствованной технологии полива.

Объект исследований – технология полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия.

Методика исследований.

При выполнении работы применялись общеизвестные методики теоретических и экспериментальных исследований, разработанные и рекомендуемые СТО АИСТ 11.1-2010, ВНИИ «Радуга», ФГБНУ ВолжНИИГиМ. Обработка результатов проводилась методами математической статистики с использованием программ MicrosoftExcel, Statistica.

Предмет исследования. Технологические параметры (время и скорость движения, поливная норма) дождевальных машин кругового действия при поливе сельскохозяйственных культур.

Научная новизна.

1. Методика расчета нормы полива в соответствии с уровнем влагозапасов почвы на момент их полива.

2. Алгоритм, модель и компьютерная программа для планирования поливной нормы в соответствии с уровнем влагозапасов участков поля на момент их полива;

3. Рекомендации по снижению непроизводительных потерь воды и поверхностного стока, в том числе при работе дождевальных машин на пересеченной местности и уклонах.

Научная новизна предложенных технологических и технических решений подтверждена патентами РФ № 2826309 и № 2827310.

Теоретическая и практическая значимость

Обоснованы технологические параметры процесса полива дождевальными машинами кругового действия, уменьшающие непроизводительные потери воды, исключаящие переполив и водную эрозию почв.

Разработанная и опробованная технология позволяют снизить переполив почвы, повысить качество полива и обеспечивают экономию воды до 10 %. Предлагаемая технология была внедрена в 2020–2024 гг. в ООО «Наше дело» (Саратовская область, Марксовский район), КФХ Саратовской области.

В 2023 г на выставке «Золотая осень 2023» была получена бронзовая медаль и диплом «за разработку технико-технологических решений и рекомендаций по сохранению плодородия почв подверженных водной эрозии».

Положения, выносимые на защиту:

- математическая модель технологии полива;
- алгоритм, модель и компьютерная программа для адаптации режима полива к изменяющимся в течение поливного периода условиям;
- результаты исследований по сравнению стандартной и предлагаемой технологий полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия;
- рекомендации по снижению непроизводительных потерь воды и поверхностного стока при работе дождевальных машин на пересеченной местности и уклонах;
- методика оперативного планирования поливов.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждается лабораторно-полевыми исследованиями и актами внедрения. Достоверность полученных результатов обеспечивается статистическими методами с использованием ЭВМ и подтверждается адекватной степенью совпадения проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Основные положения диссертационной работы докладывались в период 2020–2024 гг. на конференциях ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени Тимирязева К.А., Proceedings of the International Conference (Beijing, 2022), Вавиловского университета.

Публикации. По полученным результатам опубликовано 13 научных работ, в том числе 3 работы в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 2 патентах РФ.

Структура и объем диссертации.

Диссертация изложена на 127 страницах. Состоит из введения, пять глав, выводы, практические рекомендации, 42 рисунков, 21 таблица и список научной литературы, состоящий из 140 библиографических источников, в том числе 10 иностранных источников.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Состояние земельного фонда и проблемы орошения в РФ

Последние десятилетия можно наблюдать сокращение поливных площадей. В 2021г площадь земель сельскохозяйственного назначения составила 380 млн. га – это 22% от общей площади РФ.

Площадь пашни также уменьшалась: 1990 год – 132 млн. га, 2000 год – 124 млн. га, 2010 год – 115 млн. га, 2020 год -116 млн. га [35].

Россия входит в первую пятерку стран по площади пашни на душу населения, это 0,79 га. Но по показателям эффективности уровень ниже. Имея почти 9% мировых сельскохозяйственных угодий Россия получает 1,1% валовой продукции [3].

За период с 1990 года по настоящее время площадь деградированных по разным причинам сельскохозяйственных угодий (эрозия, засоление, заболачивание, переувлажнение) увеличилась на 23 млн. га [35].

Сокращение гумуса на пашне ежегодно составляет 0,6 т с гектара [3].

Мелиоративный фонд РФ на настоящее время составляет 9,46 млн. га.

Структура дана на рисунке 1.1.

Структура орошаемых площадей, политых государственными мелиоративными системами, представлена на рисунке 1.2.

Наиболее значимой причиной сокращения площадей сельскохозяйственных угодий является прекращение деятельности предприятий и перевод освободившихся земель в фонд перераспределения [35].

Другая проблема заключалась в нехватке финансовых ресурсов у сельскохозяйственных производителей [4].

Характеристики сельскохозяйственных угодий представлены на рисунке 1.4, состояние земель и характеристики на рисунке 1.5-1.6 [4].

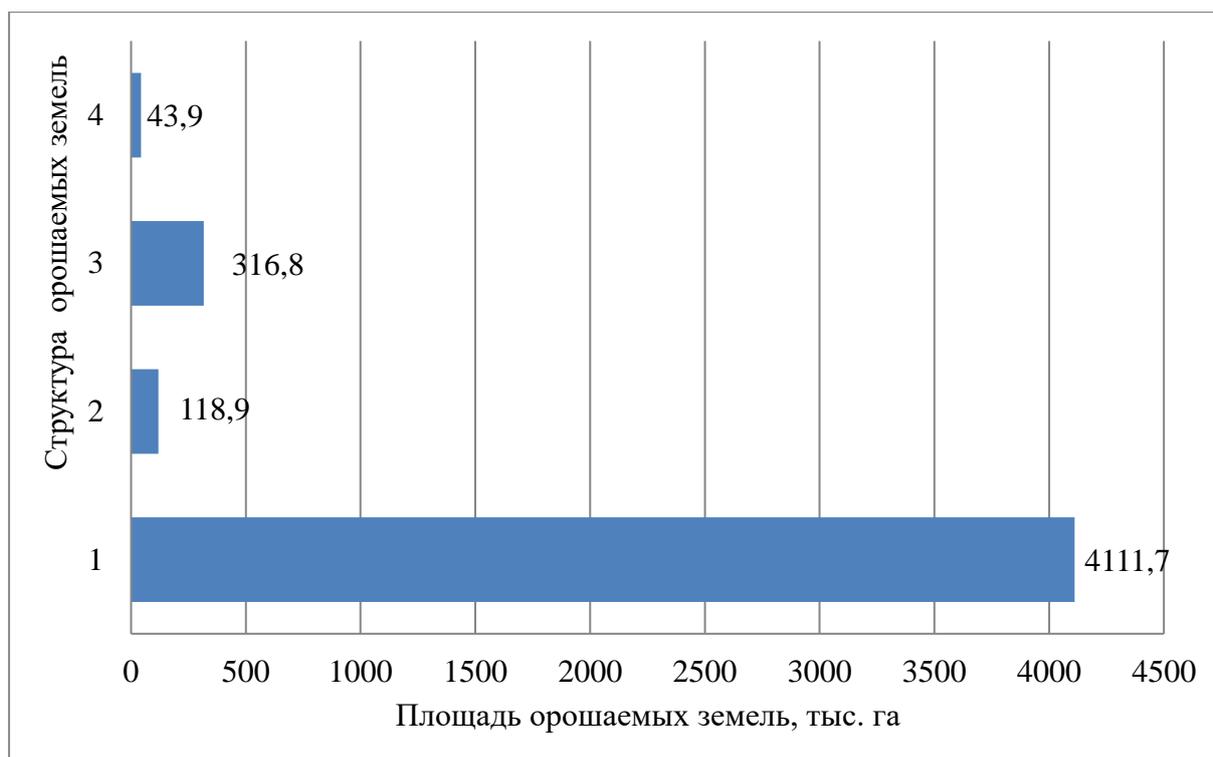


Рисунок 1.1 – Структура орошаемых земель: 1- пашня, 2-многолетние насаждения, 3-кормовые угодья, 4- залежь.

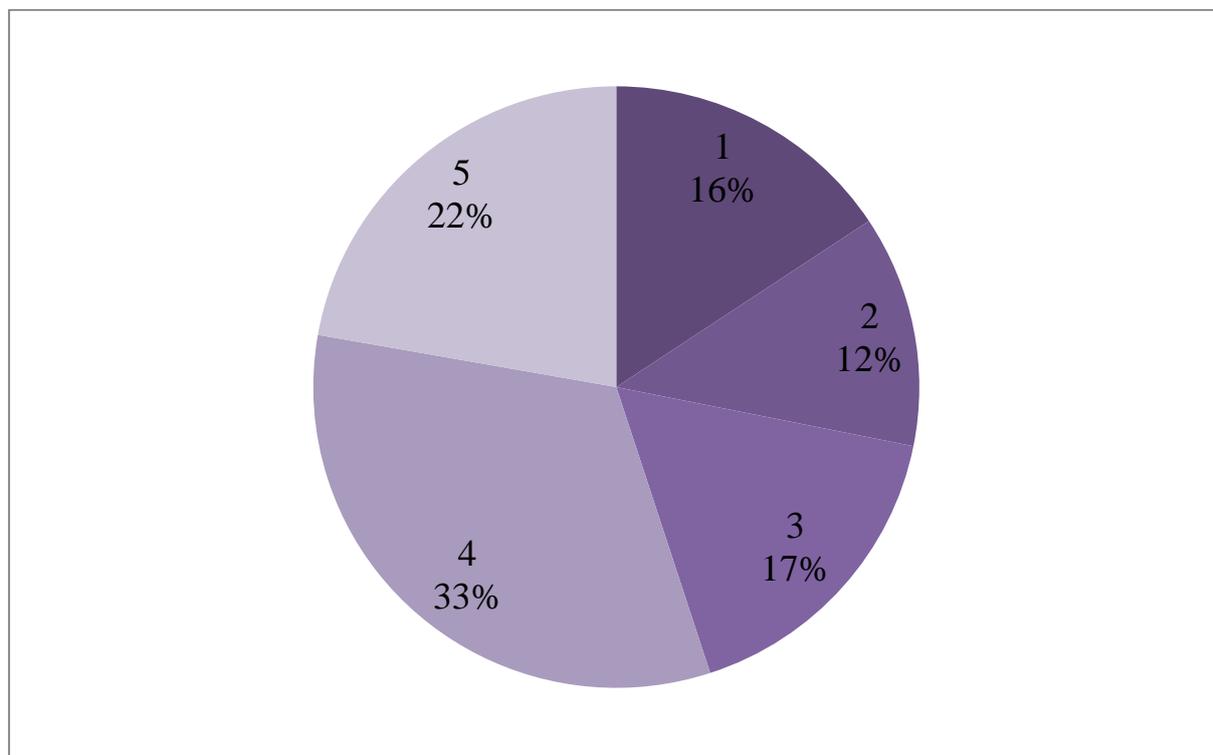


Рисунок 1.2 – Структура орошаемых площадей: 1- зерновые культуры, 2-рис, 3-овощи, 4 –кормовые культуры, 5- прочие культуры.

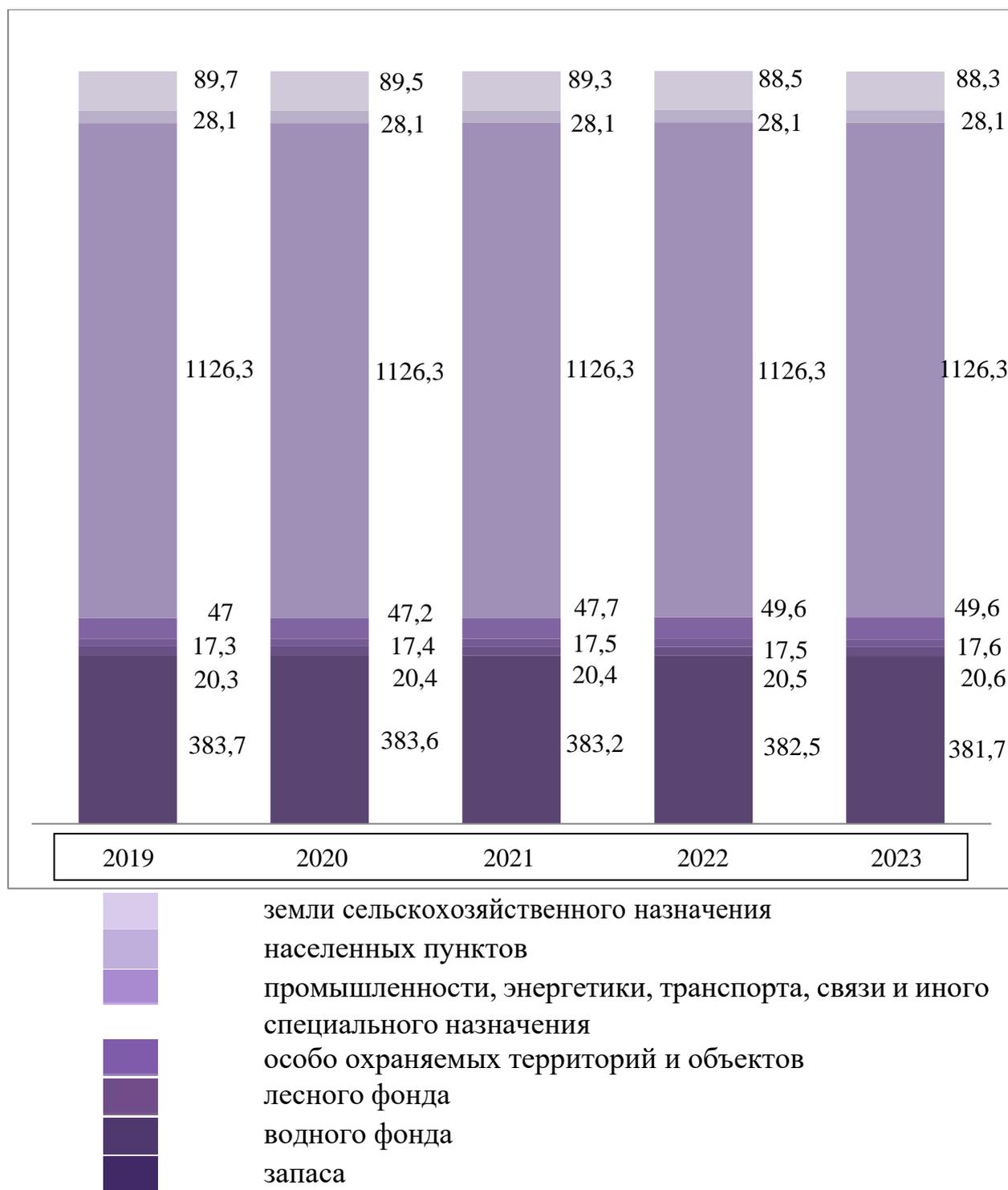


Рисунок 1.3 – Распределение земельного фонда, миллионов гектаров

Сельскохозяйственные земли РФ в значительной степени подвержены эрозионным процессам, что видно из статистических данных:

- Поволжский регион – 26,7%,
- Северо-Кавказский регион -27,4%,

- Центрально-Черноземный -26,5%,
- Северный -5,5%,
- Северо-Западный -6,4%,
- Центральный -15,7%,
- Волго-Вятский -24,9%,
- Дальневосточный -7,0%,
- Уральский -26%,
- Восточно-Сибирский – 9,8%,
- Западно-Сибирский -6,7% [4].

Согласно Государственной программе, на период 2022-2031 годы планируется вовлечь в оборот площади не менее 13234 тыс. га, и из них на 853 тыс. га гидромелиоративные мероприятия [3].

В период развития мелиорации в России для осуществления полива на площади 4,9 млн. га использовалось 79,3 тыс. дождевальных машин [77, 78].

В последующие десятилетия количество поливной техники российского производства значительно сократилось.

В последние годы состав парка машин РФ поменялся. Увеличилось количество электрифицированных широкозахватных дождевальных машин. В том числе иностранного производства. Доля высоконапорных ДМ «Фрегат» снизилась на 32% [4].

Практически отсутствуют машины типа «Волжанка», «Днепр».

В последние годы производство дождевальных машин было налажено многими российскими компаниями. На Казанском заводе, в ООО «БСГ» (г. Тольятти), в ООО «Мелиомаш» (г. Саратов) – за последние пять лет 30 ДМ «Каскад» и др.

Наличие дождевальной техники по маркам машин представлено на рис. 1.8 [4].

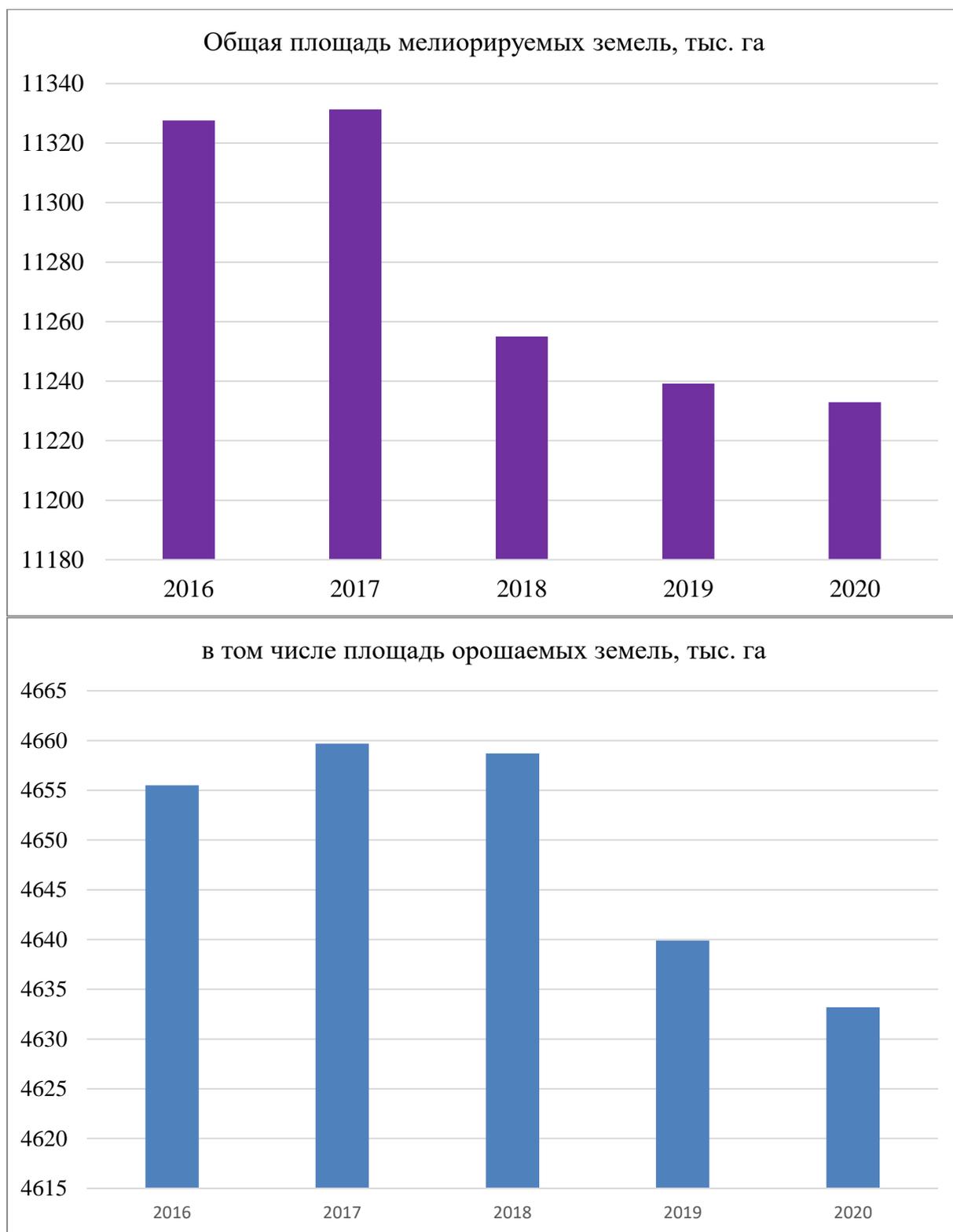


Рисунок 1.4 – Общая площадь мелиорируемых земель и орошаемых земель, тыс. га



Рисунок 1.5 – Состояние орошаемых земель, тыс. га



Рисунок 1.6 – Характеристики орошаемых земель, тыс. га

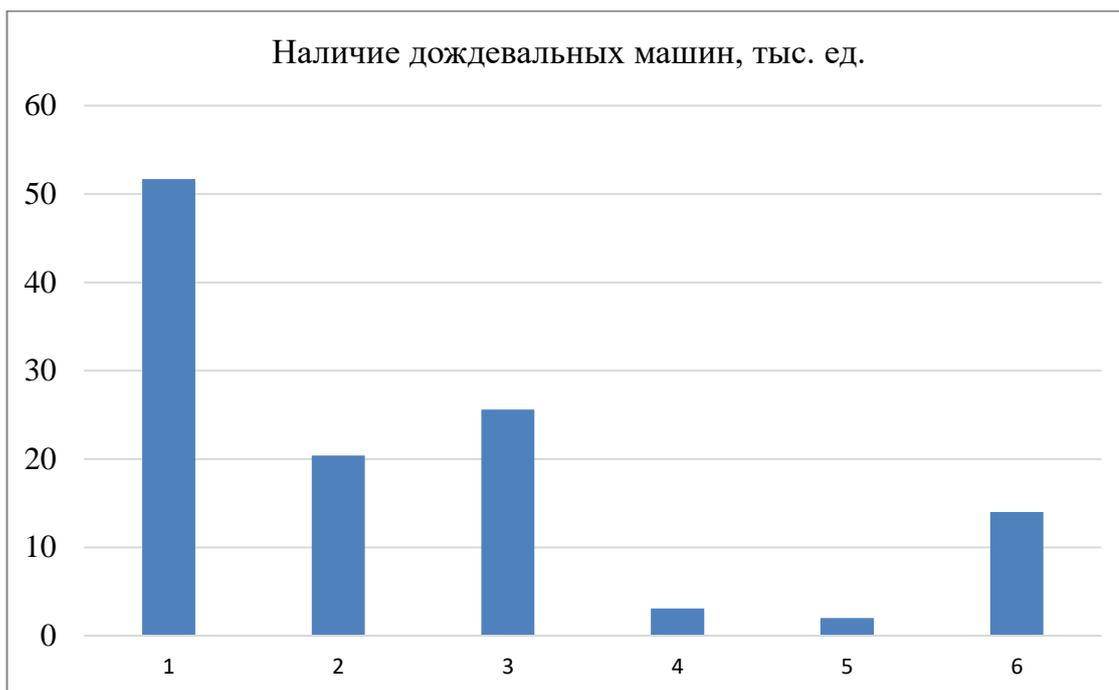


Рисунок 1.7 – Наличие дождевальных машин (тыс. ед) по видам (1980 г): 1-«Фрегат», 2-«Волжанка», 3-«Днепр», 4-«Кубань», 5-ДДА-100МА, 6-другие.

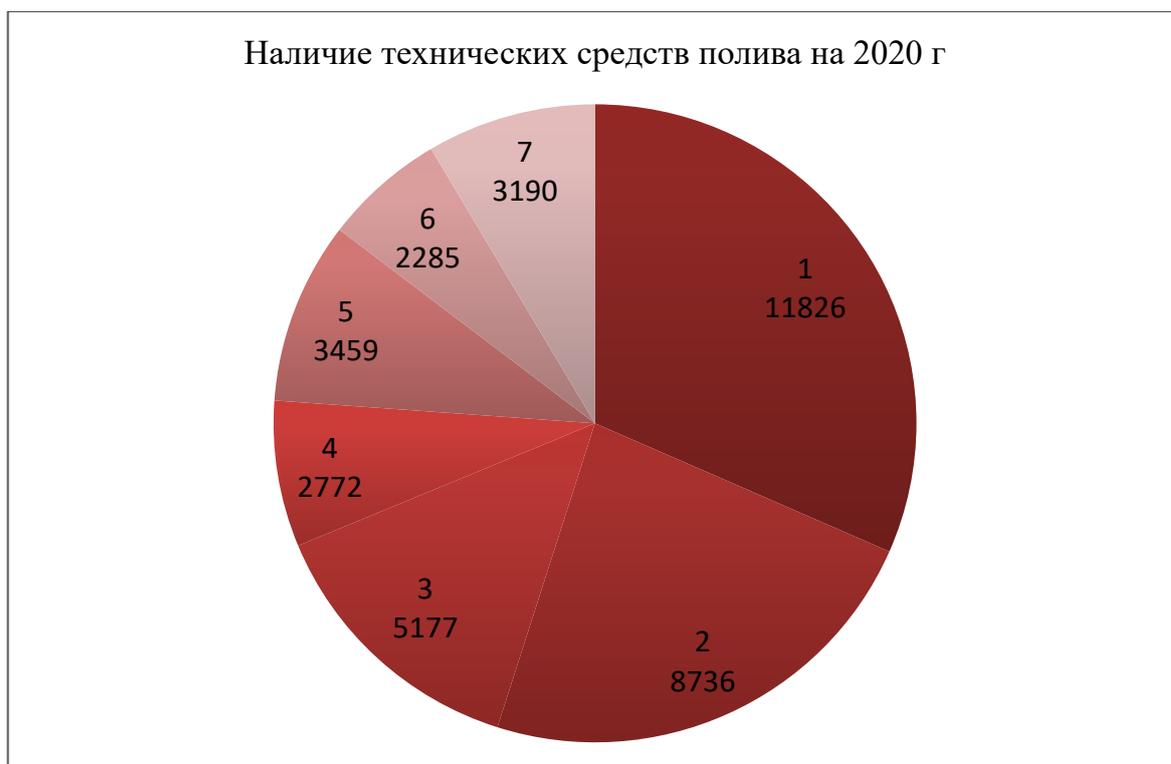


Рисунок 1.8 – Дождевальные машины (тыс. ед.) по видам на 2020 г: 1- всего оросительной техники; 2- всего ДМ; 3- отечественного производства; 4-кругового действия; 5-импортного производства 6 – многоопорные; 7-капельный полив.

Необходимость обновления парка ДМ заключается в ежегодном обновлении на 10% от текущего, для чего требуется проектирование новых, модернизация существующих, налаживание производства, рис. 1.9 [4].



Рисунок 1.9 – Анализ потребности земель в дождевальными машинах: 1- Саратовская область, 2-Волгоградская область, 3-Ростовская область, 4- Краснодарский край, 5-Ставропольский край, 6-Пензенская область, 7- Воронежская область

1.2 Направления ресурсосбережения для дождевальной техники

Ресурсосбережение связано с расходом воды, энергии, поддержания почвенного плодородия, материалов, энергии, рабочей силы и финансовых ресурсов.

Энергосбережение

В 90-х годах прошлого века предпринимались попытки создания дождевальных машин низкого давления. Базовыми машинами были ДМ "Фрегат" и "Кубань". Причиной стал массовый выход из строя закрытых трубопроводов

высокого давления и при последующей реконструкции перевод на низкое давление. Это позволило снизить давление на входе в машину до 0,6-0,7 МПа. При таких условиях давление на насосной станции составляет 1,0-1,2 МПа [1, 2, 17, 41, 77, 102].

"Волжниигим" представил несколько конструктивно-технологических разработок, позволяющих снизить рабочее давление в сети на 25-30%.

В настоящее время низконапорная дождевальная техника – это общемировая тенденцией.

Водосбережение

Существует множество технологий, позволяющих сократить потребление воды. Сточные воды можно очищать и использовать для орошения. Это может стать особенно важным для сельского хозяйства в пригородах.

Переход на новые культуры, требующие меньшего количества воды (и/или новые улучшенные сорта), наряду с более эффективным подбором культур и своевременной посадкой, также может обеспечить значительную экономию водопотребления.

Одним из общепринятых конструктивных решений, снижающих потери воды на испарение и унос - приповерхностное дождевание со спускными трубами [124].

В настоящее время имеется возможность регулировать расстояние от поверхности почвы в зависимости от высоты поливаемой культур [45, 75, 102-105].

В течение последних 30 лет наблюдалась общемировая тенденция к производству дождевателей, которые распыливают большие расходы при меньшем давлении. Это связано с тем, что высокое давление воды требует насосы с высокими энергозатратами, что, в свою очередь, приводит к высокой стоимости топлива.

Большинство ныне работающих дефлекторных дождевателей импортного производства могут работать при низком давлении воды от 0,20 до 0,40 МПа при диаметре распыливания от 16,8 до 24,5 метра или при высоком давлении воды от

0,40 до 0,80 МПа при диаметре распыливания от 18,0 до 45,8 метра. Размер капель варьируется от среднего до крупного для обоих давлений.

Следовательно, схема распределения воды может варьироваться в зависимости от модели дождевателя.

Поскольку давление воды внутри трубопровода уменьшается по мере продвижения к внешней части точки поворота, для компенсации снижения давления требуется постепенное увеличение размера сопла.

Скорость полива может варьироваться от 5 до 75 мм/ч вдоль трубопровода при использовании дождевателей с вращающимся дефлектором и до 300 мм/ч на конце консоли. Таким образом, вероятность стока воды, будет наибольшей в самой дальней части трубопровода.

Наиболее важным показателем является коэффициент земельного использования.

Дождевальная техника, работающая по кругу, в принципе имеет сниженный коэффициент земельного использования за счет недополива углов.

Например, для ДМ "Фрегат" в пределах орошаемого круга коэффициент равен 0,98, а с учетом углов, 0,82 [102]. Устройства для полива углов повышает коэффициент земельного использования, при этом увеличивая стоимость конструкции за счет усложнения [102-104].

Среди методов увеличения коэффициента земельного использования можно выделить:

- применение устройств для полива углов;
- рациональное планирование зон полива.

Схемы полива можно представить в виде секторов, рис. 1.10.

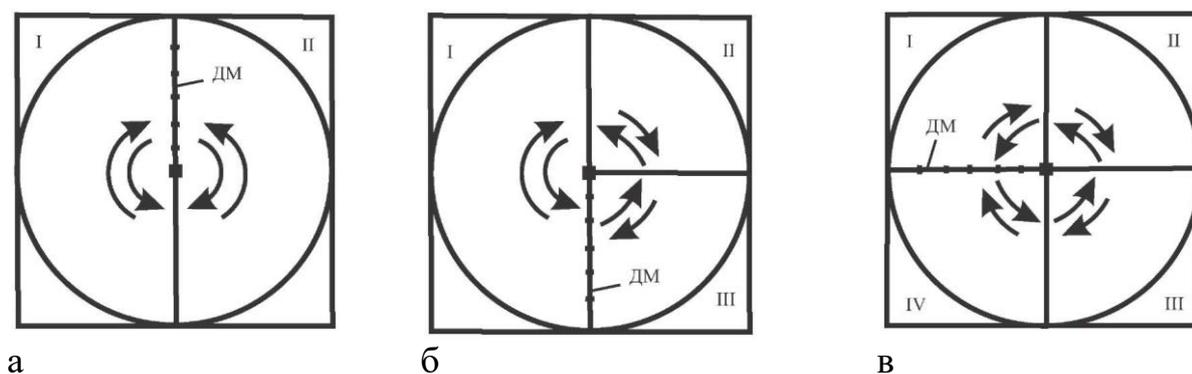


Рисунок 1.10 – Схемы полива: а – поля с двумя культурами; б – с тремя; в – четыре культуры

Дождевальные машины кругового действия как правило применяют для полива от 2 до 200 га. Экономические соображения обычно ограничивают их применение на орошаемых площадях площадью более 20 га.

Если центральная ось расположена в середине квадратного участка земли без торцевого распылителя, машина будет орошать около 80% общей площади. Машины часто размещаются вместе, если на одном большом участке земли установлено несколько центральных опор, так что орошается от 85% до 95% общей площади.

Площадь, орошаемая с помощью машины, может быть увеличена за счет использования относительно недорогих торцевых дождевальных аппаратов, работающих от бустерного насоса и дорогих «угловых систем».

Эффективное использование воды зависит от нескольких факторов, взаимодействующих друг с другом, к которым относятся: давление воды в трубопроводе оросителя, тип оросителя, размер и форма сопла, порядок расположения дождевателей, расстояния между оросителями и их высота от поверхности почвы и/или растений.

К наиболее эффективным, но дорогим и сложным технологиям экономии водных ресурсов при поливе можно отнести так называемое «дифференцированное» орошение. Одной из разновидностью которого называют «Точное орошение».

Точное земледелие является перспективной технологией для управления конкретным участком или управления в соответствии с местными условиями. Тем

не менее, эффективность и целесообразность применения точного орошения зависит от степени изменчивости факторов на поле.

На расход воды влияют многие факторы, которые изменяются в пространстве и во времени. По этой причине водоснабжение на полях должно варьироваться в зависимости от региона.

Т.о., необходимо разбить поле на небольшие участки, а затем разработать индивидуальное управление каждым участком с использованием сельскохозяйственных ресурсов (удобрения, гербициды, вода) с учетом специфики участка. На сколько малым этот участок должен быть зависит от условий среды. А на сколько этот участок может быть малым зависит от технических возможностей.

Для принятия решений важно оценить:

1. Изменчивость урожайности: историческое и текущее распределение урожайности.

2. Изменчивость поля: рельеф поля, уклон.

3. Изменчивость почвы: плодородие почвы, физические свойства почвы (текстура, плотность, механическая прочность, содержание влаги и электропроводность), химические свойства почвы (рН, содержание органических веществ и др.), влагоудерживающая способность почвы.

4. Изменчивость урожая.

5. Изменчивость факторов: засорение сорняками, насекомыми, болезнями, повреждение ветром.

В условиях, где орошение дополняет выпадение осадков, общая стратегия управления заключается в том, чтобы поливать в количестве, достаточном для удовлетворения потребностей урожая до следующего выпадения осадков.

В некоторых ситуациях может оказаться желательным при возобновлении полива после дождя использовать меньшие объемы воды.

В зависимости от параметров, влияющих на потребность поля в оросительной воде, тип и сорт растений, расстояние между растениями и их размер могут варьироваться в пределах одного и того же поля.

Существует четыре основных метода реализации дифференцированного орошения:

а) изменение скорости движения дождевальной машины с делением на сектора;

б) управление отдельными дождевателями или участками с несколькими дождевателями;

г) использование дождевателей с изменяемым проходным отверстием сопла;

Изменение скорости движения дождевальной машины с делением на сектора полива эффективно применялся для полива нескольких культур высаженных по секторам. В настоящее время данный способ может быть усовершенствован за счет повышения уровня технических средств полива, датчиков влажности и систем позиционирования [87].

Управление отдельными дождевателями или участками с несколькими дождевателями позволяет более точно подавать требуемое количество воды на требуемый участок. Но большой радиус орошения дождевателями затрудняет распыливание воды на небольшие участки без нежелательного распыливания на соседние участки. Кроме того, излишнее перекрытие может отрицательно сказаться на равномерности полива. Помимо этого к недостаткам следует отнести стоимость, дополнительное оборудование и программное обеспечение. Структура, лежащая в основе разработки стратегии точного орошения представлена на рисунке, 1.11.

Использование дождевателей с изменяемым проходным отверстием сопла. Расход воды можно изменять, перемещая штифт в отверстие дождевателя, уменьшая его площадь.

Этот метод не отключает подачу воды полностью. Максимальный расход достигается при удалении штифта. Когда штифт вставлен, поток уменьшается на величину отношения площади поперечного сечения штифта к поперечному сечению отверстия разбрызгивателя до известного нижнего предела. Метод ввода штифта, хотя и может изменяться в диапазоне от 40 до 100 %, не может обеспечить расход ниже 40 % от полного расхода.

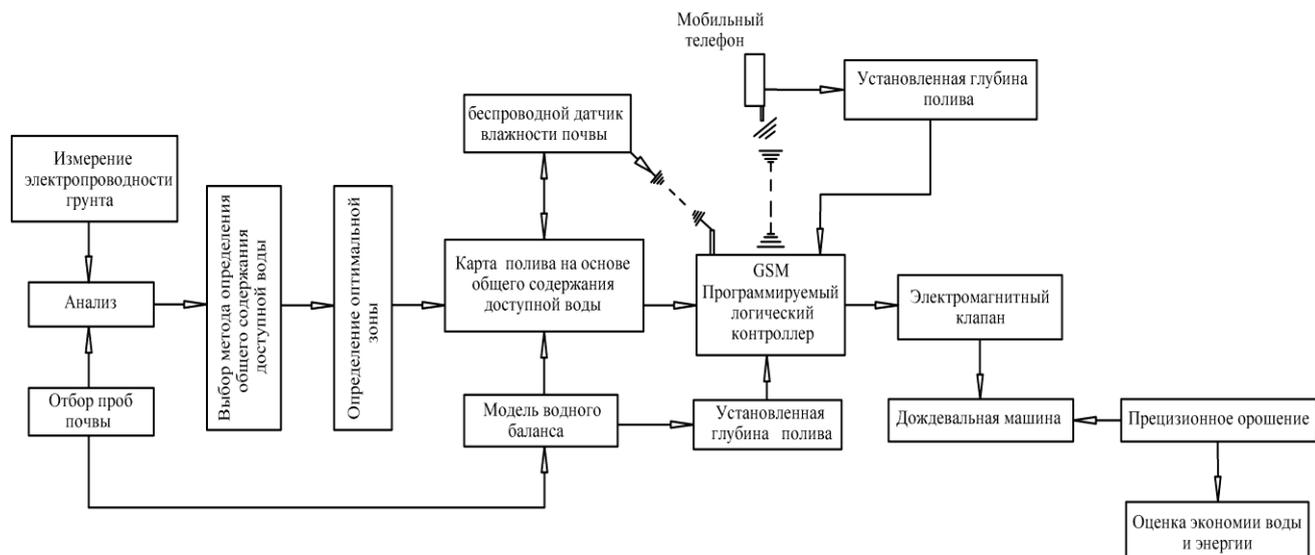


Рисунок 1.11 – Структура, лежащая в основе разработки стратегии точного орошения

Почвосбережение при поливе. Водная эрозия почв. Известно, что при некоторых условиях дождевание способствует развитию водной эрозии почв.

Величина поверхностного стока может достигать 40% от вододачи и чем больше норма полива, тем больше [41, 42, 170, 102-104].

На открытой почве и начальной стадии развития растений сток больше [42].

Переполив характерен ДМ «Фрегат» в случае аварийной остановки машины [41, 102-104].

За десятилетия круговые дождевальные машины претерпели множество усовершенствований. Такие компоненты, как регуляторы давления, стали критически важными в современных конструкциях круговых дождевальных установок, обеспечивая подачу воды с постоянным давлением по всей длине круговой дождевальной установки, несмотря на колебания высоты и расстояния от точки круговой дождевальной установки.

Благодаря многим технологическим достижениям, включая GPS (глобальную систему позиционирования), VRI (дифференцированное орошение), искусственный интеллект (искусственный интеллект), датчики с поддержкой Интернета вещей (IoT) и беспроводные контроллеры, современными круговыми

установками можно управлять и контролировать удаленно, обеспечивая точное подачу воды и помогая экономить ресурсы.

1.3 Негативные почвенные процессы при регулярном орошении

Рельеф оказывает большое влияние на возможность орошения поля. Рельеф местности будет влиять на тип используемой оросительной системы и методы борьбы с водной эрозией.

Периодическое переувлажнение, особенно периодическое приводит к вторичному засолению почв.

При обсуждении влагоудерживающей способности, связанной с определенным типом почвы, обычно указывается количество воды, доступное для использования растениями в корневой зоне.

Много исследований ученых посвящено ухудшению качества почв под влиянием длительного полива [94, 96].

Потеря гумуса при орошении может достигать 10 до 15 % от его содержания в неорошаемых почвах [11].

Под влиянием поливной воды в орошаемых почвах происходят изменения и свойств [4, 13, 109, 129], таблица 1.1.

Таблица 1.1 – Изменение свойства различных типов почв при длительном орошении

Тип	Плотность, т/м ³		Водопроницаемость, мм/мин	
	экспериментальное	оптимальный интервал	экспериментальное	Оптимальный интервал
Чернозем				
типичный (Центрально – черноземная область)	1,3	1,0–1,25	0,83	2,0–2,5
обыкновенный (Центрально-черноземная область)	1,32	1,0–1,25	0,80	1,5–2,0
обыкновенный юга России:				
орошение пресной водой	1,24	1,1–1,15	0,93	1,5–2,0
орошение слабоминерализованной водой	1,34	1,1–1,15	0,67	1,5–2,0
Комплексный				
чернозем южный	1,30	1,1–1,25	0,73	1,0–1,5
солонец	1,48	1,2–1,3	0,57	0,7–1,0
Темно-каштановые				
суглинистые	1,38	1,0–1,25	0,64	1,0–1,5

Использование щелочной воды при орошении оказывает выраженное влияние на разрушение структуры почвы, и это отчетливо наблюдается на обычных черноземных почвах.

С другой стороны, использование нейтральной воды при орошении типичных черноземных почв оказывает меньшее вредное влияние на структуру почвы.

Типичная черноземная почва содержит большое количество гумуса, который обладает кислым действием и, как следствие, поддерживает благоприятную структуру почвы. [128]

Сравнительное содержание гумуса в длительно орошаемых почвах и на богаре представлено на рисунке 1.12.

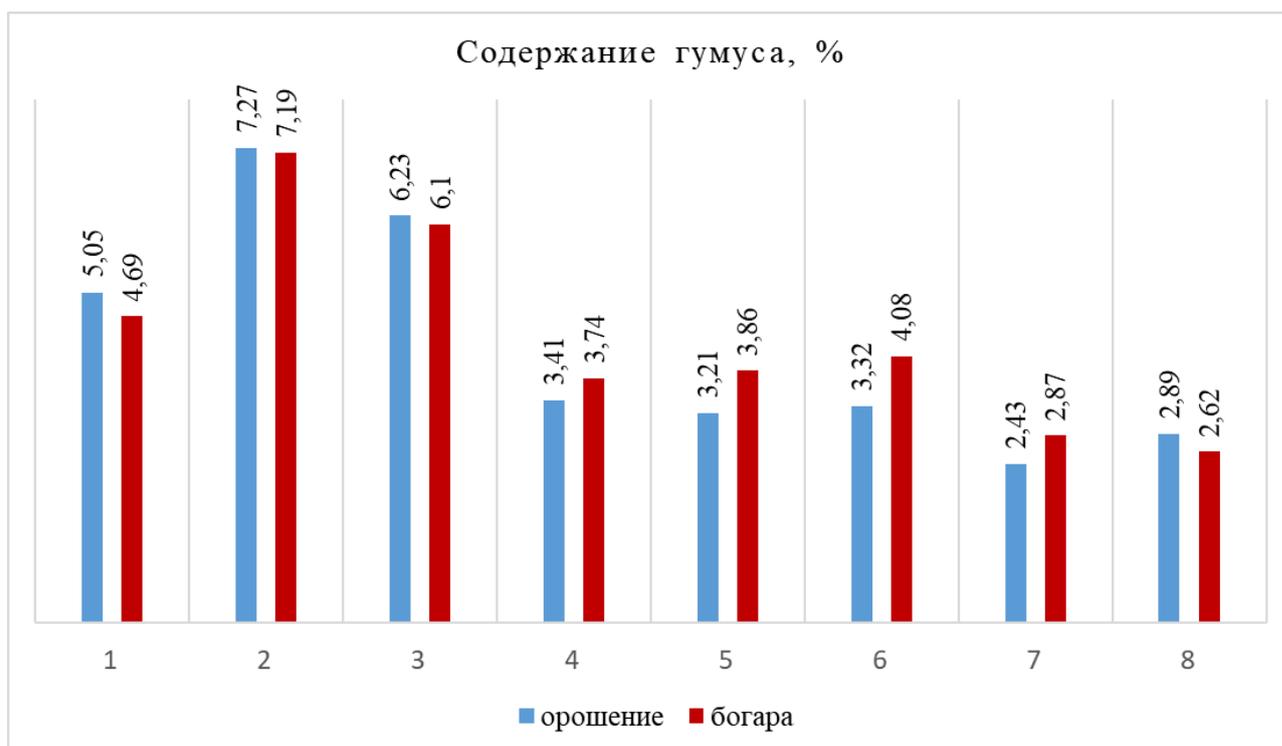


Рисунок 1.12 – Содержание гумуса в длительно орошаемых почвах и на богаре: 1 - Серая лесная почва, 2 - Чернозем типичный, 3- Чернозем обыкновенный, 4- Чернозем обыкновенный, орошаемый пресной водой; 5- Чернозем обыкновенный, орошаемый слабоминерализованной водой; 6- Комплексный покров-чернозем южный; 7 - Солонец; 8 - Темно-каштановая почва

В темно-каштановых почвах при длительном орошении развиваются: переуплотнение, выщелачивание, магниевая и натриевая солонцеватость.

Известно, что каждый тип почвы имеет свои особенности в отношении воздействия длительного орошения и процессов почвообразования.

1.4 Допустимая интенсивность при дождевании. Водная эрозия почвы

В нормативных документах [38, 69] даны рекомендации и условия применения дождевания.

А.Н. Костякова определил допустимую интенсивность при дождевании исходя из механического состава почвы: для тяжелых 0,1-0,2 мм/мин; средних 0,2-0,3 мм/мин; легких 0,3-0,8 мм/мин [41].

Зависимость скорости инфильтрации от продолжительности полива представлено на рисунке 1.13.

В исследованиях [63] учитывается уклон поверхности. На склонах поверхности орошения уклоном 0,01-0,12 допустимая интенсивность изменяется для легких почв от 0,5 до 0,8 мм/мин; для средних 0,4-0,2 мм/мин; для тяжелых 0,2-0,1 мм/мин.

Допустимую интенсивность можно определить исходя из разных факторов, табл. 1.2. и 1.3.

При поливе мелкодисперсным дождем досточковая поливная норма значительно повышается. Минусом является увеличение процента испарения и сноса ветром.

Во многих исследованиях [2, 5, 11, 13, 16, 18, 27-29, 45, 62, 79, 91, 94, 129, 130] рассматривается негативное воздействие на поверхность почвы капель дождя.

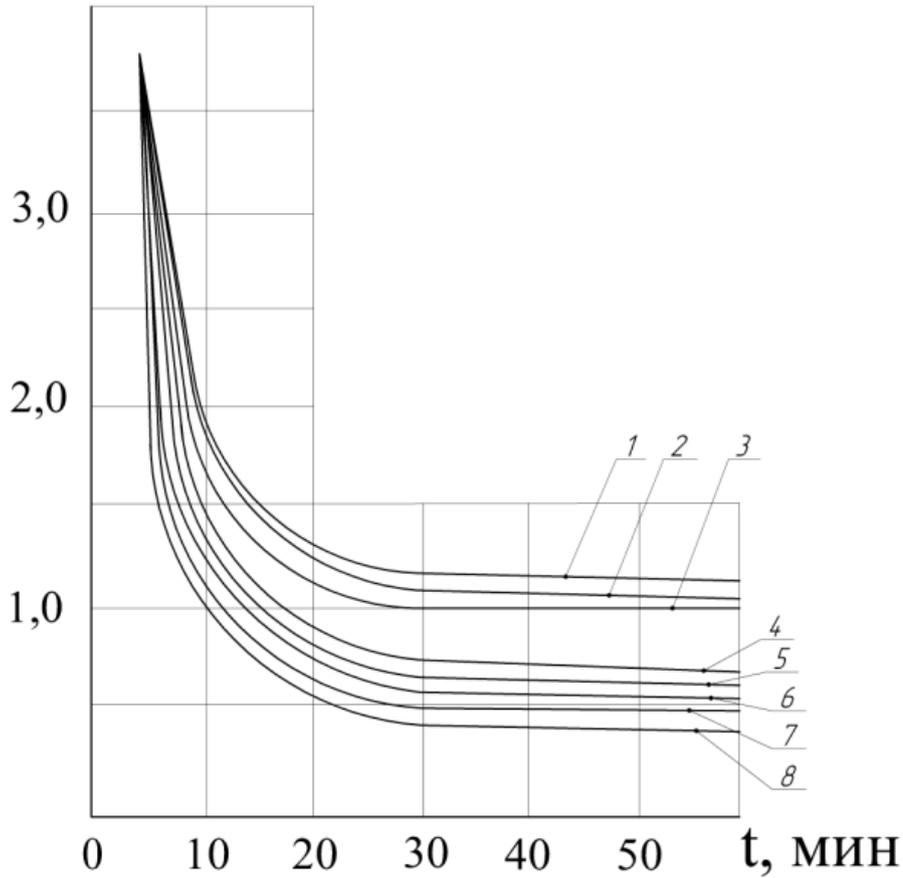


Рисунок 1.13 - Зависимость скорости инфильтрации при безнапорном (при дождевании) режимах впитывания воды в почву от продолжительности полива различной интенсивности: 1-3,5 мм/мин, 2-3,27 мм/мин, 3-3,17 мм/мин, 4-2,01 мм/мин, 5-1,53 мм/мин, 6-1,15 мм/мин, 7-1,0 мм/мин, 8-0,7 мм/мин, 9-0,5 мм/мин

Таблица 1.2 – Допустимая интенсивность дождя, мм/мин

Тип	Уклон поверхности			
	0-0,05	0,05-0,08	0,08-0,12	Более 0,12
Песчаные почвы	0,84	0,84-0,65	0,63-0,45	0,41-0,22
Легкие супесчаные	0,74-0,43	0,54-0,35	0,41-0,26	0,31-0,18
Среднесуглинистые	0,42-0,22	0,34-0,18	0,25-0,14	0,17-0,09
Тяжелые суглинки и глины	0,09-0,07	0,07-0,05	0,05-0,04	0,04-0,03

Таблица 1.3 – Эрозионно-допустимая поливная норма

Средний диаметр капель, мм	Интенсивность дождя, мм/мин									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
слабой водопроницаемости										
1,0	580	410	330	290	260	230	220	200	190	180
2,0	350	250	200	170	160	140	130	120	120	110
3,0	200	150	120	100	90	80	70	70	60	60
средней водопроницаемости										
1,0	1450	810	660	580	510	470	430	410	380	360
2,0	700	490	400	350	310	280	260	250	230	220
3,0	440	310	250	210	190	170	160	150	140	130
сильной водопроницаемости										
1,0	1720	1220	1000	860	770	700	650	610	580	550
2,0	1040	740	640	520	470	430	400	370	350	330
3,0	650	450	360	320	320	270	240	220	210	200

Для расчета нормы полива, как правило, учитывают основные факторы: интенсивность дождя, диаметр капель от величины которого зависит воздействие капель дождя на почву, режим движения [19].

У ДМ «Кубань» средние диаметры капель последних тележек составляют 1,5-5,1 мм, средняя интенсивность дождя – 0,98 мм/ми [42].

Изучению вопросов инфильтрации посвящены работы многих ученых. Закономерность впитывания воды в почву А.Н. Костякова в момент времени t , мм/мин [63]:

$$K_b = \frac{v_v}{t^w}, \quad (1.1)$$

где: v_v – скорость впитывания, мм/мин; w – показатель затухания.

Продолжительность полива [63]:

$$T = \frac{K_u}{\rho_{cp}^m}, \quad (1.2)$$

где: ρ_{CP} – средняя интенсивность, мм/мин; K_u – коэффициент водопроницаемости; m – эмпирический коэффициент.

В исследованиях [38, 62] продолжительность впитывания:

$$t = \frac{P}{\rho_{CP}^{1,5} e^{0,65d_K}}, \quad (1.3)$$

P – показатель водопроницаемости, мм, таблица 1.4; d_K – диаметр капель, мм.

$$P = h \sqrt{\rho_{CP}} e^{0,5d_K}, \quad (1.4)$$

где: h – слой дождя, мм.

Кривые впитывания для различных типов почв представлены на рисунке 1.14 [41, 63].

Таблица 1.4 – Параметры безнапорного впитывания

Тип почвы	Наименьшая влагоемкость, %	Исходная влажность, % НВ	P
Засоленные светло-каштановые	19,5	70	14,0
Темно-каштановые	24,0	75	48,4
Черноземы	29,5	60	78,1
Черноземы	29,5	95	41,6

Засоленные светло-каштановые почвы имеют низкую впитывающую способность, темно-каштановые – среднюю, а черноземы – высокую водопроницаемость.

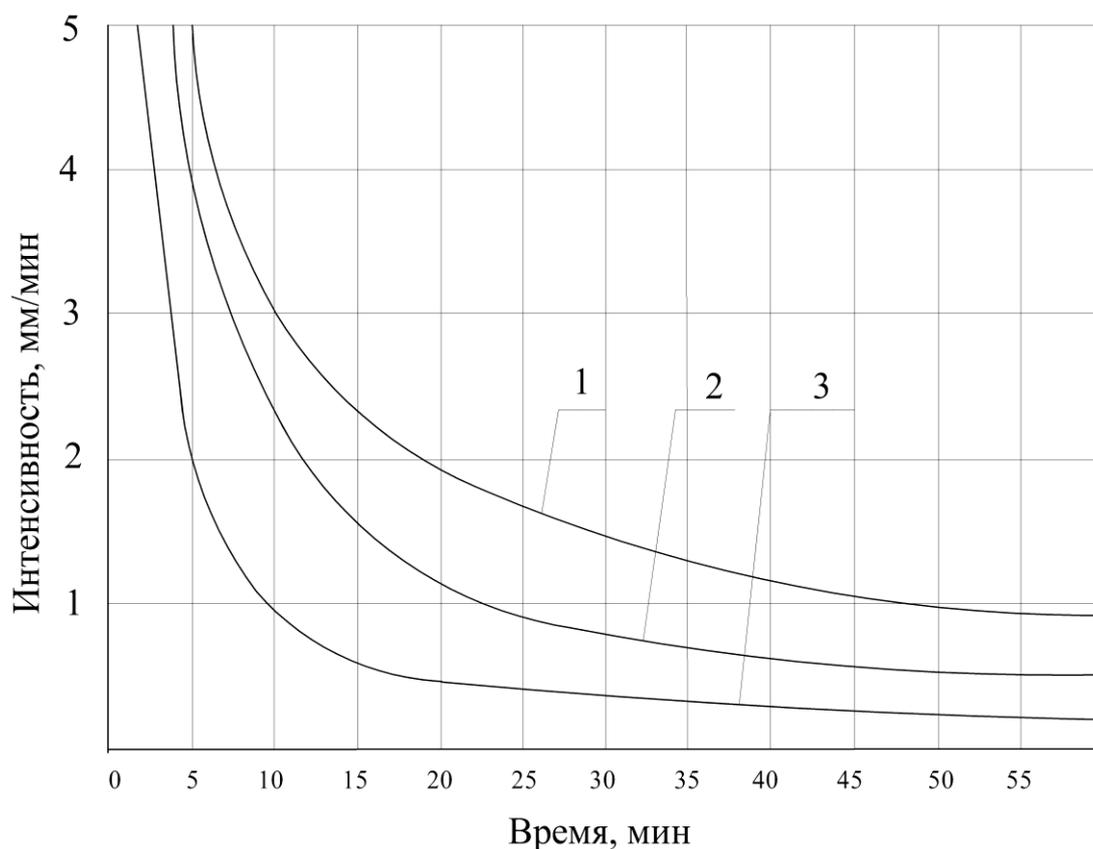


Рисунок 1.14 – Кривые безнапорного впитывания почв: 1 – черноземные, 2 – темно-каштановые, 3 – светло-каштановые

Таблица 1.5 – Эрозионно-допустимые поливные нормы для ДМ «Кубань»

Тип почвы	Исходная влажность, %НВ	Эрозионно-допустимые поливные нормы, м ³ / га	
		по графику	по 1.3
Светло-каштановые	70	80	80
Темно-каштановые	75	315	270
Черноземы	60	480	440
Черноземы	95	330	330

Всхожесть сахарной свеклы увеличилась на 6,4%, когда энергия распыления капель была снижена на 50%. Это указывает на то, что оросительная вода влияет на структуру почвы, которая является ключевым фактором, влияющим на движение воды и ее удержание в почве, эрозию, образование корки, рециркуляцию питательных веществ, проникновение корней и урожайность сельскохозяйственных культур [134].

Сила удара капель о землю разрушает поверхностную структуру почвы, образуя тонкий уплотненный слой, что значительно снижает скорость инфильтрации. Норма полива и кинетическая энергия дождевых капель при ударе являются основными факторами, влияющими на почву и формирование поверхностного уплотнения.

Исследования стока под дождевальными машинами показывают, что уплотнение поверхности почвы продолжает развиваться с каждым сезоном орошения. Единственный способ восстановиться после образования уплотнения на поверхности почвы — это операция обработки почвы.

Воздействие эрозии может быть количественно оценено путем выражения соотношения между урожайностью до и после начала ускоренной эрозии или величины снижения урожайности в единицу времени на территории, подверженной деградации.

Знание причинных факторов и использование моделей прогнозирования эрозии могут помочь в долгосрочном планировании управления земельными ресурсами.

Пересмотренное универсальное уравнение эрозии почв (RUSLE) эмпирическая модель прогнозирования эрозии почв, основанная на универсальном уравнении эрозии почв (USLE) может быть использована для планирования эрозии почв и управления водными ресурсами. Модель представляет собой научно обоснованный инструмент, который был усовершенствован за последние несколько лет и рассчитывает ежегодную эрозию в результате выпадения осадков и связанного с ними стока для ландшафтного профиля [127].

Метод позволяет оценить степень эрозии и количественные показатели для обоснования преимуществ планируемых мер по борьбе с эрозией и полива, рассчитывает среднегодовую величину эрозии, ожидаемую на склонах холмов, путем умножения нескольких факторов: эрозийность осадков, эродируемость почвы, длину и крутизну склона, управление растительным покровом и методы

стабилизации. Значения этих коэффициентов определяются на основе полевых и лабораторных экспериментов.

В модели количественно определяет последствия воздействия дождевых капель и отражается количество и скорость стока, которые могут быть связаны с дождем. Коэффициенты отражают легкость, с которой грунт отделяется под действием брызг во время дождя и/или поверхностного стока, и, следовательно, показывает изменение состояния грунта на единицу приложенной внешней силы энергии. Этот фактор связан с комплексным воздействием осадков, стока и инфильтрации и объясняет влияние свойств почвы на потери грунта во время штормов на склоновых участках.

Потери грунта увеличиваются с увеличением крутизны склона быстрее, чем с увеличением длины склона.

1.5 Схемы движения и режимы полива

Схемы движения и режимы полива дождевальными машинами кругового действия зависят от возможности подключения к водоему и его виду.

Известны следующие схемы работы (рис.1.15).

1. (рис. 1.15 а). Полив с одной позиции без перемещения. Не политые углы 16...18%, коэффициент земельного использования 0,82-0,84 [41].

2. (рис. 1.15 б). Полив на двух позициях с перемещениями, 0,82- 0,84 [41].

Такие модели работают использованием тягача (рис. 1.15 в).

Величину поливной нормы регулируют только скоростью движения тележек, направлением движения.

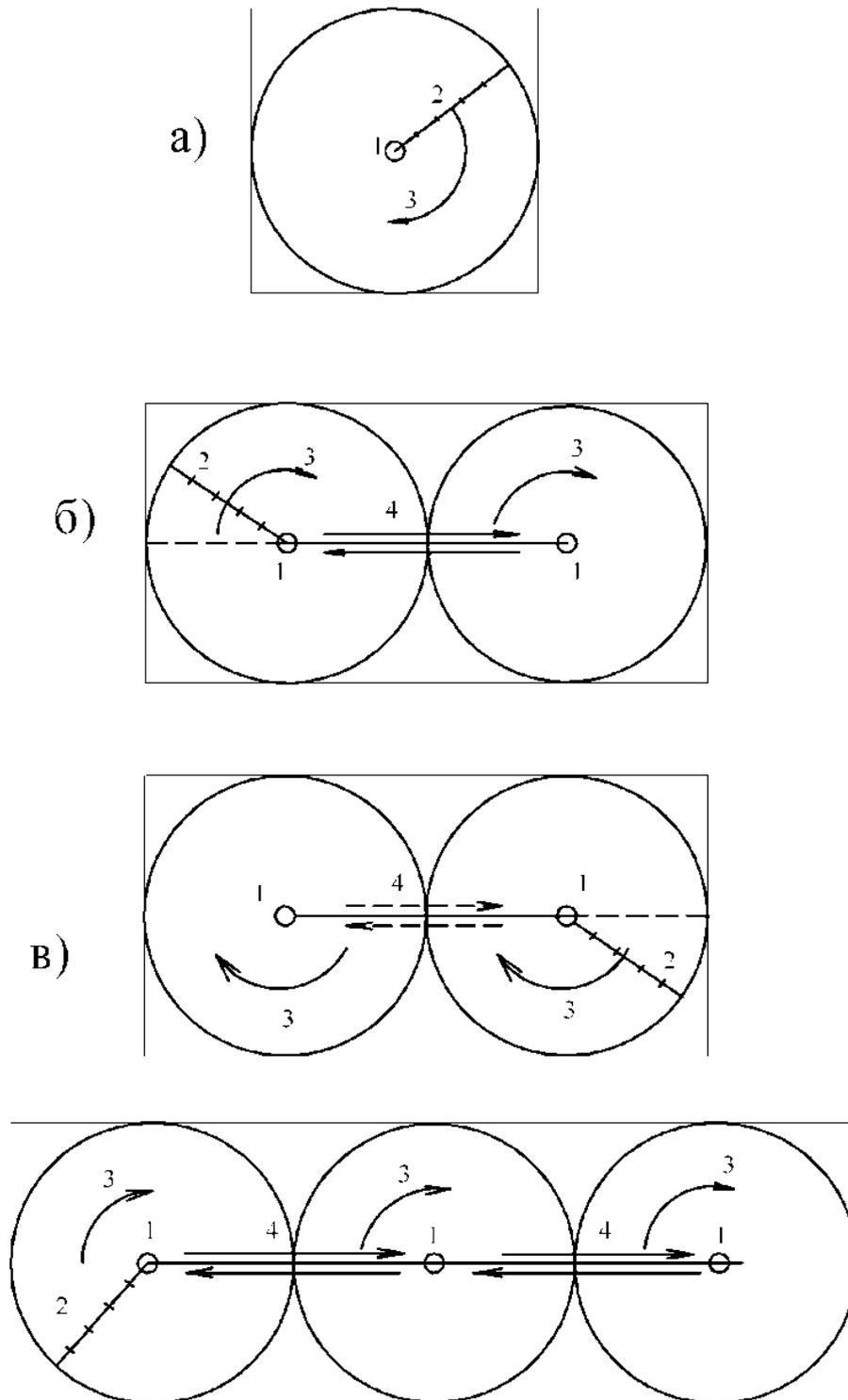


Рисунок 1.15 – Схемы работы: а) и б) «Фрегат-ДМУ», «Кубань-ЛК» на одной и двух позициях; в) «Фермер-Фрегат-ДМУ», «Мини Фрегат-К», «Мини Кубань-ЛК», «Фермер Кубань-ЛК-1» на двух и трех позициях: 1 – гидрант, 2 – дождевальная машина; 3 – направление движения по кругу; 4 – направление движения

Дождевальные машины, имеющие гидравлический привод для перемещения, такие как значительно сложнее меняют характеристики полива. Для смены скорости движения необходимы конструктивные доработки.

Для снижения стока пользуются соотношениями, таблица 1.6.4

Таблица 1.6 –Нормы полива и влажности почвы

Сельскохозяйственная культура	Наименьшая влагоемкость НВ, %		Рекомендуемая норма полива, м ³ /га
	Незасоленные почвы	Слабозасоленные почвы	
кукуруза	65	80	4000-5000
подсолнечник	60	70	3000-3500
соя	70	85	6000-7000
зерновые	60	70	2500-3000

Согласно исследованиям [97], границы влагозапасов следует устанавливать в соответствии с рекомендациями:

- 0,8 НВ черноземы степной зоны;
- 0,85 НВ каштановые почвы сухостепной зоны;
- 0,9-0,95 НВ черноземы пустынной зоны;
- 1,0 НВ – для гумидных зон.

Кроме того, необходимо учитывать, что при больших поливных нормах и малого коэффициента фильтрации движение тележек дождевальной техники осуществляется с буксованием. Это ведет к уменьшению скорости движения и увеличению нормы полива, сверх планируемой, приводя к дополнительному переполиву.

А.Н. Костяков дает рекомендации для полива:

- интенсивность для легких почв 1,0 мм/мин и тяжелых 0,2-0,3 мм/мин;
- величина нормы полива должно уменьшаться в процессе работы, что обеспечить технологически сложно.

Кроме того можно рекомендуется влагозарядковый полив, позволяющий предварительно накапливать влагу в почве и снижать норму полива за оборот дождевальную машины в период вегетации.

Чтобы определить полный уровень влажности почвы, необходимо взять пробы почвы с нескольких уровней в корневой зоне.

1.6 Влияние уклона на качественные показатели полива

На качественные показатели, такие как равномерность полива влияют гидравлические характеристики, условия и рельеф местности.

По исследованиям ВНИИ «Радуга» на характеристики потока воды в трубопроводе широкозахватных дождевальных машин типа ДМ «Кубань» влияет прогиб трубопровода. Неравномерность расхода при этом может достигать 8 % [120].

В работе А.И. Рязанцева расход воды на участках имеющих сложный рельеф значительно меняется в зависимости от расположения основной опоры по отношению к водопроводящему поясу.

При разнице в расходе воды более чем 10% компании производящие дождевальную технику рекомендуют устанавливать на каждый дождеватель регулятор давления [132-133, 136].

Значения рабочего давления и колебания давлений с учетом уклона даны в таблице 1.7.

Как видно из таблицы, каждый раз, когда уклон увеличивается на 0,7 м, рабочее давление должно увеличиваться на 0,07МПа.

Регулятор низкого давления позволяет дождевателю обеспечивать равномерный полив при минимальном давлении. Однако из минусов необходимо учитывать, что перепад давления внутри самого регулятора составляет более 0,02 МПа. Т.е., давление на входе в регулятор должно быть обеспечено на 0,02МПа выше заданного.

Таблица 1.7 –Рабочее давление ДМ длиной 400 м при работе на уклонах

Уклон, м	Рабочее давление машины, МПа				
	0,041	0,068	0,136	0,204	0,272
	% колебания давления				
0,7	16,5	10,0	5,0	3,3	2,5
1,4	33,0	20,0	10,0	6,6	5,0
2,1	50,0	30,0	15,0	10,0	7,5
2,8		40,0	20,0	13,0	10,0
3,5		50,0	25,0	16,6	12,5
4,2			30,0	20,0	15,0
4,9				23,0	17,5
5,6				26,6	20,0

При падении давления воды ниже определенного уровня, коэффициент эффективного полива снизится. При высоком рабочем давлении, за счет его снижения до требуемого будут неоправданные затраты.

Наличие и подбор регуляторов давления определяют величину рабочего давления и энергопотребление машины в целом.

Н.С. Ерхов и О.В. Кантор [63] доказывают, что наличие уклона только после превышения некоторого критического значения уклона влияет на показатель свободного впитывания:

$$i_{кр} = P_0 / 4,7 + 2, \quad (1.5)$$

где: P_0 - показатель впитывания.

Показатель свободного впитывания в зависимости от уклона выражается формулой:

$$P_i = P_0 - C (i - i_{кр}), \quad (1.6)$$

где: C – параметр, учитывающий степень влияния уклона.

При непрерывном дождевании широкозахватными дождевальными машинами участков с уклонами 0,01-0,02 поливная норма не должна превышать 300 м³/га [63].

Доказано, что периодический полив увеличивает впитывающую способность почвы без образования поверхностного стока. При этом, объем воды может быть увеличен в 3-4 раза при перерывах 10-30 минут.

Применяя технологические приемы с двух или трехкратными перерывами на уклонах до 15°, можно увеличить выдаваемую поливную норму с 260 до 540 м³/га при увеличении времени полива [63].

1.7 Условия выбора технологии полива

Наиболее популярными как в Российской Федерации, так и за рубежом являются электрифицированные дождевальные машины кругового полива.

Современное техническое средство полива должно отвечать минимальным требованиям:

- малоинтенсивное воздействие на почву и растения;
- возможность регулирования нормы полива;
- возможность дробного внесения поливных норм, реверсирования.

Выбор технологии орошения определяется различными условиями: климатом, типом почв, гидрогеологией, экологическими и организационными факторами и др., рис. 1.16.

Исходной информацией, являются почвенно-климатические данные и данные, характеризующие организационные условия.

Управление поливами

При наличии доступа к Интернету этот метод можно было бы значительно усовершенствовать, используя данные о количестве воды, используемой растениями, например с веб-сайта NDAWN [125].

Таблицы водопотребления сельскохозяйственных культур для западных компаний доступны в Сельскохозяйственной метеорологической сети (NDAWN) для 10 орошаемых культур. В течение вегетационного периода это приложение рассчитывает предполагаемое ежедневное потребление воды растениями для каждой культуры на каждой станции в системе NDAWN, используя данные о погоде, собранные с этой станции.

Применение имитационных моделей в управлении оросительной водой снижает потребление воды и энергии, что приводит к повышению эффективности использования этих ресурсов.

На практике существует множество имитационных моделей, которые доказали свою эффективность при планировании орошения и управлении ими, таких как модель SpacePro, предназначенная для выбора размера сопел дождевателей и расстояния между ними для конкретного применения [135].

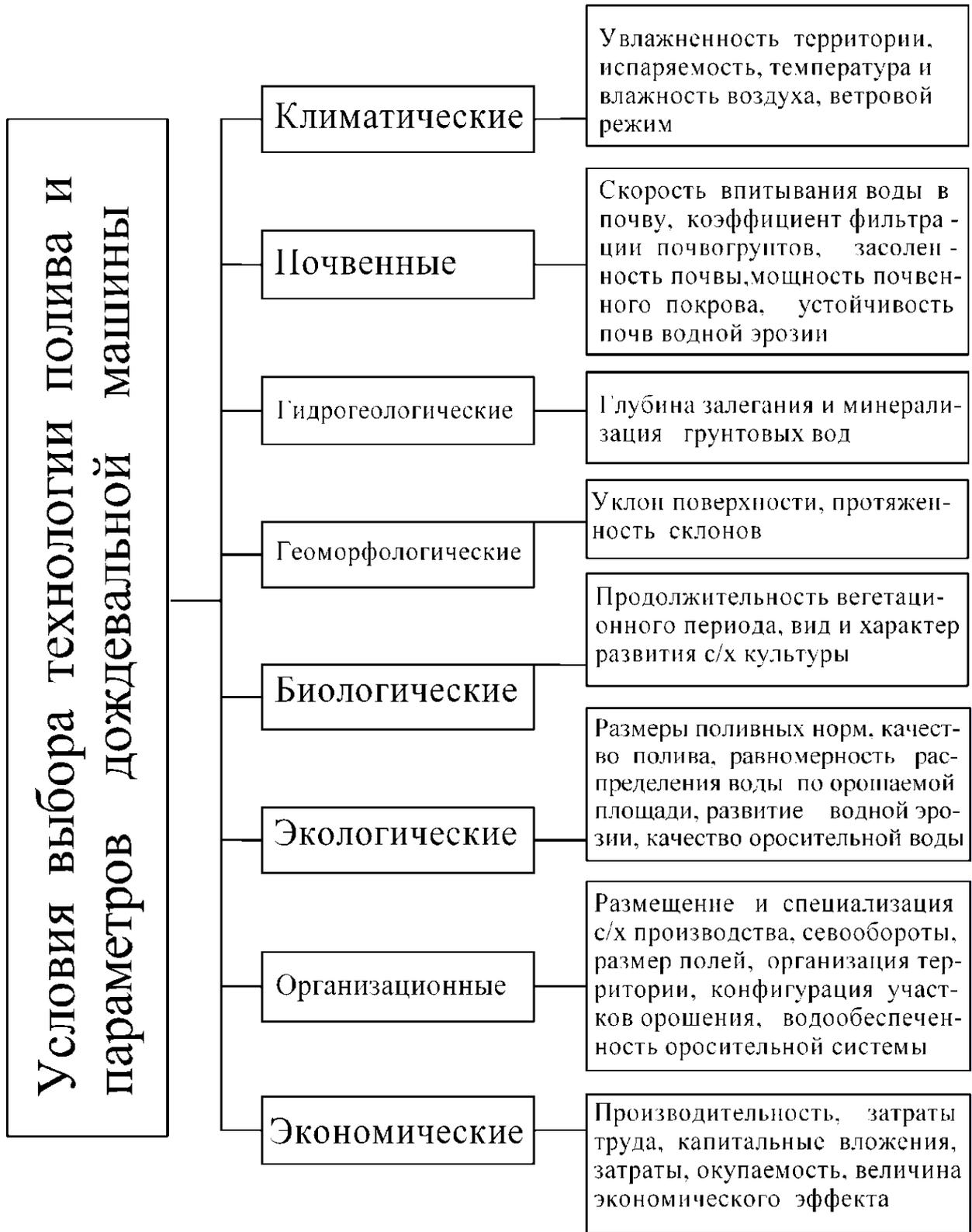


Рисунок 1.16 – Условия выбора технологии полива

Подмодуль ввода проектных данных управляет процедурой оптимизации, выполняя необходимые расчеты. Это позволяет пользователю вводить и редактировать основные проектные данные для моделирования одного или нескольких сценариев эксплуатации.

Основные входные данные проекта включают: размеры орошаемой площади; тип источника воды; доступный расход из источника воды; значение суммарного испарения (независимо от того, вводится ли оно пользователем вручную или извлекается из базы данных, включенной в программу); скорость ветра; характеристики почвы, полученные из базы данных; а также коэффициент урожайности и глубину корневой зоны для каждой культуры, полученные из базы данных.

Отчеты о результатах могут быть распечатаны или сохранены в электронных таблицах, таких как Microsoft Excel в соответствии с конкретными потребностями пользователей [135].

Производители дождевальных систем могут предложить устройства, которые позволяют контролировать, управлять и устранять неполадки в системе с помощью смартфона или компьютера. Эти системы также могут оповещать о возникновении неполадок и позволяют просматривать историю оборудования. Эта технология позволяет экономить топливо и время, особенно для агропроизводителей, которые управляют большим количеством машин, расположенных на большом расстоянии.

Заслуживает внимание методом с переменной скоростью орошения (VRI). Эта система легко монтируется на существующие дождевальные машины. Процесс использования системы VRI заключается в следующем:

- информация о повороте вводится в программное обеспечение компьютера;
- требуемые нормы расхода определяются в программном обеспечении;
- контрольная карта передается с ПК на контроллер (например Canlink3000) с помощью карты данных;
- контроллер определяет угол поворота с помощью GPS;

-на основе схемы управления контроллер оптимизирует скорость поворота и/или переключает дождеватели (и/или концевой распылитель) для установки нормы расхода.

Программное обеспечение Farmscan Irrigation Manager™ позволяет создавать карты приложений. Программное обеспечение позволяет разделить площадь полива на сектора шириной от 2 до 10 градусов с радиальным расположением до 48 зон управления. Количество и размер зон контроля определяются особенностями/аномалиями в обрабатываемой области и установкой оборудования для управления клапанами [135].

После определения точки поворота и ее зон управления орошением отображается круговая сетка (разделенная на сектора, соответствующие определенным зонам управления).

Используя условные обозначения норм внесения (от 0 до 200%), пользователь выбирает норму внесения из легенды с помощью мыши, а затем “помечает” каждую контрольную зону на карте нормой внесения. На результирующей карте отображается, затем копируется на карту памяти и загружается на главный контроллер.

Система управления VRI была установлена на исследовательском центре NESPAL RESEARCH PIVOT. Пятнадцать блоков или групп дождевателей были сконфигурированы таким образом, чтобы содержать 2, 3 или 4 дождевателя таким образом, чтобы обеспечить зоны примерно в 15 метров, каждая из которых управлялась адресуемым “узлом”.

Равномерность расхода обеспечивалась за счет установки регуляторов давления на 0,15 МПа на каждом разбрызгивателе.

Относительно небольшие блоки полива также позволяли проводить тестирование системы с несколькими зонами управления и соответствующим оборудованием.

1.8 Проблемная ситуация, выводы, направления исследований

1. Одним из критериев наряду с качественными показателями полива должны быть принципы ресурсосбережения.

2. Конструктивно-технологические параметры оросительных систем и рекомендуемые режимы полива определяются сельскохозяйственной культурой, природно-климатическими условиями, организационно-хозяйственными факторами, экологическим состоянием земель и др.

3. При многолетнем дождевании в почвах усугубляются негативные процессы: переувлажнение, вторичное засоление и др., что важно учитывать при выборе режима орошения, техники и технологии полива.

4. Существующая технология орошения постоянной назначенной нормой полива широкозахватными дождевальными машинами не всегда обеспечивает требуемое количество влаги. Особенно это характерно машинам длиной порядка 500 метров, где поливной круг машина проходит за неделю и более. В зависимости от наличия различной влажности на разных участках поля орошения, это приводит к пересыханию или напротив, чрезмерной подачи оросительной воды, стоку и усилению эрозии почвы.

5. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости оптимизации режима работы машин, разработки технологических приемов полива с адаптацией к изменяющимся в течение поливного периода условиям исходя из влажности почвы.

Исходя из вышеизложенного, научная задача заключается в обеспечении полива, соответствующего уровню влагозапасов на участках поля на момент полива, при сохранении требуемой влажности почвы.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

2.1 Оптимизация режима работы дождевальной машины в соответствии с уровнем влагозапасов участков поля

Современные электрифицированные дождевальные машины как российского, так и западного производства имеют возможности регулирования норм полива в пределах от 50 до 600 м³/га, используя различные схемы орошения.

Требуемое значение нормы полива определяется возделываемой культурой.

Ограничивающим условием является величина эрозионно-допустимой поливной нормы.

Для определения сроков полива необходимо определить как меняются запасы влаги в почве с течением времени. На практике это осуществимо контролем влажности почвы. Оросительная вода, поданная в почву в процессе полива расходуется в межполивной период, продолжительность которого зависит многих факторов, таких как интенсивность, транспирация, испарение с поверхности почвы.

Задача полива – довести влажность почвы в расчетном слое до наименьшей влагоемкости. Очередной полив должен быть выполнен не позднее наступления нижнего порога влажности.

В электрифицированной дождевальной машине скорость движения задается на процентном таймере последней тележки соотношением между периодами движения и остановкой.

Время цикла включения-выключения внешнего пульта управления обычно составляет около 1 минуты (т.е. при 50%-ной настройке скорости внешний двигатель включается на 30 секунд каждую минуту). Конечно, чем меньше скорость вращения, тем больше количество подаваемой воды. Все остальные опоры должны находиться на одной линии с концевой.

Обычно таймер настраивается на цикл 60 или 100 секунд. Если скорость установлена на 100%, Тележка будет двигаться 60 секунд или 100 секунд. Если скорость была установлена на 50%, тележка будет двигаться 30 секунд или 50 секунд.

Гродолжительность включения $Pz\%$ электродвигателя крайней тележки в течение цикла полива [42, 99-101]

$$Pz\% = \frac{I_m}{I_m + P_m} 100\%, \quad (2.1)$$

где: I_m – длительность подачи импульса; P_m – длительность паузы.

Скорость тележки:

$$V_{CP} = \Delta a / t_M, \quad (2.2)$$

Δa – шаг машины; t_M – время движения;

а шаг:

$$\Delta a = \ell / n, \quad (2.3)$$

ℓ – длина дуги движения последней тележки; n – число шагов; L_M – длина машины.

$$\ell = 2\pi L_M. \quad (2.4)$$

Поскольку при движении опорных тележек происходит пробуксовывание, реальная, фактическая скорость несколько меньше. Буксование зависит от агрофона, типа и влажности почвы, скорости передвижения машины. И буксование, как правило, тем больше, чем больше норма полива. Если не учитывать это явление, снижения скорости возникает переполив.

Реальная, фактическая скорость движения всегда ниже и фактическая норма полива выше, что также важно учитывать, особенно в сложных с точки зрения почвенной эрозии условиях.

Замедление скорости между позициями и соответственно средней скорости движения приводит к уменьшению шага машины.

Учитывая коэффициент буксования, шаг машины, м:

$$\Delta a = V_{CP} t_M \psi / 60, \quad (2.5)$$

где: ψ – коэффициент буксования.

Скорость движения машины, м/с:

$$V_{\text{CP}} = 60 \Delta a \psi / t_c, \quad (2.6)$$

Время цикла t_c для российского производства машин моделей «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» и «КАСКАД» составляет 100с.

Начальные влагозапасы в начале вегетационного периода [41], м³/га:

$$W' = 100h \rho \omega_{\text{НВ}}, \quad (2.7)$$

где: ρ – плотность почвы, кг/м³; h – слой увлажнения, мм;

$\omega_{\text{НВ}}$ – влажность равная наименьшей влагоемкости, %.

Суммарное водопотребление согласно уравнения водного баланса [41]:

$$Et = (W' - W'') + M + M_{\text{ос}} + M_{\text{В}} - W_{\text{F}}, \quad (2.8)$$

где: M – выдаваемая машиной за один полив поливная норма;

W'' - влагозапасы после полива, м³/га;

$M_{\text{ос}}$ – объем осадков; $M_{\text{В}}$ – объем грунтовых вод;

W_{F} – объем воды стока и фильтрации, м³/га.

$M_{\text{ос}}$, $M_{\text{В}}$ и W_{F} пренебрегаем в связи с небольшими величинами, непостоянством значений и трудностью учета.

До начала полива и движения по участку полива, влагозапас можно записать как [41], м³/га:

$$W_{\text{K}} = W' - Et, \quad (2.9)$$

где: t – время полива, сут.

Задать норму полива можно согласно выражению [41], м³/га

$$M = 100h \rho (\omega_{\text{НВ}} - \omega_{0,8\text{НВ}}), \quad (2.10)$$

где: $\omega_{\text{НВ}}$ и $\omega_{0,8\text{НВ}}$ – влажность, соответствующая наименьшей влагоемкости почвы и предполивному порогу 80% НВ соответственно.

Таблица 2.1 – Характеристики почвы

Почва	Механический состав	Плотность, кг/м ³	Полная влагоемкость	
			% к весу сухой почвы	м ³ /га
Сероземы	Легкие	1,5 · 10 ³ - 1,44 · 10 ³	12,0 – 17,4	1800 – 2500
	Тяжелые	1,4 · 10 ³ - 1,32 · 10 ³	18,6 – 26,0	2600 – 3400
Каштановые	Легкие	1,45 · 10 ³ - 1,34 · 10 ³	12,4 – 19,3	1800 – 2600
	Тяжелые	1,38 · 10 ³ - 1,27 · 10 ³	19,5 – 24,5	2700 – 3100
Черноземы	Легкие	1,62 · 10 ³ - 1,41 · 10 ³	13,6 – 19,8	2200 – 2800
	Тяжелые	1,42 · 10 ³ - 1,36 · 10 ³	20,3 – 30,0	2900 – 4100

Рассмотрим полив поля с монокультурой.

Условие назначения полива [41]:

$$\omega \leq \omega(\varphi, t) \leq 100\% \text{ НВ}, \quad (2.11)$$

где: $\omega(\varphi, t)$ – влажность в точке поля с угловой координатой φ в момент времени t ;

Для того, чтобы смоделировать полив, необходимо задать площадь поля, культуру с рекомендуемым режимом орошения и интенсивность ее водопотребления, тип почвы и ее водно-физические свойства.

Начало полива - при снижении содержания влаги в почве на конце окружности движения машины до 75-80% НВ, т.е. последний участок полива при движении машины.

Полив может осуществляться с разными поливными нормами не только для учета влагозапасов, но и на нескольких участках и с разными направлениями в

зависимости от наличия одной или нескольких культур высаженных по секторам, свойств почвы или особенностей рельефа местности, рис. 2.1.

Реверсирование применяется и при ограничении орошаемого поля объектами, такими как дорогами, наземными трубопроводами и др. Культура наиболее раннего сева должна размещаться возле парковочного положения машины.

Рассмотрим несколько поливов ДМ последовательно при движении по часовой стрелке (рисунок 2.2).

Дождевальная машина длиной L_M поливает нормой M , $m^3/га$.

Тогда:

$$Q_M t_c = M S_{\text{СЕК}}, \quad (2.12)$$

где: $S_{\text{СЕК}}$ – площадь его, га; Q_M – расход, $m^3/ч$; t_c – время полива сектора, ч;

$$t_c = \frac{S_{\text{СЕК}} M}{Q_M} = 0,5 \frac{\ell_{\text{СЕК}} R_M M}{Q_M}. \quad (2.13)$$

где: ψ – коэффициент буксования.

Скорость движения тележки с учетом буксования, м/мин:

$$V_{\text{СР.СЕК}} = \frac{\psi \ell_{\text{СЕК}}}{60 t_c} \quad (2.14)$$

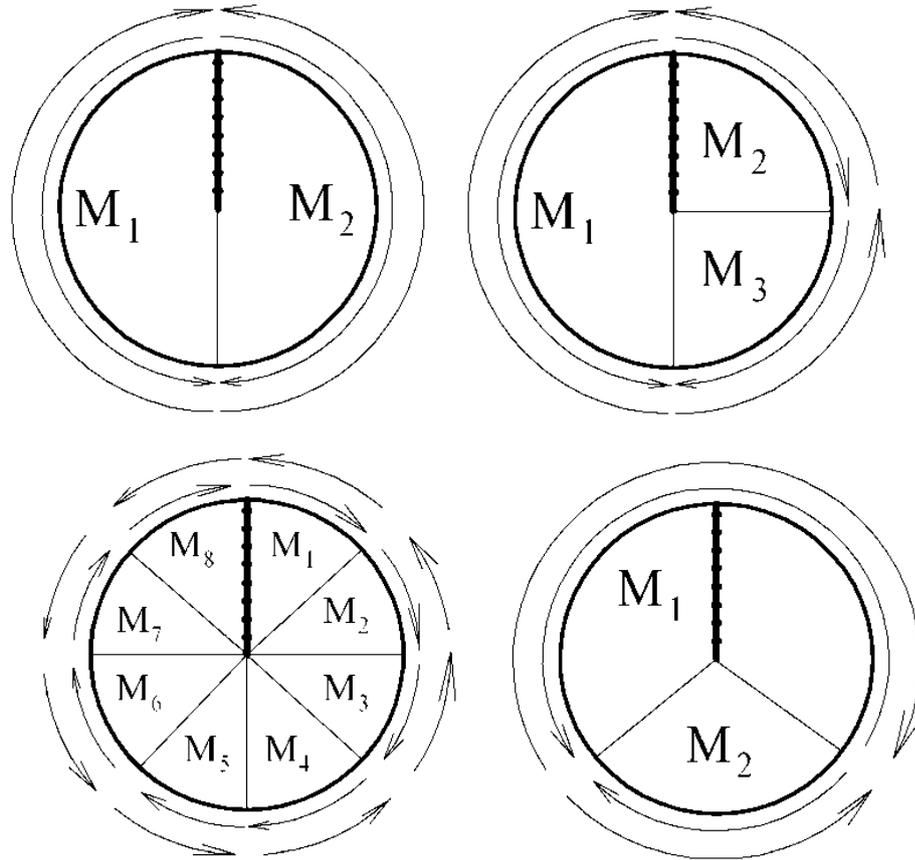


Рисунок 2.1 – Технологические схемы полива

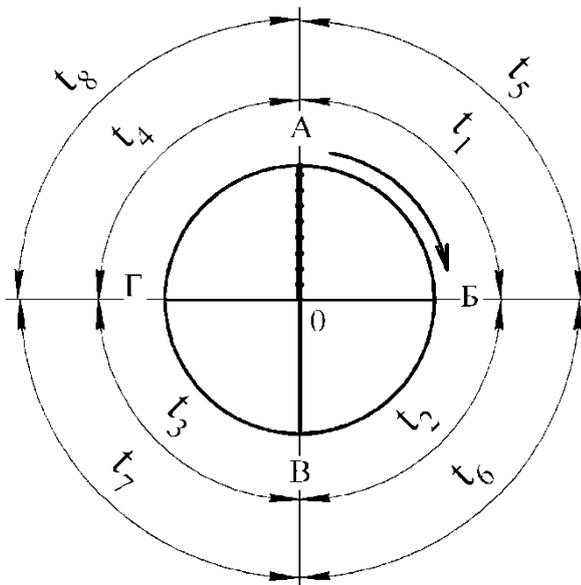


Рисунок 2.2 – Схема полива по секторам

Первый полив, первый сектор. При движении машины в точке Б требуется количество влаги W_1 , м³/га:

$$W_1 = M + E_1 t_{C1}, \quad (2.15)$$

где: E_1 – среднечасовое водопотребление в первом секторе; t_{C1} – среднее время полива, ч.

Поливная норма:

$$M_1 = \frac{Q_M t_{C1}}{S_{\text{CEK}}} = \frac{2Q_M t_{C1}}{l_{\text{CEK}} R_M}, \quad (2.16)$$

где: l_{CEK} – длина дуги движения.

$$t_{C1} = \frac{0,5 l_{\text{CEK}} R_M M}{Q_M - 0,5 l_{\text{CEK}} R_M E_1}. \quad (2.17)$$

Первый полив, второй сектор.

Количество W_2 , м³/га, в точке В:

$$W_2 = M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2}, \quad (2.18)$$

где: E_2 – среднечасовое водопотребление второго сектора, м³/га; t_{C2} – время полива, ч.

$$M_2 = \frac{2Q_M t_{C2}}{l_{\text{CEK}} R_M}, \quad (2.19)$$

$$t_{C2} = \frac{0,5 l_{\text{CEK}} R_M (M + E_1 t_{C1})}{Q_M - 0,5 l_{\text{CEK}} R_M E_2}, \quad (2.20)$$

Первый полив, третий сектор.

$$W_3 = M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2} + E_3 t_{C3}, \quad (2.21)$$

$$M_3 = \frac{2Q_M t_{C3}}{l_{\text{CEK}} R_M}. \quad (2.22)$$

$$t_{C3} = \frac{0,5 l_{\text{CEK}} R_M (M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2})}{Q_M - 0,5 l_{\text{CEK}} R_M E_3}. \quad (2.23)$$

Первый полив, четвертый сектор.

$$W_4 = M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2} + E_3 t_{C3} + E_4 t_{C4}. \quad (2.24)$$

$$M_4 = \frac{2Q_M t_{C4}}{l_{\text{CEK}} R_M}. \quad (2.25)$$

$$t_{C4} = \frac{0,5l_{\text{CEK}} R_M (M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2} + E_3 t_{C3})}{Q_M - 0,5l_{\text{CEK}} R_M E_4}. \quad (2.26)$$

Второй полив, первый сектор.

$$W^{(2)}_1 = M - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5}, \quad (2.27)$$

$$M_5 = \frac{2Q_M t_{C5}}{l_{\text{CEK}} R_M}. \quad (2.28)$$

$$t_{C5} = \frac{0,5l_{\text{CEK}} R_M (M - E_1 t_{C1})}{Q_M - 0,5l_{\text{CEK}} R_M E_5}. \quad (2.29)$$

$$W^{(2)}_2 = M - E_1 t_{C1} - E_2 t_{C2} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6}, \quad (2.30)$$

где: E_6 – среднечасовое водопотребление на втором секторе при втором поливе, $\text{м}^3/\text{га}$; t_{C6} – время полива второго сектора при втором поливе, ч.

Поливная норма:

$$M_6 = \frac{2Q_M t_{C6}}{l_{\text{CEK}} R_M}. \quad (2.31)$$

$$t_{C6} = \frac{0,5l_{\text{CEK}} R_M (M - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5})}{Q_M - 0,5l_{\text{CEK}} R_M E_6}. \quad (2.32)$$

Второй полив, третий сектор. Аналогичные обозначения для последующих секторов.

$$W^{(2)}_3 = M - E_3 t_{C3} - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6} + E_7 t_{C7}, \quad (2.33)$$

$$M_7 = \frac{2Q_M t_{C7}}{l_{\text{CEK}} R_M}. \quad (2.34)$$

$$t_{C7} = \frac{0,5l_{\text{CEK}} R_M (M - E_3 t_{C3} - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6})}{Q_M - 0,5l_{\text{CEK}} R_M E_7}. \quad (2.35)$$

Второй полив, четвертый сектор:

$$W^{(2)}_4 = M - E_4 t_{C4} - E_3 t_{C3} - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6} + E_7 t_{C7} + E_8 t_{C8}. \quad (2.36)$$

$$M_8 = \frac{2Q_M t_{C8}}{\ell_{CEK} R_M}. \quad (2.37)$$

$$t_{C8} = \frac{0,5 \ell_{CEK} R_M (M - E_4 t_{C4} - E_3 t_{C3} - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6} + E_7 t_{C7})}{Q_M - 0,5 \ell_{CEK} R_M E_8}. \quad (2.38)$$

На основании представленной методики был разработан алгоритм расчета и программа на языке программирования С # (приложение).

Задавая характеристики машины, оросительную норму, водопотребление, количество секторов и поливов можно определить рекомендуемые нормы полива по секторам, время полива, скорость машины и др., рис. 2.3., рис.2.4.

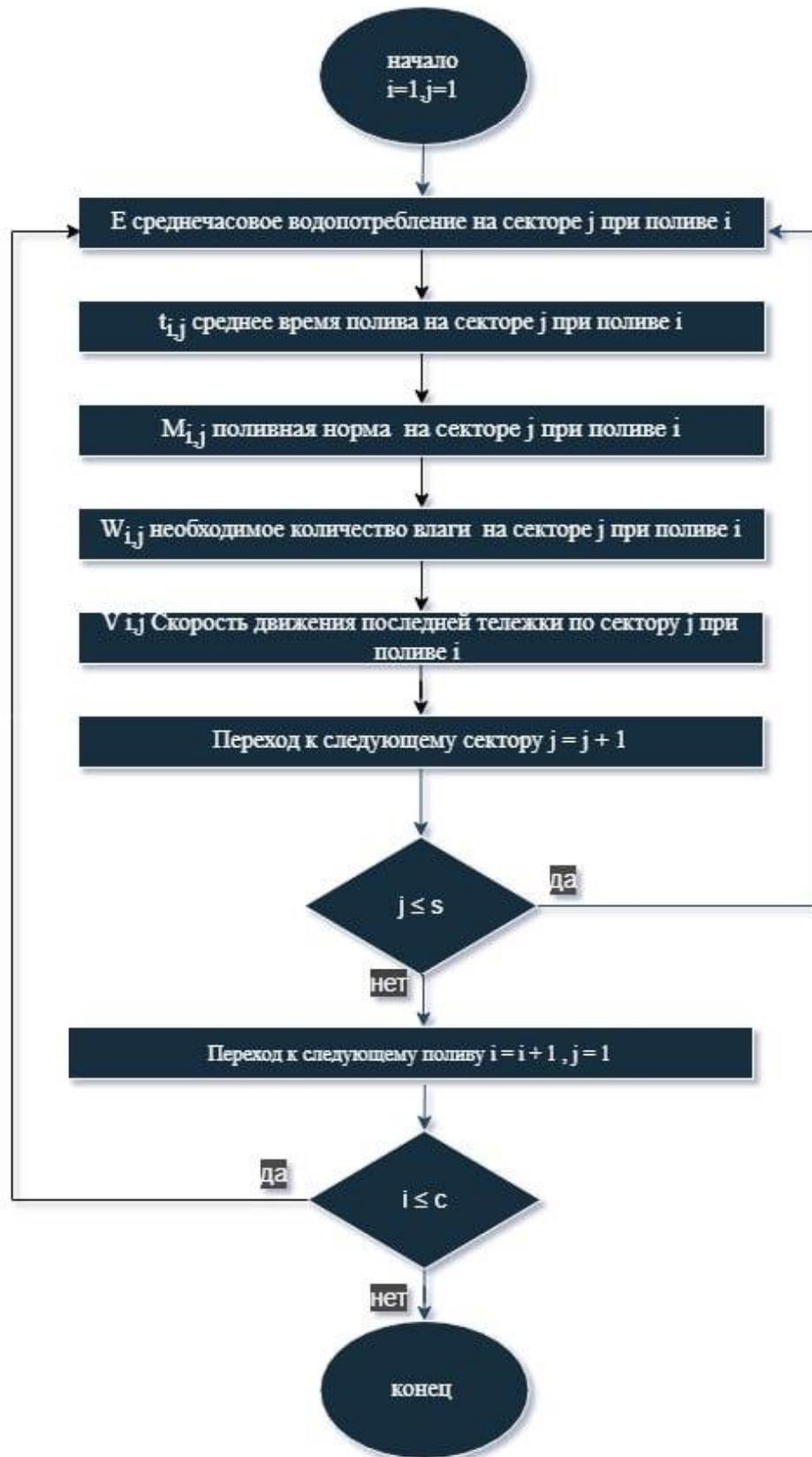


Рисунок 2.3 – Алгоритм расчета

Irrigation Project		Полученные результаты	
Входы		t = 88.605 ч	
RM - Длина дождевальной машины (м)	<input type="text" value="483"/>	M = 0.122 м	
M - поливная норма (м)	<input type="text" value="0.058"/>	v = 0.14271 м/мин	
QM - расход дождевальной машины (м ³ /ч)	<input type="text" value="252"/>	-----Цикл (2)-----	
E - среднечасовое водопотребление (м/ч)	<input type="text" value="0.000233"/>	-----сектора (1)-----	
βT - коэффициент буксования	<input type="text" value="1"/>	t = 40.416 ч	
количество секторов	<input type="text" value="4"/>	M = 0.056 м	
Количество циклов полива	<input type="text" value="2"/>	v = 0.31287 м/мин	
<input type="button" value="Рассчитать"/>		-----сектора (2)-----	
<input type="button" value="Сброс"/>		t = 36.192 ч	
Параметры сектора		M = 0.05 м	
R_M дождевальной машины = 483 м		v = 0.34938 м/мин	
L_SEK Длина дуги сектора = 758.69 м		-----сектора (3)-----	
S_SEK площадь полива сектора = 183223.635 м ²		t = 28.563 ч	
S площадь всех секторов = 732894.54 м ²		M = 0.039 м	
		v = 0.4427 м/мин	
		-----сектора (4)-----	
		t = 16.317 ч	
		M = 0.022 м	
		v = 0.77496 м/мин	

Рисунок 2.4 – Программа расчета

2.2 Оптимизация режима полива с реверсом движения

В этом случае машина не проходит полный круг, возвращаясь в точку φ, реверсивно. При выдате за два прохода, рис. 2.5.

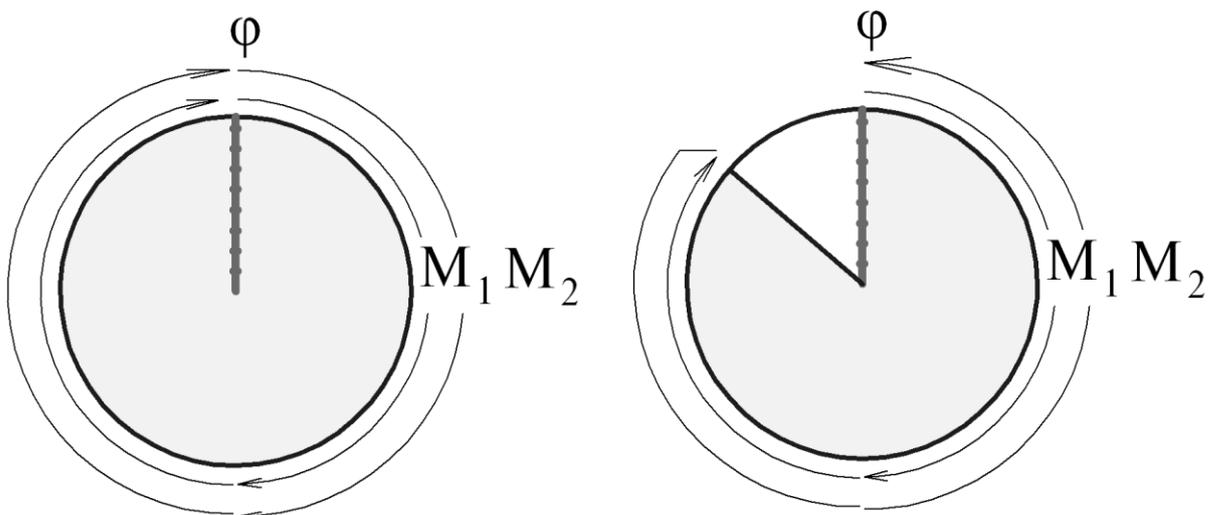


Рисунок 2.5 – Полив за два прохода

$$M = M_1(\varphi) + M_2(\varphi). \quad (2.39)$$

Влагозапасы при поливе будут снижаться на $10Et$ [41], сут:

$$t = \frac{1}{1440 K_{\text{СУТ}} \int_0^{\varphi} V_{\text{СР}}(\varphi) d\varphi}, \quad (2.40)$$

где: $K_{\text{СУТ}}$ —коэффициент времени; $V_{\text{СР}}$ — скорость, м/мин;

Слой дождя [42]:

$$h = \frac{120 Q_M}{R_M V_{\text{СР}}}, \quad (2.41)$$

Поливная норма M м³/га со слоем осадков имеет соотношение:

$$\frac{M}{10} \equiv h, \quad (2.42)$$

где: h – слой осадков, мм.

$$M = \frac{1200 Q_M}{R_M V_{\text{СР}}}, \quad (2.43)$$

При поливе сектора, расстояние, пройденное тележкой является частью дуги, рис. 2.6.

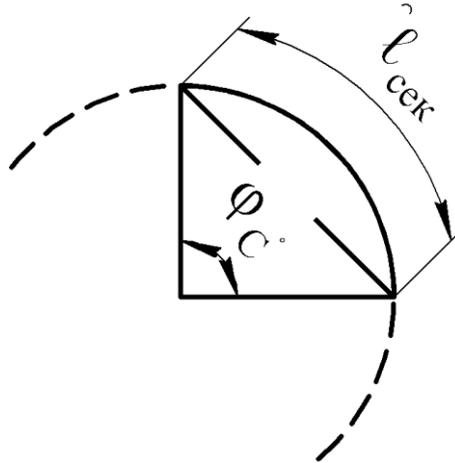


Рисунок 2.6 – Схема полива сектора

$$S_{\text{СЕК}} = \frac{\pi R_M^2 \varphi_C}{360} = \frac{l_{\text{СЕК}} R_M}{2}. \quad (2.44)$$

При прохождении сектора:

$$M_1 = 2\pi \frac{1200 Q_M}{l_{\text{СЕК}} V_{\text{СР}}}. \quad (2.45)$$

Время прохождения сектора:

$$t = \xi \int_0^{\varphi} M_1(\varphi) d\varphi, \quad \xi = \frac{s}{432 \cdot 10^3 K_{\text{CVT}} Q_M}. \quad (2.46-2.47)$$

где: s – расстояние, проходящее тележкой.

Мгновенная интенсивность дождя, мм/мин:

$$\rho_{\text{МГ}} = \frac{120 Q_M}{R_M^2 \varphi_C}, \quad (2.48)$$

где: φ_C – угол сектора.

Изменение влагозапасов перед ДМ:

$$f_1(\varphi) = W_0 - 10E\xi \int_0^{\varphi} M_1(\varphi) d\varphi. \quad (2.49)$$

где: W_0 – минимально допустимые влагозапасы, м³/га.

После прохода машины:

$$W_1 = f_1(\varphi) + M_1(\varphi). \quad (2.50)$$

При обратном движении влагозапасы выражаются функцией $f_2(\varphi)$:

$$W_2 = f_2(\varphi) + M_2(\varphi). \quad (2.51)$$

где: Δt – время через которое ДМ вернется в точку φ пройдя путь s .

$$\Delta t = \xi \int_{\varphi}^s [M_1(\varphi) + M_2(\varphi)] d\varphi = \xi(s - \varphi)M. \quad (2.52)$$

Наибольший путь при движении в одну сторону:

$$s_{\text{MAX}} = \ell = 2\pi R_M, \quad (2.53)$$

Полив половины окружности с реверсом, рис. 2.7.

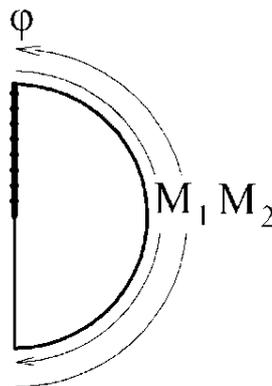


Рисунок 2.7. – Схема полива половине окружности с реверсом

$$\Delta t = \xi \int_{\varphi}^{\ell/2} [M_1(\varphi) + M_2(\varphi)] d\varphi = \xi \left(\frac{\ell}{2} - \varphi \right) M, \quad (2.54)$$

$$f_2(\varphi) = f_1(\varphi) + M_1(\varphi) - 10\xi E(s-\varphi)M. \quad (2.55)$$

$$f_2(\varphi) = f_1(\ell) = W_0 = \text{const}, \quad (2.56)$$

где: W_0 – минимально допустимые влагозапасы, м³/га; E – интенсивность водопотребления, мм/сут.

$$\frac{dM_1(\varphi)}{d\varphi} - 10E\xi M_1(\varphi) = -10E\xi M, \quad (2.57)$$

Тогда:

$$M_1(\varphi) = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{СЕК}}V_{\text{СР}}(\varphi)} [1 - e^{10E\xi(\varphi-s)}], \quad (2.58)$$

$$M_2(\varphi) = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{СЕК}}V_{\text{СР}}(\varphi)} e^{10E\xi(\varphi-s)}. \quad (2.59)$$

Задавая путь, проходящий тележкой, можно найти значение нормы полива при поливе и в одну и в другую сторону.

2.3 Управление поливами

Важной задачей при управления поливами и настройке режима работы является выделение и анализ основных факторов, определяющих характеристики орошения, оценка их уровня значимости.

Алгоритм управления поливами представлен на рисунке 2.8.

Первый этап.

-из базы метеоданных, средних за время наблюдений в течение не менее 10 лет, таких как влажность воздуха, температура воздуха, осадки, скорость ветра по декадам, характерных для климатической зоны, где осуществляется полив, выбираются требуемые значения величин, в частности метеорологического фактора;

-из базы данных характеристик почвы, на основе показателей механического состава, водно-физических свойств, химических свойств

выбирается значение максимально возможной нормы полива, досточковой нормы полива;

-из характеристик возделываемой культуры выбираются значения рекомендуемой оросительной нормы, ориентировочные сроки вегетации;

-задаются хозяйственные факторы: размер участка, вид водных ресурсов (закрытая или открытая оросительная система), максимально возможное давление в оросительной системе; наличие источника электроэнергии;

- задается гидрогеология: на основании данных по глубине заложения грунтовых вод даются ограничения по норме полива, на основании уклона местности (макрорельефа) – вывод о целесообразности установки регуляторов давления; на основании анализа микронеровностей – вывод о делении на микроучастки с отличными характеристиками полива.

Второй этап.

На основании анализа полученных данных на втором этапе планируется предварительный режим полива. Осуществляется предварительный подекадный расчет: определяется оптимальное водопотребление, дата посевов, испаряемость, дефицит водопотребления.

Производится расчет требуемого количества дождевальных машин, их длины. Задается оптимальное количество секторов n для дождевальных машин кругового действия, там, где потенциально требуется смена режима движения, т.е. нормы полива ($n \geq 3$).

Третий этап.

На данном этапе дождевальная машина начинает движение. На основании оперативных метеоданных, контроля влажности почвы, состояния сельскохозяйственных культур, данных позиционирования машины, координат расположения ее последней тележки, осуществляется корректировка и пересчет нормы полива. При этом норма полива m не должна превышать досточковую поливную норму m_D , т.е. $m \leq m_D$.

Четвертый этап.

На четвертом этапе определяется и корректируется работа дозатора удобрений в соответствии с расходом машины на каждом конкретном секторе полива. Для этого осуществляется оперативный контроль расхода машины, расхода удобрений и периодический контроль химического состава почвы.

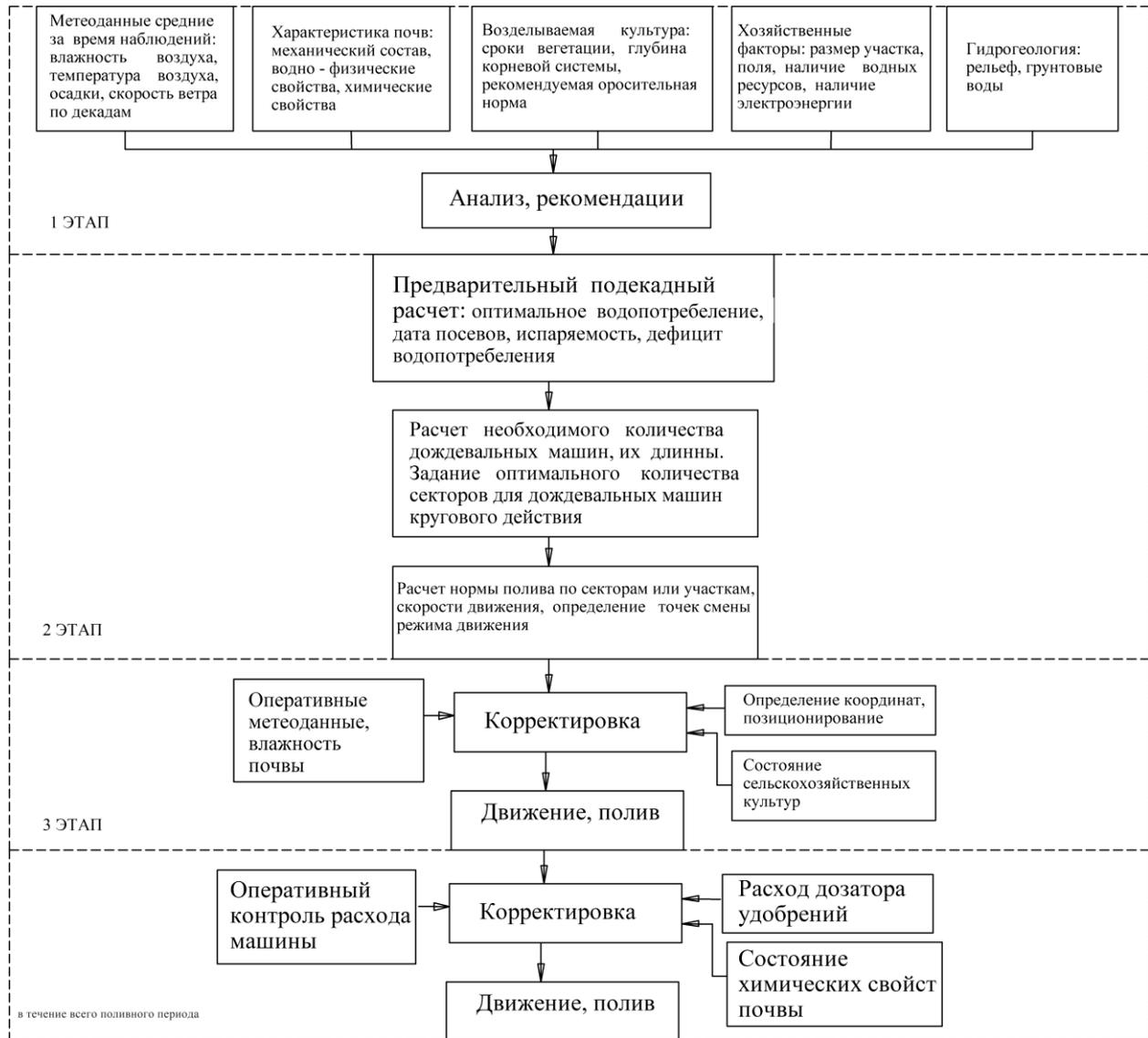


Рисунок 2.8 – Схема задания режима работы машины

Необходимая база данных и справочная информация должна включать в себя следующий минимальный набор данных:

- связанный с расположением: природно-климатическая зона, область или административный район, среднесезонная информация об уровне грунтовых вод (глубина залегания, минерализация);

-с характеристиками дождевальной машины на данном поле: модификация, длина, расход, напор, интенсивность дождя;

-с характеристиками почвы: тип и подтип, состояние почв, агрохимические свойства (подвижные формы азота, фосфора, калия);

-метеорологическая информация с интервалом поступления данных, позволяющим менять режим движения машины: координаты метеостанции, температура воздуха, относительная влажность воздуха, осадки, скорость ветра.

-характеристики культур: сорт, урожайность, характеристики корневой системы, сроки вегетации, фазы развития.

Оперативная информация также должна включать дату начала оросительного периода, посева, влагозапасы в почве.

2.4 Выводы по главе

На основе анализа работы дождевальной техники и моделирования полива и происходящих в почве процессов при различных схемах движения было предложено решение, заключающееся в корректировке норм орошения по секторам в зависимости от влагообеспеченности почвы. Была разработана математическая модель и прикладная программа для расчета норм орошения. Оптимизирован режим полива с реверсом. Была рассмотрена возможность управления поливом.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа исследований

Включала:

- характеристики дождя;
- лабораторные испытания функционирования системы управления.

Программа полевых исследований:

- определение равномерности полива;
- определение влажности почвы, нормы полива до стока;
- установление оптимальных режимов работы и схем движения;
- оценка работы автоматической системы управления при работе по секторам полива, реверс;
- сравнение стандартной и предлагаемой технологии полива дождевальными машинами;
- определение характеристик полива при работе ДМ на уклонах.

3.2 Описание технических средств и оборудования

Для получения данных была использована метеостанция КАИРОВАСЕ, соответствующая сертификатам ГОСТ Р по метрологии и ТУ 26.51.12-001-29621444-2018. Внутренняя память позволяет хранить данные за 30 дней, в зависимости от интервала измерений. Данные передаются на центральную веб-платформу AGROKEEP Web. Метеостанция работает от солнечной энергии, рис. 3.1.

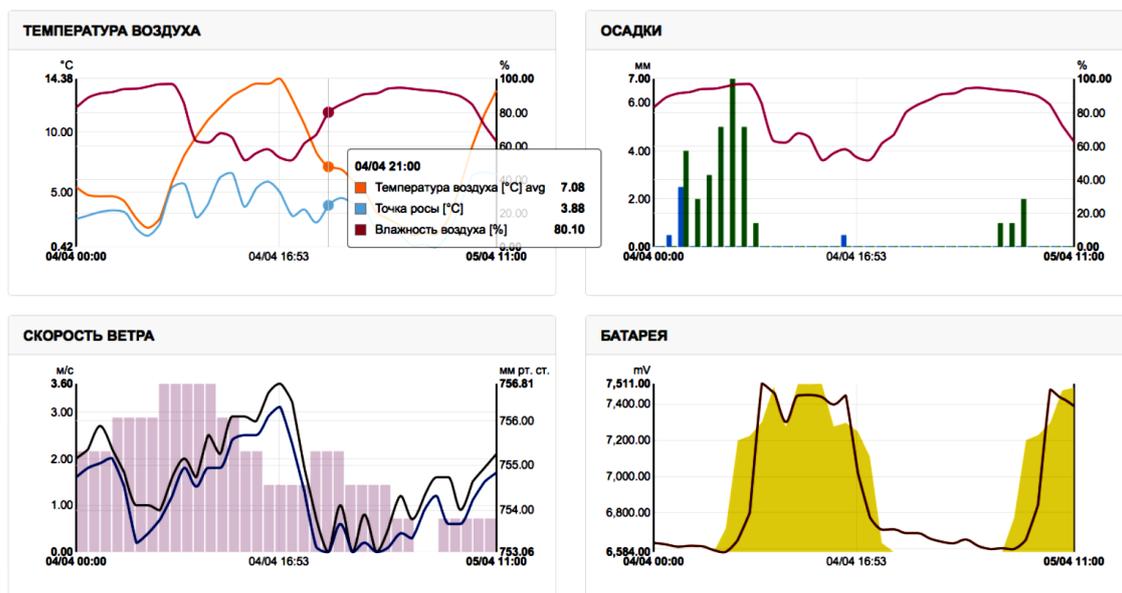


Рисунок 3.1 – метеостанция КАИРОВАСЕ

К метеостанции были подключены следующие датчики:

- температура и влажность воздуха;
- температура и влажность почвы;
- дождемер;
- скорость и направление ветра;
- барометр;
- солнечная радиация.

AGROKEEP Web предоставляет данные в виде различных графиков и таблиц, рис. 3.2.

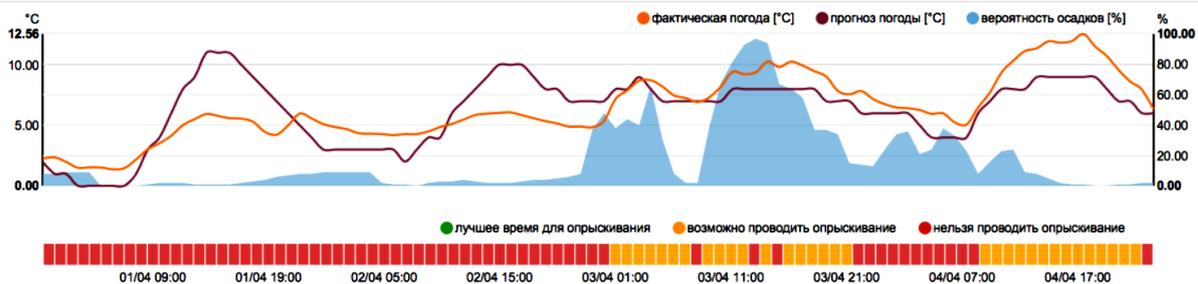


ВОДНЫЙ БАЛАНС

СУММАРНОЕ ИСПАРЕНИЕ = 8.50 ММ



АГРОНОМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ПОГОДЫ



ОСАДКИ



Рисунок 3.2 – Данные с AGROKEEP Web

Данные, полученные с датчиков влажности почвы, предоставлены в виде цветной контурной карты, с распределением влаги по участку.

По четырем секторам устанавливались датчики EnviroSCAN, рис.3.3.



Рисунок 3.3 – Датчик EnviroSCAN.

Диапазон показаний содержания воды	от 0 до ~65%
Время считывания показаний 1 датчика	1,1 с
Диапазон рабочих температур	от -20° до +75°С
Диаметр датчика	5,05 см
Длина	0,5, 1,0, 1,5 или 2,0 м

Данные о влажности почвы также автоматически передавались на мобильный телефон через GSM-сеть. Затем данные о влажности были перенесены с мобильного телефона на компьютер и экспортированы в таблицу Excel.

Влажность почвы ежедневно измерялись датчиком EnviroSCAN, а образцы почвы отбирались в течение сезона орошения для калибровки. Датчики влажности почвы были расположены на глубине 10, 20, 30, 50 и 70 см.

Полевая оценка и калибровка прибора EnviroSCAN для конкретной почвы были проведены на месте исследования путем отбора проб почвы и расчета содержания воды по массе.

Беспроводная связь была протестирована на различных расстояниях между блоком передачи данных и центральным модемом, таких как 100, 200, 300, 350 и 400 м.

Основные характеристики дождевальных машин [95, 99 100, 101]:

«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), рис.3.4.

- скорость движения последней тележки - $1,6 \times 10^{-3} - 30,0 \times 10^{-3}$ м/с;
- длины пролетов -48,7 м;
- максимальная длина машины -441,5 м;
- расход– до 73 л/с;
- давление на входе -0,43 МПа, в конце -0,29 МПа;
- минимальное время оборота -32,8 ч;
- мощность двигателя -10 кВт.

«КАСКАД» (1), рис.3.5.

- расширенный номенклатурный ряд;
- длина пролета - 59,5м;
- длина машины - 497,5м;
- давление воды на входе в машину 0,43МПа;
- расстояние между дождевателями - через 3,5 м.

«КАСКАД» (2)

- пролет - 65,25м;
- длина– 434 м;
- расстояние между дождевателями - 2,9 м.

«Кубань-ЛК1» МДЭК 212

- мощность двигателя -6 кВт;
- расход - 16 л/с;
- длина - 212 м.

3.3 Методики исследований

Экспериментальные исследования проводились согласно СТО АИСТ 001–2010 и методикам [22-26, 36, 37, 95, 114-116] на полях ООО «Наше дело» (Саратовская область, Марксовский район), КФХ Саратовская область [81-82].

Характеристика почвы: темно-каштановые среднесуглинистые.

- содержание гумуса в пределах 2,5–2,8 %;
- плотность-1,2–1,4 т/м³;
- общий уклон участка при сравнительных испытаниях -0 %;
- микрорельеф – слабовыраженный.
- температура воздуха -22-26 °С;
- относительная влажность воздуха - 44-46%;
- средняя интенсивность $\rho_{\text{ср}}$, определялась, мм/мин. [38, 42]:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{60Q_{\text{Н}}}{\pi R'^2}, \quad (3.1)$$

где: $Q_{\text{Н}}$ – расход, л/с; R' – радиус, м.

Средняя норма полива [38, 42], м³/Га:

$$m_{\text{Ф}} = 10 \cdot h, \quad (3.2)$$

где: h – слой дождя, мм.



Рисунок 3.4 – «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) в работе



Рисунок 3.5 – Дождевальная машина КАСКАД

Измерение скорости опорной тележки осуществлялось хронометражем с измерением длины пути и продолжительности движения машины с трехкратной повторностью на каждом режиме.

Влажность почвы для калибровки определялась термостатно-весовым методом, рис. 3.6.

При выборе опытных площадок исходили из рельефа и однородности почвенного покрова.

При определении характеристик движения с помощью теодолита были установлены вешки по краю зоны полива (окружность движения последней тележки), замерялось время и расстояния.

С помощью программы Excel был получен график настроек таймера (рис. 3.9).



Рисунок 3.6 – Измерения влажности почвы для калибровки датчика



Рисунок 3.8 – Приборы синхронизации в линию

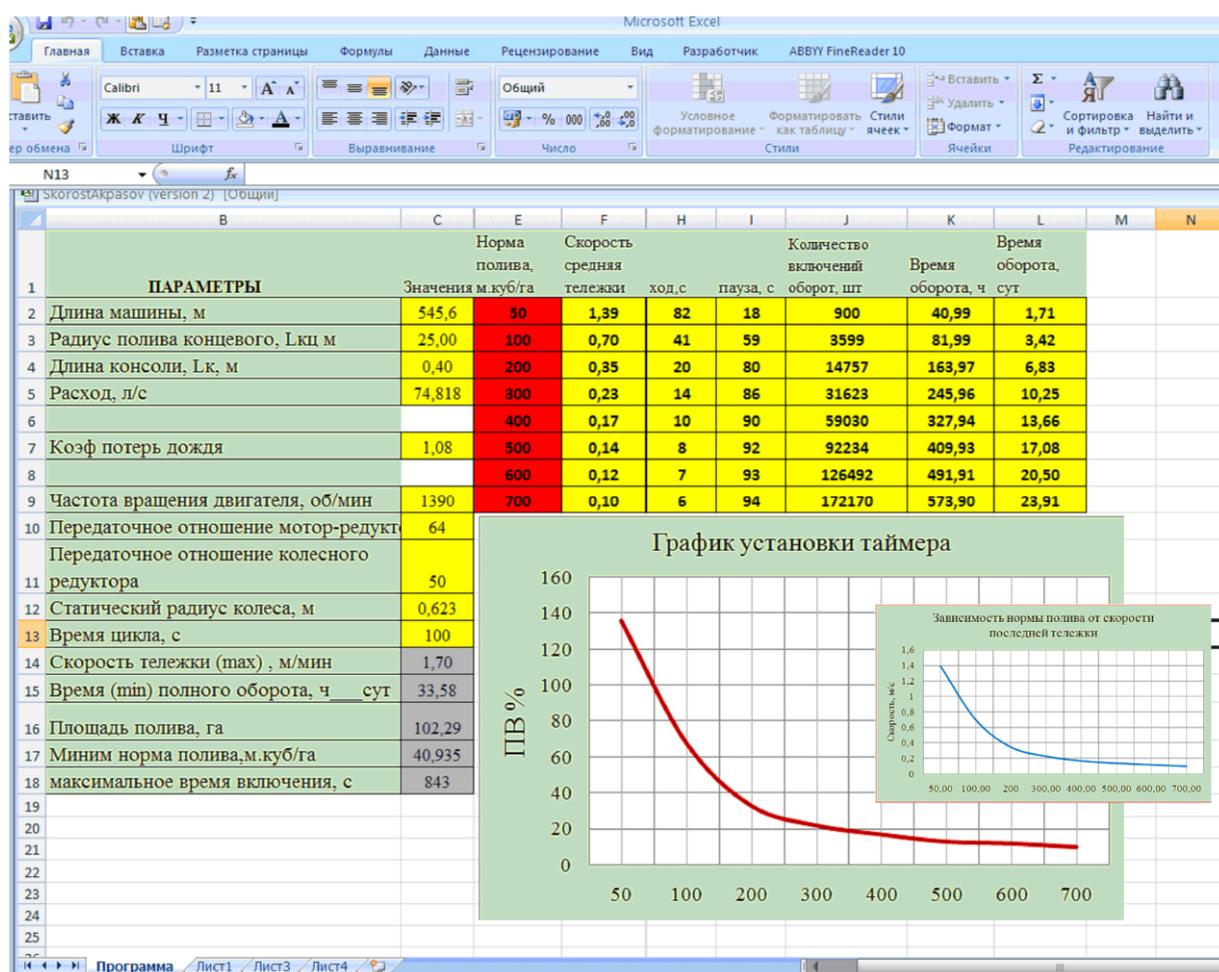


Рисунок 3.9 – Программа для установки таймера



Рисунок 3.10 – Опытный мини-образец

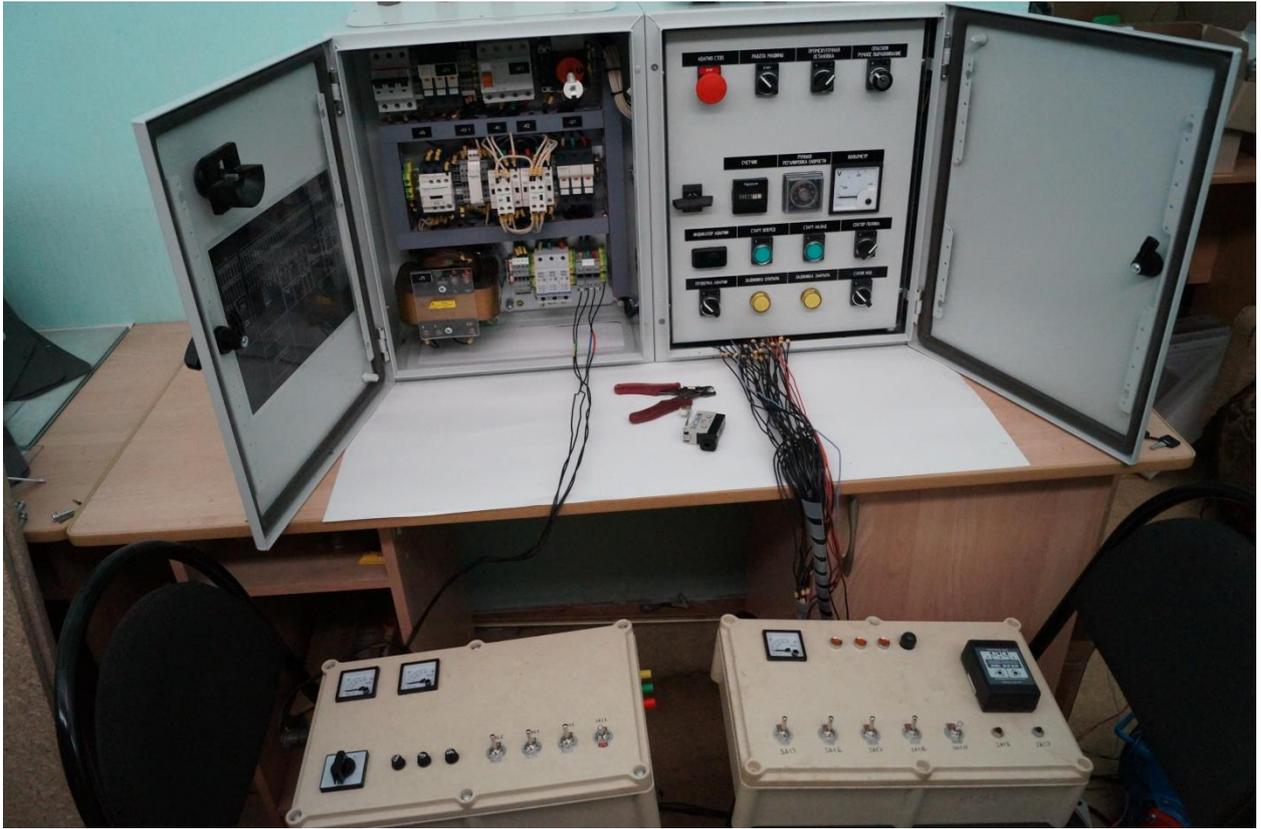


Рисунок 3.11 – Лабораторные приборы – имитаторы проверки проверялась системы управления



Рисунок 3.12 – Приборы настройки приборов слежения в линию

Запас влаги:

$$W_h = 100 \omega_{\phi} h \gamma, \quad (3.3)$$

где: ω_{ϕ} – фактическая влажность, %; h – глубина слоя почвы, м; γ – плотность, т/м³.

Водопотребление агрокультурами за сутки [79]:

$$E_{\text{сут}} = k_{\phi} d_{\text{сут}} k_n, \quad (3.4)$$

где: k_{ϕ} – коэффициент, учитывающий гидрометеорологические условия, мм/мб; $d_{\text{сут}}$ – средний дефицит влажности воздуха, определяемый за сутки, мб; k_n – поправочный коэффициент.

В радиальном направлении 165 дождемеров равномерно расположены в три ряда, т.е. по 55 дождемеров в каждом ряду.

В окружном направлении 26 дождемеров расположены по трем дугам: 4 на дуге длиной 12 м в 38 метрах от центральной оси, 10 на дуге длиной 24 м в 76 метрах от центральной оси и 12 на дуге длиной 28 м в 90 метрах от центральной оси.

Кроме того, на расстоянии 200 м от испытательного поля были установлены три эталонных дождемера для измерения испарения во время орошения.

Четыре комплекта датчиков температуры и влажности были установлены на высоте 5, 40, 80 и 200 см от поверхности земли.

До и после каждого испытания измерялся начальный/конечный объем воды в каждом дождемере.

После каждого испытания также регистрировалось время измерения показаний дождемеров, т.е. продолжительность полива дождевальной машиной. Затем было рассчитано среднее значение испарения для трех эталонных дождемеров, которое использовалось для корректировки исходного объема воды в каждом дождемере. Для каждого дождемера начальный объем воды корректировался как сумма конечного объема воды и среднего испарения.

$$V = V_i + tE \quad (3.5)$$

где: V_i – скорректированный начальный объем воды в каждом дождемере (мл); V_{ci} – конечный объем воды в каждом дождемере (мл); E_i – среднее испарение

дождемеров в единицу времени при дождевании (мл/мин); t_i – продолжительность дождевания (мин).

Метеорологические данные были получены с помощью автоматической метеостанции вблизи экспериментальных участков. Замерялись осадки, температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость и направление ветра и солнечная радиация.

3.4 Обработка результатов исследований

Для экспериментов применялись методики [8, 36, 37, 66, 76].

Среднее значение распределения проведенных опытов:

$$X = \Sigma X_i / n_i, \quad (3.6)$$

где: X_i – значение полученное при измерении; n_i – число измерений.

Дисперсия :

$$D = \frac{\Sigma (X_i - \bar{X})^2}{n_i - 1}. \quad (3.7)$$

Степень вариабельности значений, характеризуемое среднеквадратическим отклонением:

$$\sigma_{OT} = D^{0.5}; \quad (3.8)$$

Коэффициент вариации, характеризующий степень вариации относительно средней величины:

$$KB = \frac{100 \cdot \sigma_{OT}}{\bar{X}}; \quad (3.9)$$

Точность опыта:

$$P_{ТОП} = \frac{100 \sigma_{OT}}{\bar{X} n_i^{0.5}}. \quad (3.10)$$

Коэффициенты регрессии:

$$(Y_i - Y_p)^2 = \min, \quad (3.11)$$

где: Y_i – фактическое значение зависимого показателя; Y_p – расчетные значения из уравнения регрессии.

Критерий Фишера:

$$F = D^2 / D_o^2, \quad (3.12)$$

Остаточная дисперсия:

$$D_o^2 = \sum (Y_i - Y_p)^2 / (N - V_{\text{ФАК}} - 1), \quad (3.13)$$

где: $V_{\text{ФАК}}$ - количество факторов.

Коэффициент множественной корреляции:

$$R_m = (1 - D_o^2 / D^2)^{0,5}. \quad (3.14)$$

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Сравнение стандартной и предлагаемой технологий полива

Полив по стандартной и предлагаемой экспериментальной технологиям проводились на соседних участках 115,7 и 119 га в течении трех лет, таблица 4.1. Метеорологические данные представлены в таблице 4.2. Тип почвы на участках - темно-каштановый суглинок. Место проведения – Марковский район Саратовской области.

Согласно принятому в хозяйстве режиму проводились исследования и результаты представлены на рисунках 4.1.-4.4.

Таблица 4.1– Метеорологические данные ежемесячно

Год исследования	Показатель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Среднее
2020	температура воздуха, С	16,1	23,1	23,9	22,1	16,2	20,3
	влажность воздуха, %	79,3	77,1	69,2	69,6	67,9	72,6
	осадки, мм	10,2	51,2	45,1	22,8	19,1	29,6
2021	температура воздуха, С	15,1	22,6	24,9	19,8	15,2	19,5
	влажность воздуха, %	66,3	55,2	44,2	64,9	59,4	58,0
	осадки, мм	11,1	34,5	48,0	45,2	33,1	34,4
2022	температура воздуха, С	16,8	24,6	27,9	23,8	16,2	21,8
	влажность воздуха, %	65,3	57,2	45,3	63,9	58,4	58,0
	осадки, мм	15,1	30,5	39,4	37,2	30,4	30,5

В соответствии с требованиями культуры был запланирован режим орошения: оросительная норма 1600 м³/га в 2020 году вносилась по стандартной технологии за 4 полива по 400 м³/га. По оптимизированной технологии оросительная норма была -1570 м³/га.

Аналогично по режиму орошения хозяйства планируемая оросительная норма в 2021 г 1600 м³/га, по оптимизированной технологии - 1490 м³/га. Соответственно на 30 и 110 м³/га меньше.

В 2022 г оросительную норму решено увеличить до 2000 м³/га. По стандартному режиму орошения она вносилась за 4 полива по 500 м³/га. По оптимизированной - 1790 м³/га, что на 210 м³/га меньше. Полученные результаты внедренной технологии представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2– Сравнительные характеристики полива на 1 га

Параметр	2020 год		2021 год		2022 год	
	Стандарт	Оптимизация	Стандарт	Оптимизация	Стандарт	Оптимизация
Оросительная норма, м ³ /га	1600	1570	1600	1490	2000	1790
Экономия, м ³ /га		30		110		210

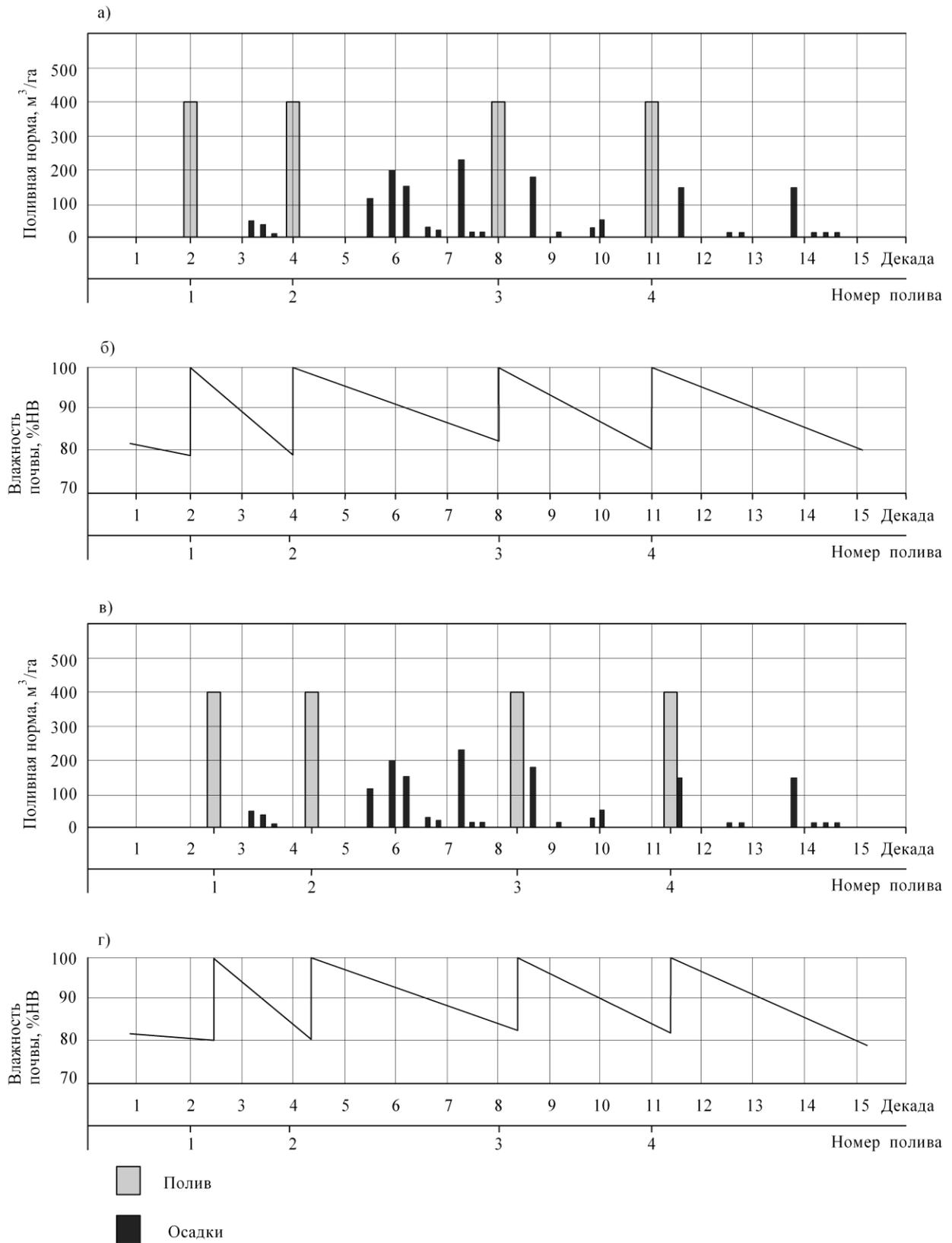


Рисунок 4.1 – Система внесения поливной нормы по стандартной технологии, 2020 год: а, б – начало первого сектора; в, г – конец последнего сектора;

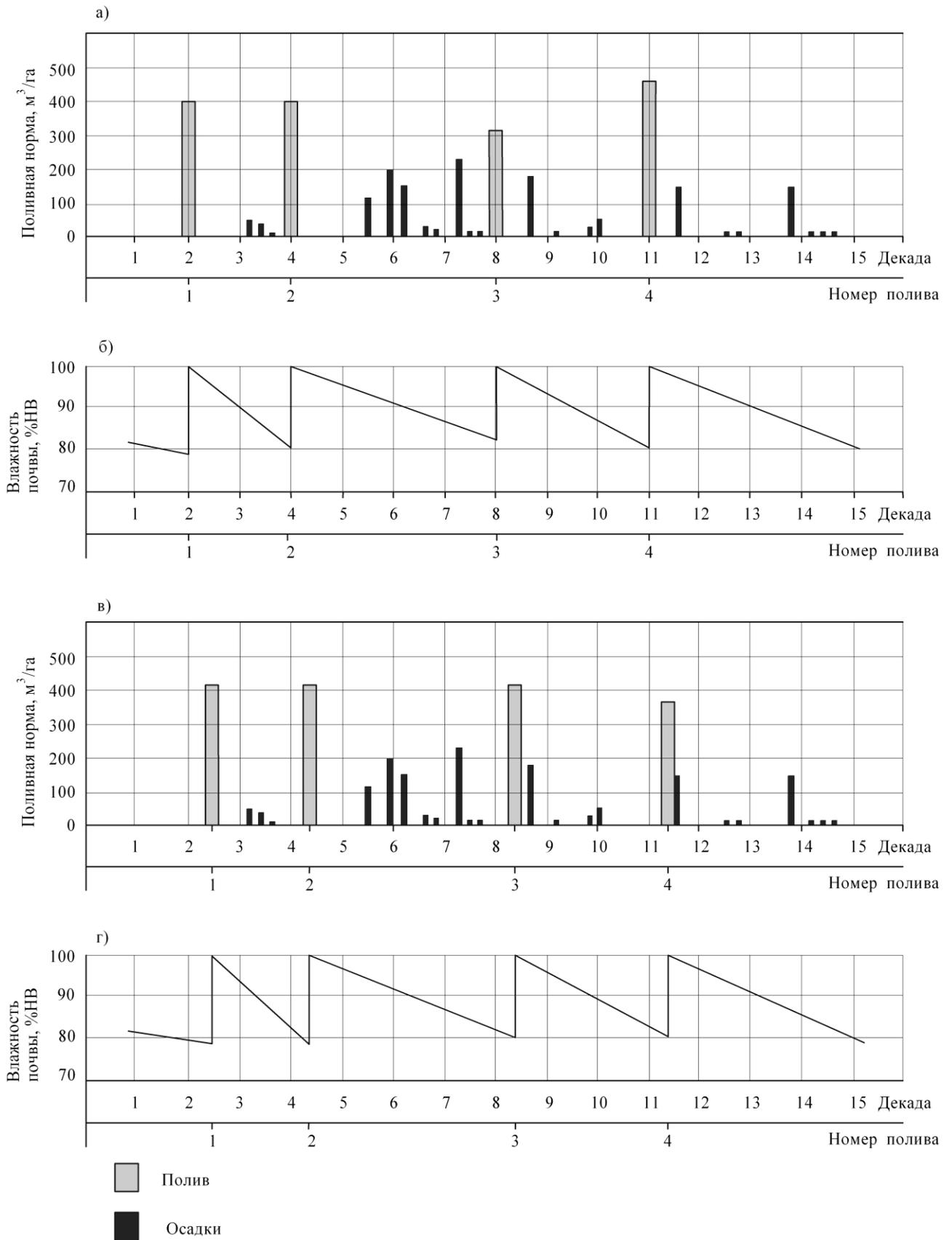


Рисунок 4.2 – Система внесения поливной нормы и влажность почвы по предлагаемой технологии, 2020год: а, б – начало первого сектора; в, г – конец последнего сектора

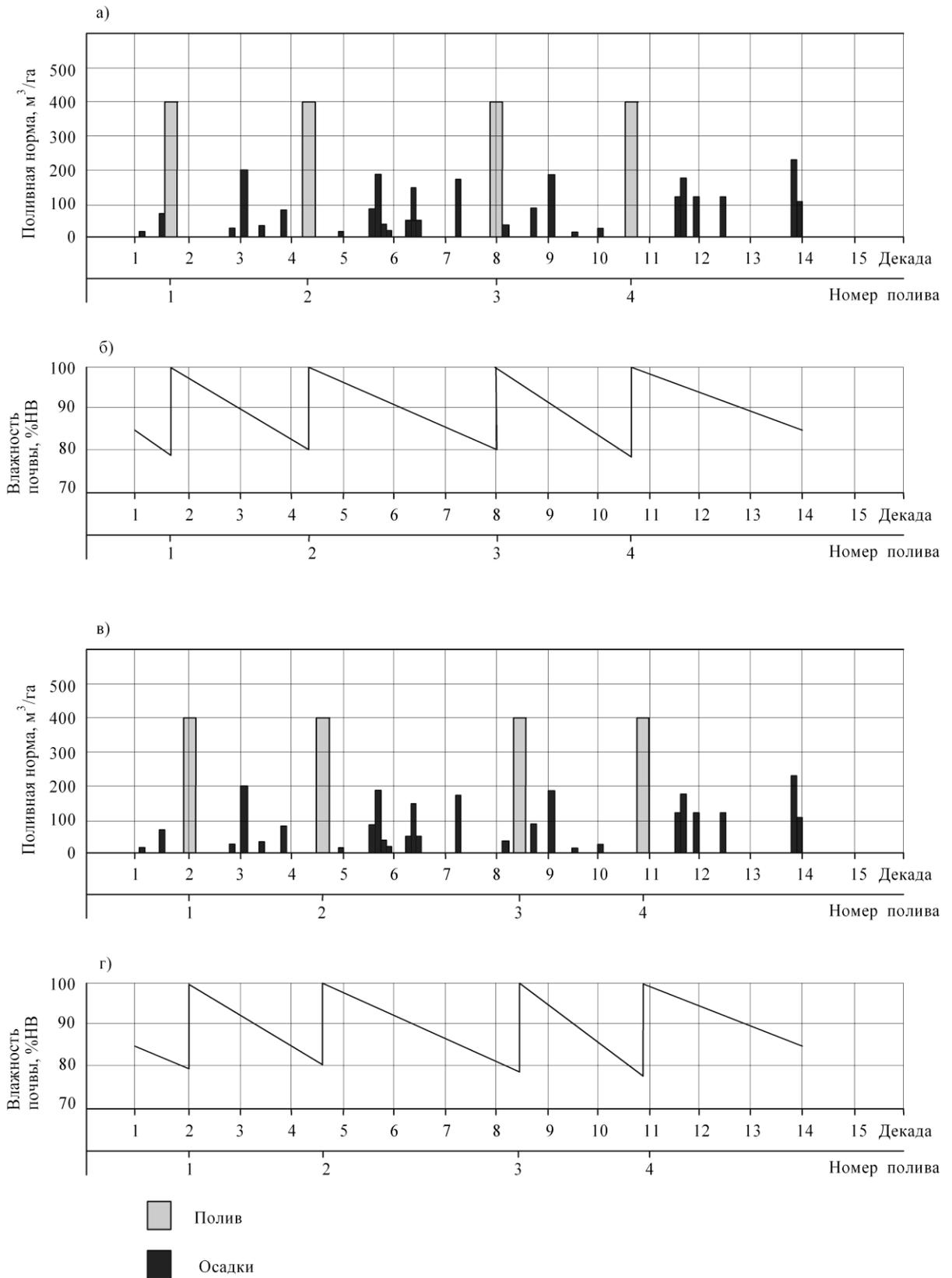


Рисунок 4.3 – Система внесения поливной нормы и влажность почвы по стандартной технологии 2021год: а, б – начало первого сектора; в, г –конец последнего сектора

4.2 Результаты исследований влияния рельефа местности на характеристики машины и качественные показатели полива

Для оценки влияния рельефа местности на качественные характеристики полива была выбрана дождевальная машина «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) длиной 487 м. На машине установлены на системах приповерхностного полива дефлекторные дождеватели с диаметром сопла от 3 мм до 14 мм через 3,5 м. Общий расход машины 67 л/с. Давление на входе в машину 0,43МПа [39].

Тип почвы на участках - темно-каштановый суглинок. За нулевую отметку при измерениях принимался уровень плиты центральной опоры машины. Площадь полива разделена на три сектора.

Сектор 1 - положительный средний уклон +0,03. Максимальный +0,057.

Сектор 2 - отрицательный средний уклон равен -0,012. Минимальный - 0,038.

Сектор 3 –средним уклоном - 0,003.

Настройки таймера и соотношения нормы полива и скорости представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Настройки таймера [39]

Характеристики машины		Настройки таймера в секундах		Настройки таймера в %	
Норма полива, м ³ /га	Скорость, м/мин	ход, с	пауза, с	ход, %	пауза, %
50	1,38	49	11	81	19
150	0,67	24	36	41	59
250	0,35	12	48	20	80
350	0,23	8	52	14	86
450	0,17	6	54	10	90
550	0,14	5	55	8	92
650	0,12	4	56	7	93
		0	60	0	100

Фиксировались метеоусловия (табл. 4.4), и характеристики потока (табл.4.5.).

Таблица 4.4– Метеоусловия [39]

Сектор	ход, %	Ветер		Параметры воздуха	
		направление	скорость, м/с	Относительная влажность, %	Температура, °С
1	41	встречный	3,5	60	27
	20	встречный	2,5	55	26
2	41	попутный	2,5	48	25
	20	переменный	1,2	48	27
3	41	переменный	до 0,6	46	29
	20	переменный	до 0,6	45	26

Таблица 4.5 –Гидравлические характеристики

Сектор полива	Ход, %	Скорость, м/мин	Давление по водопроводящему трубопроводу, МПа		
			начало	середина	конец
1	41	0,67	0,39	0,26	0,15
	20	0,35	0,38	0,24	0,14
2	41	0,67	0,35	0,30	0,28
	20	0,35	0,36	0,30	0,30
3	41	0,67	0,35	0,27	0,24
	20	0,35	0,35	0,27	0,24

Минимальное давление 0,14 МПа в конце трубопровода также определялось в первом секторе полива.

Качество полива оценивались коэффициентами эффективного, недостаточного и избыточного полива. Полученные данные представлены в таблице 4.6.

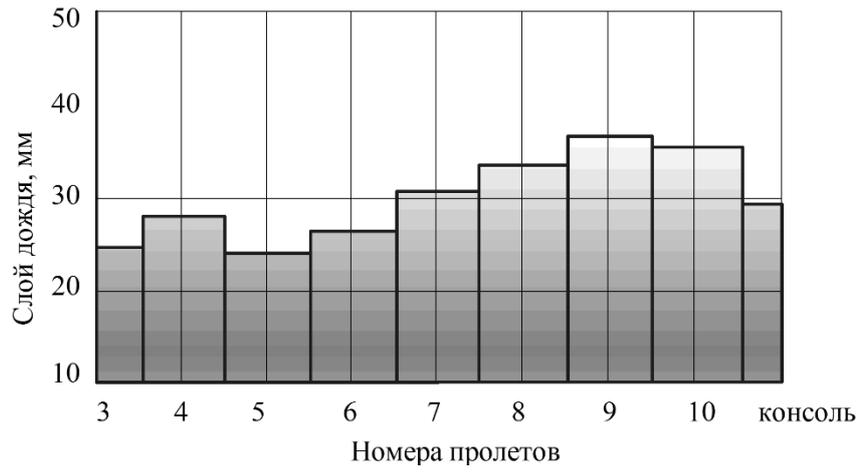
Таблица 4.6 – Коэффициенты эффективного, недостаточного и избыточного полива в зависимости от уклонов местности и скорости движения машины

Сектор	Режим движения	Показатели			
		Среднее значение слоя дождя, мм	Коэффициенты		
			Эффективного полива $K_{Э}$	Недостаточного полива $K_{Н}$	Избыточного полива $K_{И}$
1	41	17	0,70	0,19	0,11
	20	30	0,73	0,15	0,12
2	41	22	0,66	0,19	0,15
	20	42	0,74	0,17	0,09
3	41	21	0,75	0,19	0,08
	20	37	0,72	0,20	0,08

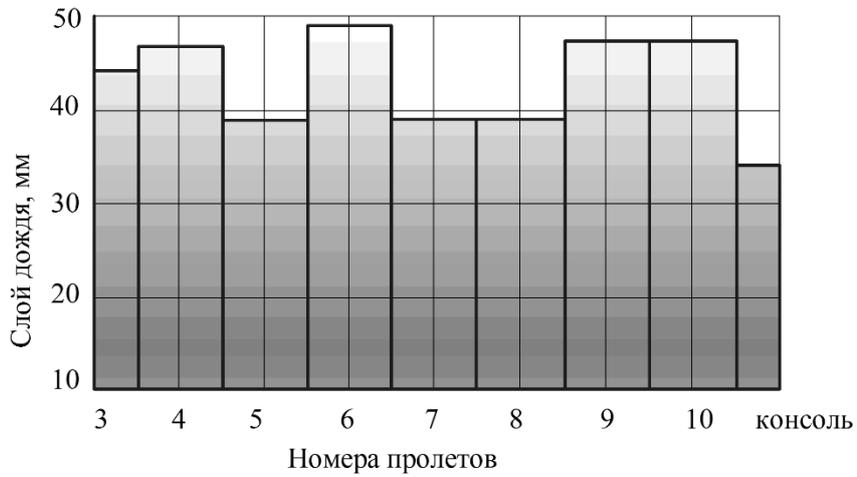
При орошении склоновых участков коэффициент эффективного орошения соответствует нормативным значениям и дождевальная машина может работать без регуляторов давления, обеспечивая достаточную равномерность.

Значения слоя дождя имеют большой разброс в зависимости от уклонов и скорости движения.

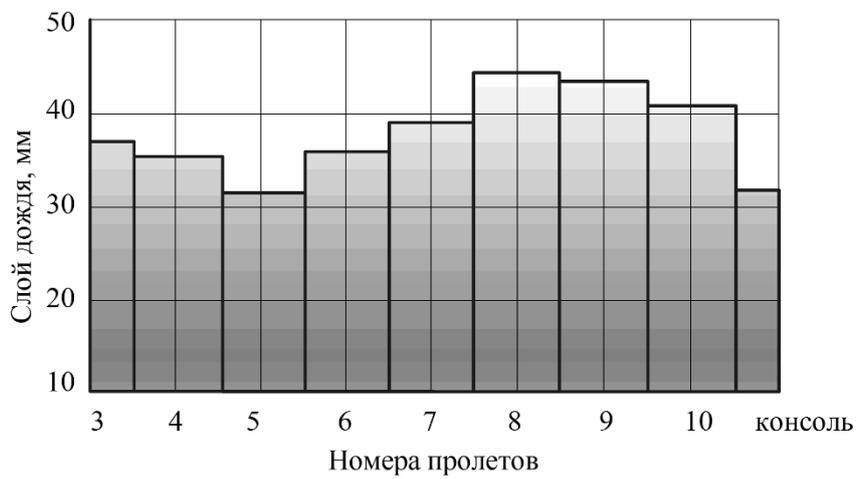
С целью повышения равномерности полива на дождевальную машину «КАСКАД» были установлены дождеватели через 2,9 м, также на устройствах приповерхностного полива. Длина машины 456,7 м. Расход 62,6 л/с. Давление на входе в машину 0,42МПа. Регуляторы давления марки Senninger.



а)

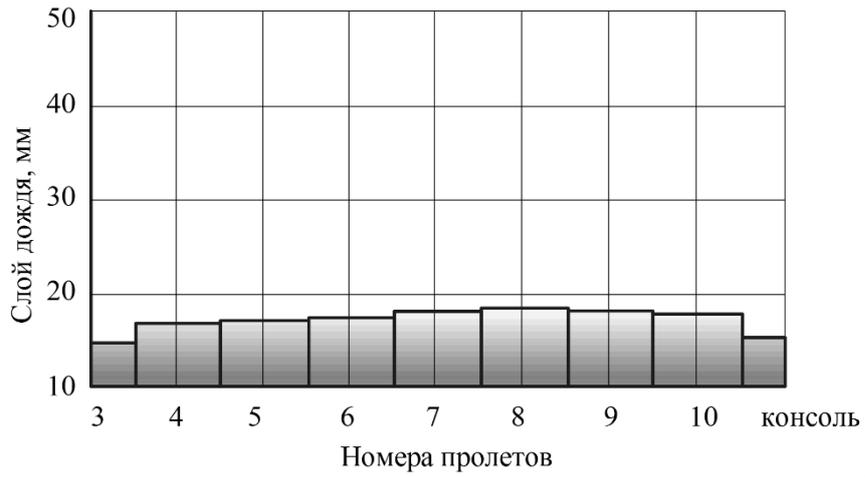


б)

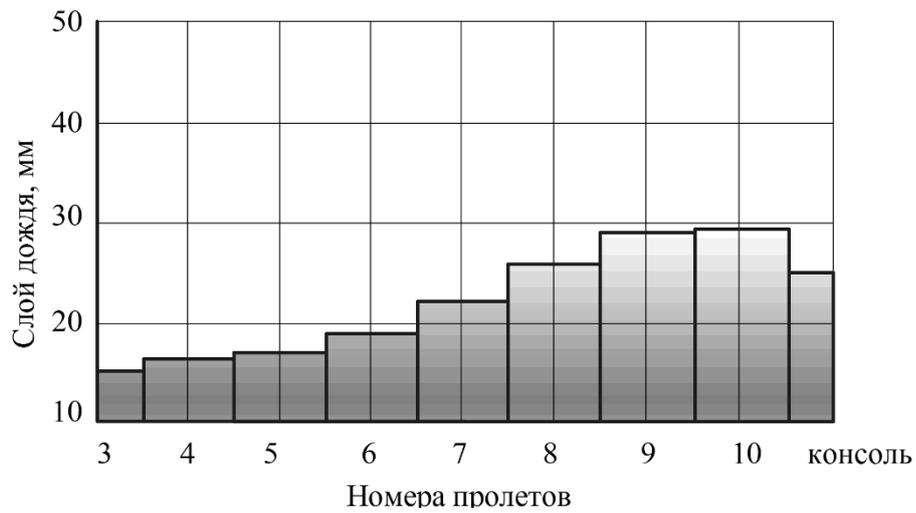


в)

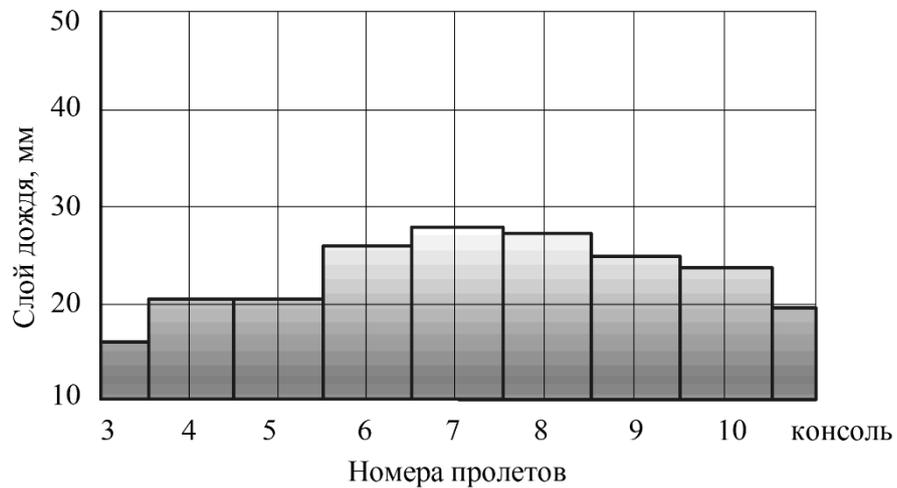
Рисунок 4.5 – Распределение слоя дождя при скорости 0,35 м/мин, сектора:
а) первый; б) второй; в) третий.



а)



б)



в)

Рисунок 4.6 – Распределение слоя дождя при скорости 0,67 м/мин, сектора:

а) первый; б) второй ; в) третий.

Измерения качества полива оценивалось общепринятым методом по коэффициентам качества полива. Были получены равные значения слоя дождя и повышение коэффициента эффективности полива, табл. 4.7 .

Таблица 4.7 – Коэффициенты эффективного, недостаточного и избыточного полива в зависимости от уклонов местности и скорости движения машины

Сектор	Режим движения	Показатели			
		Слой дождя, мм	Коэффициенты		
			Эффективного полива $K_{Э}$	Недостаточного полива $K_{Н}$	Избыточного полива $K_{И}$
1	40	19	0,73	0,11	0,16
	20	33	0,81	0,10	0,09
2	40	22	0,77	0,10	0,13
	20	38	0,83	0,10	0,07
3	40	20	0,84	0,10	0,06
	20	35	0,86	0,07	0,07

При необходимости полива участков с уклоном, для повышения равномерности, особенно в случае полива большими нормами оптимальным является применение машин с учащенной схемой установки дождевателей (через 2,9 м) и регуляторов давления.

Стоимость оросительной системы увеличится за счет стоимости комплектов дождевателей и регуляторов, но за счет увеличения равномерности будет обеспечено повышение урожайности.

4.3 Результаты исследования величины нормы полива до стока

Для широкозахватной дождевальной техники критической зоны с точки зрения переполива, возникновения поверхностного стока и водной эрозии является зона в конце машины, у консоли.

Установленные здесь дождеватели имеют наибольшие проходные сечения сопел, а соответственно большой расход и диаметр капель дождя.

Проведенные исследования также демонстрируют влияние наличия растений и стадию их роста на величину стока, таблица 4.8. Величина стока измерялась под последним пролетом.

Таблица 4.8– Характеристики полива

Почва	Марка	Норма полива, м ³ /га	Достоко вая норма, м ³ /га	Величина стока, м ³ /га	Примечание
Чернозем обыкновенный	«Кубань-ЛК1»	305	530	0	
		400	540	0	
		510	535	0	
Темно-каштановый суглинок	«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)	300	535	0	кукуруза период цветения
		405	540	0	
		495	550	0	
	«Кубань-ЛК1М» (КАСКАД)	300	380	0	
		405	385	20	
		500	390	110	

В ходе исследования также фиксировались задаваемая посредством таймера и фактическая скорость передвижения и норма полива. Результаты приведены в таблице 4.9.

Экспериментальные исследования подтверждают теоретические предпосылки. За счет буксования измеренная при проведении исследований скорость показала меньшие значения на 9,5-14%. И следует отметить, что с увеличением нормы (она задается скоростью последней тележки в процентах процентным таймером) эта разница увеличивается. Снижение скорости машины увеличивает норму полива на 7-10,5%. Большое количество выливаемой воды значительно увеличивает буксование и вероятность остановки машины за счет увеличения глубины колеи и снижения коэффициента сцепления.

Для внесения более точных корректировок в зависимости от грунтовых условий необходимо измерять фактическую скорость.

Таблица 4.9 – Сравнительные характеристики теоретической и фактической скоростей

Норма полива, м ³ /га			Скорость движения, м/мин		
План	Факт	Отклонение %	План	Факт	Отклонение %
«КАСКАД» модель 497					
300	323	7	0,22	0,20	-10
400	431	7	0,17	0,15	-13
500	548	9	0,14	0,12	-13
ДМ «Кубань-ЛК1» модель 212					
300	331	9	0,25	0,23	-9,5
400	443	9,5	0,20	0,18	-10
500	559	10,5	0,12	0,11	-14

По мере увеличения рабочей скорости с 10% до 100% глубина орошения постепенно уменьшалась. Глубина орошения имеет приблизительно экспоненциальную зависимость от рабочей скорости.

Средняя равномерность разбрызгивания по окружности была выше, чем средняя равномерность разбрызгивания по радиусу при одинаковых рабочих скоростях, что указывает на то, что разбрызгиваемая вода распределяется более равномерно по траектории движения.

4.4 Выводы по главе

1. Полевые исследования режимов и технологий полива по стандартной и разработанной технологии выявили, что при поливе по оптимизированной технологии экономия оросительной воды достигает 10 %.

2. При поливе на участках с уклоном до 0,05 коэффициент эффективного полива соответствует допустимым значениям.

Значения слоя осадков сильно варьируются в зависимости уклона поверхности эксплуатации и скорости машины. Чем выше норма полива и ниже скорость машины, тем больше разброс значений.

3. При поливе агрокультур нормой более 300 м³/га на уклонных участках требует установки регулирующих устройств.

Вид культуры и стадия развития растений влияет на достокую поливную норму. По мере роста растения и повышения защитных свойств достковая норма полива увеличивается. Самый мягкий режим полива необходим в начале поливного сезона.

4. Эксперименты подтвердили, что фактическая скорость машины меньше плановой и что эта разница увеличивается по мере увеличения нормы полива, что приводит к переполиву и требует соответствующей настройки режима работы.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ОПТИМИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА

Рассматривая основные технико-экономические характеристики при поливе, выделим и рассмотрим основные. Общий объем воды:

$$Q = Q_M T k_B + Q_C, \quad (5.1)$$

где: Q_M – расход машины, задаваемый в зависимости от культуры, максимальное значение ограничивается диаметром трубопровода, $m^3/ч$, T – время, ч; k_B – коэффициент потерь на испарение и унос ветром; Q_C – величина образованного стока.

Время полива машиной:

$$T = \frac{MS}{Q_M}, \quad (5.2)$$

где: M – норма полива, $m^3/га$; S – площадь поливаемого участка, га;

Соотношения характеристик полива представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Характеристики полива

Длина, м	Поливная норма, $m^3/га$	Площадь, га	Время, ч	Время, дни (при поливе 24 часа)	Требуемый объем воды, куб м.
300	300	28,2	34	1,4	9000
	400		45	1,8	12000
	500		56	2,3	15000
400	300	50,2	60	2,5	16000
	400		80	3,3	21000
	500		100	4,1	26250
500	300	78,5	94	4	24670
	400		125	5,2	32800
	500		157	6,5	41300

5.1 Экономия воды при оптимизации поливной нормы

В таблице 5.2 показана экономия, которая может быть достигнута за счет использования оптимизированной технологии на одной машине и сокращения количества воды, используемой при поливе [116].

Таблица 5.2– Сравнительные данные по оросительной норме

Показатель	год		
	2020	2021	2022
Длина машины, м	497	497	497
Площадь полива, га	77,5	77,5	77,5
Оросительная норма, м ³ /га:			
стандартная технология	1600	1600	2000
оптимизированная	1570	1490	1790
Экономия воды, м ³ /га	30	110	210
Экономия воды, %			
Общая экономия воды на 1 машину, м ³	2325	8525	16275
Общая экономия на 1 машину*, руб	48522	177916	339659
Урожайность кукурузы на силос, т/га	90,1	96,6	93,8

*С учетом тарифа на воду 20,87 руб

Данные с отчета хозяйства показали, что средняя урожайность кукурузы на силос за три года на участках полива по разрабатываемой технологии с делением на сектора полива в среднем выше на 6,4 т/га, чем на участках полива по технологии полива одной не изменяющейся нормой, что достигнуто за счет более равномерной подачи оросительной воды и оптимальным условиям для агрокультур. Рекомендуемое количество секторов полива 4-6 в зависимости от длины машины. До 350 метров достаточно 4 секторов. При длине машины 350-

450 м рационально увеличение количества секторов до 6. При увеличении длины машины свыше 450 метров или увеличении диаметра трубопровода машины с 159 мм до 168 мм рационально также увеличивать количество секторов.

В перспективе потери гумуса при переполиве и стоке будут увеличиваться, снижая урожайность. Разница между урожайностью при поливе по стандартной и оптимизированной технологии будет увеличиваться.

Разработанная технология позволяет избежать негативных воздействий на почву, что важно в долгосрочной перспективе, при многолетних поливах территорий.

Таблица 5.3– Экономическая оценка внедрения

Показатели	Полив единой нормой	Оптимизированная технология
Сельскохозяйственная культура	Кукуруза	
Коэффициент эффективности полива при скорости ветра 3 м/с	0,68-0,73	0,81-0,86
Средняя урожайность кукурузы на силос, т/га за 3 года	87,1	93,5
Прибавка урожая, т/га		6,4

5.2 Анализ энергетической оценки

Для обеспечения работы давление на входе в машину 0,43 МПа. Энергетическая оценка полива показала, что при максимальном расходе воды, обеспечиваемом машиной 69 л/с потребляемая мощность соответствовала 30,1 кВт.

При этом, удельный расход топлива за время сменной работы составил 0,89 кг/га для стандартной комплектации. Затраты электроэнергии представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Затраты электроэнергии

Показатель	Значение
Дизель-электрический агрегат	AD 10-T400
Напряжение, В	380 50Гц
Потребляемая мощность, кВт	6,3*
Удельное потребление электроэнергии, кВтч/га	1,85**
Удельное потребление электроэнергии, кВтч/м ³	0,003
Удельное потребление электроэнергии, кВтч/круг	0,024

*-при одновременной работе всех приводов (1,8м/мин на последней опорной тележке)

**-электроэнергия, потребляемая от генератора с учетом времени работы двигателя каждой опорной тележки

5.3 Выводы по главе

1. Данные, полученные с отчетов хозяйства показали, что средняя урожайность кукурузы на силос за время исследований при сравнении на соседних участках полива по предлагаемой технологии и стандартном поливе одной заданной нормой выше на 6,4 т/га, что объясняется более равномерной подачей воды и оптимальными условиями водно-воздушного баланса почвы для роста агрокультур.

2. Сравнение объемов воды по принятой технологии показало экономию до 10% от нормы. Общая экономия воды на одну машину до 210 куб. м./га.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Полив широкозахватной дождевальнoй техникой с одинаковой нормой не соответствует значению недостающей влаги и это несоответствие возрастает с увеличением длины машины. Увеличивается вероятность переполива. Этот недостаток можно исключить делением зоны полива на сектора с изменением скорости движения и соответственно количества выливаемой воды с учетом времени полива, т.е. в соответствии с уровнем влагозапасов сектора.

2. На основании проведенных теоретических исследований технологии полива дождевальными машинами кругового действия выполнена оптимизация режима полива.

3. Разработаны математические модели и прикладная программа расчета значения поливных норм. Рассмотрен механизм управления поливами.

4. Сравнение стандартной и предлагаемой технологий полива дождевальными машинами показало, что полив по предлагаемой технологии позволяет осуществлять экономию оросительной воды до 10 %.

5. Анализ работы машин на поливных площадях с уклонами показывает, что чем меньше скорость движения машины (больше норма полива), тем больше разброс значений слоя осадков. Норма полива более 300 м³/га на уклонных участках требует установки регулирующих устройств, либо применения режима выдачи поливной нормы за несколько проходов. Проведенные исследования подтверждают уменьшение фактической скорости движения на 9,5-14%, и разница увеличивается с увеличением поливной нормы. При этом норма полива может возрасти на 7-10,5%, что приводит к перерасходу воды и повышению вероятности возникновения водной эрозии.

6. Средняя урожайность кукурузы на силос за время исследований при сравнении на соседних участках полива по предлагаемой технологии и стандартном поливе одной заданной нормой выше на 6,4 т/га, что объясняется более равномерной подачей воды и оптимальными условиями водно-воздушного

баланса почвы для роста агрокультур. Общая экономия воды на одну машину до 210 м³ /га.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯМ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИМ ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Для повышение эффективности работы широкозахватных дождевальных машин, обеспечения экономии водных и земельных ресурсов является оптимальным применение технологии, основанной на соответствии поливной нормы и водопотребления культуры, разработанного алгоритма и программы расчета.

Дальнейшие перспективы исследований и разработок

Информационно-советующая система работающая с алгоритмом разработанном в данной диссертационной работы планируется к внедрению в 2025-2030 гг. на основе агрономических, климатических и др. баз данных.

Результаты, полученные в ходе этого исследования, обеспечивают научно обоснованные критерии принятия решений, позволяющие разрабатывать технологии и технических средств полива учитывая изменчивость характеристик почвы, а также ее различную влажность. Дальнейшее исследование запланировано с использованием карты для дифференцированного полива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдразаков, Ф.К. Повышение экологической эффективности орошения в Саратовском Заволжье на основе совершенствования дождевальная машины «Фрегат» / Ф.К. Абдразаков, В.В. Васильев. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2005. – 116 с.
2. Абдразаков, Ф.К. Усовершенствованная дождевальная машина «Фрегат» производит экологически безопасное орошение сельскохозяйственных культур / Ф. К. Абдразаков, В. В. Васильев, М. А. Сехчин // Вестник СГАУ им. Н.И. Вавилова, 2003. – № 4. – С. 62-65.
3. Аналитическая записка «Земельный потенциал России: состояние, проблемы и меры по его рациональному использованию и охране». РАН. 2023 г
4. Анализ рынка оросительных систем в России -2024. Показатели и прогнозы. Дата выпуска 19 марта 2024 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [Анализ рынка оросительных систем в России - 2024. Показатели и прогнозы :: РБК Магазин исследований \(rbc.ru\)](#)– (Дата обращения: 20.04.2024).
5. Ахтырцев, Б. П. Влияние орошения на свойства типичных черноземов юговостока Центрально-Черноземной области / Б. П. Ахтырцев, И. А. Лепилин // Биологические науки, 1979. – № 4. – С. 87–92.
6. Багров, М.Н. Прогрессивная технология орошения сельскохозяйственных культур / М.Н Багров. – М.: Колос, 1980. – 208с.
7. Баранова, Е. В. Гумусовый режим темно-каштановых почв разного хозяйственного использования в условиях Западного Казахстана: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01, 03.02.13. – СПб.-Пушкин, 2012. – 22 с.
8. Боровиков, В. П. Statistica: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2001. – 656 с.
9. Бубенчиков, М. А. О снижении энергоемкости полива короткоструйными дефлекторными насадками / М. А. Бубенчиков, А. Н. Данильченко, Н. П. Пацер // Экологическое и экономическое обоснование технологии и технических средств полива: сб. науч. тр. ВНИИМиТП. – М, 1989. – С. 42-47.

10. Варлев, И. Оптимальная равномерность полива / И. Варлев // Гидравлика и мелиорация. М., 1981. – № 6.– С. 77–81.

11. Васильев, В. В. И Повышение экологической эффективности орошения в Саратовском Заволжье на основе совершенствования дождевальнoй машины «Фрегат»: дис. ... канд.техн. наук. – Саратов, 2004. – 165 с.

12. Василенков, В.Ф. Экологическая и экономическая оптимизация эксплуатационного режима орошения современными дождевальными машинами / В.Ф. Василенков, С.В. Василенков, О.Н. Демина и [др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, 2015. – №4.–С. 85-92.

13. Влияние орошения на свойства черноземов Северного Кавказа / А. Т. Лисконов [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство: обзор. информ. / ЦБНТИ Минводстроя СССР. – М., 1990. – С. 50.

14. Вуколов, В. В. Разработка и выбор рабочих органов дождевальных машин для орошения при скорости ветра свыше 3 м/с: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1992. – 19 с.

15. Гаврилица, О. А. Эрозионная деградация черноземов при поливе дождеванием и пути ее предупреждения: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Кишинев, 1991. – 48 с.

16. Гаврилица, О. А. Эрозионные процессы при поливе дождеванием и пути их минимизации / О.А. Гаврилица // Почвоведение. – 1993. – № 3.– С. 77–84.

17. Гомберг, С. В. Совершенствование технико-технологических показателей полива дождевальной машиной «Фрегат»: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2007. – 19 с.

18. Гомберг, С.В. Интенсивность дождя дефлекторных насадок ДМ «Фрегат» / С.В. Гомберг В.В. Слюсаренко, Н.Ф. Рыжко // Актуальные проблемы АПК. Сб. научных работ. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2006. – С. 84-88.

19. Городничев, В. И. Оценка крупности капель / В.И. Городничев // Основные направления технического прогресса механизации и техники полива: сб. науч. тр. – М.: ВНИИМиТП, 1983. – С. 102–110.

20. Городничев, В.И. Автоматизация и управление на оросительных системах / В.И. Городничев // Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии и техника в орошаемом земледелии: Матер. Межд. науч.-практ. конф. Ч. 1. – Коломна: ФГНУ ВНИИ «Радуга», 2003. – С. 174-176.

21. Городничев, В.И. Управление, контроль и оценка работы дождевальных машин фронтального действия: дис. ...д-ра.техн. наук. – Коломна, 2004. – 420с.

22. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – М.: Стандартиформ, 2006. – 8с.

23. ГОСТ 24059–88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технической оценки транспортных средств на этапе испытаний. – М.: Стандартиформ, 1988. – 48с.

24. ГОСТ ИСО 11545-2004. Оборудование сельскохозяйственное оросительное, машины дождевальные кругового и поступательного действия с дождевальными аппаратами или распылителями. Определение равномерности орошения. – М.: Стандартиформ, 2004. – 10с.

25. ГОСТ ИСО 8224-1-2004. Машины дождевальные подвижные. Часть 1. Эксплуатационные характеристики и методы лабораторных и полевых испытаний. – М.: Стандартиформ, 2004. – 29с.

26. ГОСТ Р 58331.3-2019. Системы и сооружения мелиоративные. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур. Общие требования.

27. Гостищев, Д.П. Меры по борьбе с эрозией почв при поливе сельскохозяйственных культур дождеванием / Д.П. Гостищев, Е.Ю. Гильденберг // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования. – М.: ВНИИ А имени Д.Н. Прянишникова, 2007.– №2.– С.136-142.

28. Григорьев, В. А. Прогноз и предупреждение эрозии почв при орошении / В. А. Григорьев, С. Ф. Краснов. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1992. – 206 с.

29. Григорьев, В.Я. Прогноз эрозии при поливе дождеванием и обоснование некоторых мер ее предупреждения / В.Я. Григорьев // Актуальные вопросы эрозиоведения. – М.: Колос, 1984. – С. 167-189.
30. Губер, К.В. Оценка качества полива дождевальной техники / К.В. Губер / Комплексные мелиорации – средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель. – М.: ФГБНУ ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2014. – С. 28-34.
31. Губер, К. В. Ресурсосберегающие технологии и конструкции оросительных систем при дождевании: дис. ...д-ра техн. наук.– М., 2000. – 518с.
32. Гусейн-заде, С.Х. Многоопорные дождевальные машины / С.Х. Гусейн-заде, Л.А. Перевезенцев, В.И. Коваленко, Л.Г. Луцкий. – М.: Колос, 1984. –191 с.
33. Гутер, Р.С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опытов / Р.С. Гутер, Б.В. Овчинский. – М.: Физматгиз, 1970. – 432 с.
34. Данные организации Росстат. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mcx.ru/document_show/25438 –(Дата обращения: 13.02.2024).
35. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2019 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021 – 404 с.
36. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта/ Б.А. Доспехов. – М.: «УОУОМедиа», 2012. – 352 с.
37. Доспехов Б.А. Практикум по земледелию / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.И. Туликов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 383с.
38. Есин, А.И. Ресурсосберегающие технологии и дождевальные машины кругового действия: монография / А.И. Есин, Л.А. Журавлева, В.А. Соловьев, 2019.– С.214.
39. Журавлева, Л.А. Влияние пространственной неоднородности свойств сельскохозяйственных полей и рельефа на эффективность применения дифференцированных агротехнологий: монография / Л.А. Журавлева, Д.М. Бенин, Н.В. Гавриловская. Москва, 2024.- 122с.

40. Журавлева, Л.А. Техничко-технологические решения и рекомендации по сохранению плодородия почв подверженных водной эрозии: монография/ Л.А. Журавлева, Б.Б. Якобсон. Москва, 2024. – 115с.
41. Журавлева Л.А. Ресурсосбережение при проектировании и эксплуатации широкозахватных дождевальнх машин: монография: / Л.А. Журавлева, А.С. Апатенко, Н.С. Севрюгина, О.М. Кузина. Москва, 2023. -237с.
42. Журавлева, Л. А. Ресурсосберегающие широкозахватные дождевальнх машины кругового действия: дис. ...док. техн. наук. – Саратов, 2018. – 409 с.
43. Журавлева, Л.А. Развитие материально-технической базы мелиоративного комплекса на инновационной основе / Л.А. Журавлева, Анас А. //Природообустройство. 2024. № 2. С. 21-27.
44. Журавлева, Л.А. Ходовые системы широкозахватных дождевальнх машин: монография/ Л.А. Журавлева, О.М. Кузина, М.В. Карпов, У.Т. Кузиев, Н.Б. Разиков. Москва, 2023.-150с.
45. Журавлева, Л.А. Дождеватели широкозахватных дождевальнх машин: монография/ Л.А. Журавлева, И.А. Попков, М.С. Магомедов, Х. Бассел. Москва, 2022. -140с.
46. Журавлева, Л.А. Исследования равномерности распределения дождя при поливе широкозахватной дождевальнх техникой / Л.А. Журавлева // Научная жизнь. 2024. Т. 19. № 1 (133). С. 8-16.
47. Каталог BAUER. Самая эффективная система под солнцем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.bauer-at.com. – (Дата обращения: 15.05.2024).
48. Каталог ирригационной продукции ZimmaticbyLindsay [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.lindsay.com. – (Дата обращения: 15.05.2024).
49. Каталог. I-WobSenninger. Дождеватель для механизированного орошения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.senninger.com– (Дата обращения: 11.02.2024).

50. Каталог Lindsay. Повышение урожайности пшеницы за счет применения эффективных решений в области орошения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.lindsay.com– (Дата обращения: 23.03.2023).

51. Каталог. Отличительные особенности ирригационных машин Reinke [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.reinke.com– (Дата обращения: 19.06.2024).

52. Каталог фирмы RKD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rkd.su> / 2023. – (Дата обращения: 12.01.2023).

53. Каталог T-LirrigationCompanysales@tlirr.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.tlirr.com– (Дата обращения: 22.03.2024).

54. Каталог продукции Valley [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / www.valmont.com/irrigation –(Дата обращения: 7.07.2023).

55. Каталог широкозахватных дождевальных машин, ирригационного оборудования, систем капельного орошения и насосных станций Российского производства. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Департамент мелиорации. ФГБНУ ВНИИ «Радуга» – 2016.

56. Каталог продукции RAINHUNTER. Системы автополива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rainhunter.ru>– (Дата обращения 30.04.2024).

57. Каталог продукции RainBird [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / www.rainbird.com. – (Дата обращения 10.02.2024).

58. Каталог продукции RainBird [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / www.avtopoliv-rainbird.ru – (Дата обращения 30.04.2024).

59. Колганов, А.В. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России: монография / А.В. Колганов, Н.А. Сухой, В.Н. Шкура, В.Н. Щедрин; под ред. Щедрина. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. –222с.

60. Концепция федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы». –М., 2010. – 60 с.

61. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. –М.: Наука, 1973. –832 с.

62. Ларионова, А.М. Пути повышения качества полива дождевальными машинами / А.М. Ларионова, Г.А. Михалева, Е.В. Шевцов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Сб. науч. трудов Межд. науч.-практ. Конф, 2016. –С.360-365.
63. Ларионова, А. М. Впитывающая способность почв при поливе дождеванием: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2004. – 248 с.
64. Лебедев, Б.М. Дождевальные машины / Б.М. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1965. – 225с.
65. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. –М.: Дрофа, 2003.– 840 с.
66. Макарова, Н.В. Статистика в Excel: учебное пособие / Н.В. Макарова, В.Я. Трофимец. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 365с.
67. Материалы сайта компании Lindsay: url: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lindsayrussia.com> – (Дата обращения 20.02.2023).
68. Медведев, А.В. Мелиоративная техника – основа устойчивого сельскохозяйственного производства / А.В. Медведев // Мелиорация в России: потенциал и стратегия развития. Матер. Межд. науч-практ. интернет-конф., посвященной 50-летию масштабной программы развития мелиорации земель. – Волгоград, 2016. –С. 305-313.
69. Мелиоративные системы и сооружения: СНИП 2.06.03-85 / Гостстрой СССР. –М., 1986. -60с.
70. Мелихов В.В. Мелиорация – потенциал и стратегия развития АПК и сельских территорий России / В.В. Мелихов // Мелиорация в России: потенциал и стратегия развития. Матер. Межд. науч.-практич. интернет-конферен., посвященной 50-летию масштабной программы развития мелиорации земель. – Волгоград, 2016.– С. 7-14.
71. Методика полевого опыта в условиях орошения (рекомендации). – Волгоград: ВНИИОЗ, 1983. –149 с.
72. Методические рекомендации по учету поверхностного стока и смыва почв при изучении водной эрозии. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 88 с.

73. Михалев, Н. В. Обоснование технологических и технических решений по распределению стоков дождевальными машинами кругового действия: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2000. – 155 с.

74. Нагорный, В. А. Использование ДМ «Фрегат» с дефлекторными насадками / В. А. Нагорный, Н. Ф. Рыжко // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2009. - № 1. – С. 85-90.

75. Надежкина, Г. П. Совершенствование устройств приповерхностного дождевания дождевальной машины «Фрегат»: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2014. – 167 с.

76. Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение. – 1991. – 288 с.

77. Ольгаренко, Г.В. Сохранить парк дождевальных машин в Российской Федерации / Г.В. Ольгаренко, С.М. Давшан, С.С. Савушкин // Ж. Мелиорация и водное хозяйство. – 2003. – №5. –С. 16-19.

78. Ольгаренко, Г. В. Реализация программы импортозамещения в области производства техники полива в Российской Федерации / Г. В. Ольгаренко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – №1–С. 44–47.

79. Ольгаренко, Г.В. Ресурсосберегающие эффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения. Справочник. / Г.В. Ольгаренко, В.И. Городничев, А.А. Алдошкин [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.

80. Оруджева, Н. И. Роль многолетних агроценозов в сохранении плодородия орошаемых почв / Н. И. Оруджева // Почвоведение в России: вызовы современности, основные направления развития: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием к 85-летию Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. – М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2012. – С. 364–367.

81. Отчет организации ООО «Наше дело» за 2020 год.

82. Отчет организации ООО «Наше дело» за 2021 год.

83. Охрана окружающей среды в России. 2020: Стат. сб./Росстат. – 0-92 М., 2020. – 113 с.

84. Патент РФ №2629233. Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Гомберг С.В. Электрифицированная многосекционная дождевальная машина кругового действия // Патент России № 2016146570. Публ. 28.08.2017. Бюл.№25.

85. Патент РФ №26246909. Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Гомберг С.В. Электрифицированная дождевальная машина кругового действия // Патент России № 2016146573. Публ. 12.03.2018. Бюл.№8.

86. Патент РФ №2654341. Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Кузнецов Р.Е., Журавлева Л.А., Гомберг С.В. Многосекционная дождевальная машина кругового действия // Патент России № 2016146578. Публ. 17.05.2018. Бюл.№14.

87. Патент РФ № 2814260. Бенин Д.М., Журавлева Л.А., Гавриловская Н.В., Али М.С., Кузина О.М. Дождевальная машина для прецизионного орошения. Публ. 28.02.2024. Заявка от 18.07.2023.

88. Полезная модель РФ. 173434. Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Гомберг С.В. Дождевальная насадка // Полезная модель России № 2016146563. Публ. 28.08.2017. Бюл.№25.

89. Полезная модель РФ № 173433. Соловьев Д.А., Соловьев В.А., Журавлева Л.А., Кузнецов Р.Е., Гомберг С.В. Дождевальная насадка // Полезная модель № 2016146571. Публ. 28.08.2017. Бюл. №25.

90. Попов, В. Г. Ирригационная эрозия и ее предупреждение при орошении дождеванием на темно-каштановых почвах Заволжья: Автореф. дис. ... канд. с/х. наук. – Саратов, 1990. – 17 с.

91. Попов, В.Г. Ирригационная эрозия и борьба с ней в степи Поволжья: монография / В.Г. Попов. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2003. – 142 с.

92. Практикум по статистике: учебное пособие / А.П. Зинченко, А.Е. Шибалкин, О.Б. Тарасова, Е.В. Шайкина; под ред. А.П. Зинченко. – М.: Колос, 2001. – 392с.

93 Приходько, В. Е. Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность / В. Е. Приходько. – М.: Интеллект, 1996. – 180 с.

94. Пронько, Н. А. Приемы восстановления плодородия почв при орошении / Н. А. Пронько, А. Г. Романова // Плодородие. – 2005. – № 4(25). – С. 31–32.

95. Протокол приемочных испытаний дождевальнoй машины электрифицированной круговой «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) №08-11П-2016 от 11 ноября 2016. – Кинель: ФГБУ «Поволжская государственная зональная машиноиспытательная станция», 2016. – 65с.

96. Романова, Л. Г. Влияние длительного орошения на свойства темно-каштановых почв Заволжья и агромелиоративные приемы их улучшения: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02. – Саратов, 2002. – 23 с.

97. Рекомендации по научно обоснованным технологиям орошения сельскохозяйственных культур кукурузы на зерно, картофеля, лука и моркови современными стационарными широкозахватными круговыми и фронтальными дождевальными машинами Reinke и Valley в условиях центральной орошаемой зоны Ростовской области / под ред. Н.А. Иванова; Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск, 2013. – 30 с.

98. Руководство по определению экономической эффективности новой поливной техники ВТР-0-81. – М., 1981. – 267 с.

99. Руководство по эксплуатации ЭК-100.000РЭ. Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1». Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции ЭК-100.000РЭ. СКБ ДМ «Дождь» – М., 1991. – 99с.

100. Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции. Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД). – Саратов, 2016. – 121с.

101. Руководство по эксплуатации. Техническое описание и инструкции. Машина дождевальная электрифицированная круговая КАСКАД. – Саратов, 2017. – 133с.
102. Рыжко, Н. Ф. Ресурсосберегающие технологии и технические средства полива многоопорными дождевальными машинами в условиях Саратовского Заволжья: дис. ... д-ра.техн. наук. – Саратов, 2012. – 366 с.
103. Рыжко, Н.Ф. Совершенствование дождеобразующих устройств для многоопорных дождевальных машин: монография / Н.Ф. Рыжко. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2009. – 176 с.
104. Рыжко, Н. Ф. Совершенствование поливной техники и повышение качества дождя на примере низконапорной ресурсосберегающей дождевальной машины «Фрегат»: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2002. – 166 с.
105. Рыжко, Н. Ф. Совершенствование технических средств и технологии орошения в Поволжье: монография / Н.Ф. Рыжко. – Саратов: Саратовский источник, 2007. – 110 с.
106. Рыжко, Н.Ф. Оценка и расчет равномерности полива дождевальных аппаратов и дефлекторных насадок / Н.Ф. Рыжко, Е.И. Гуркин, Ю.А. Емельянов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2009. – № 3. – С. 41–45.
107. Рязанцев, А.И. Механико-технологическое обоснование, создание и внедрение многоопорных дождевальных машин с поливом в движении по кругу для сложных почвенно-рельефных условий: дис. ...д-ра техн. наук. – Рязань, 1994. – 253с.
108. Скуратов, Н. С. Использование и охрана орошаемых черноземов / Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева, О. Ю. Шалашова. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2001. – 246 с
109. Смирнов, Е.В. Исследование конструктивно-технологических параметров дождевателей «КАСКАД» / Е.В. Смирнов, В.А. Соловьев, А.Л. Сальников, Л.А. Журавлева // Инновационные перспективы современной науки. Естественные науки. – Астрахань: ФГБОУ ВО АГТУ, 2018. – С. 16-19.

110. Совершенствование дождевальных машин и устройств для мелиоративного комплекса: науч.-практ. изд. Под редак. Н.Ф. Рыжко – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023 – 124 с.

111. Соловьев, Д.А. Влияние режима движения дождевальных машин на норму полива / Д.А. Соловьев, Л.А. Журавлева // Вестник АПК Верхневолжья. – Ярославль, 2018. – № 1. – С. 38-44.

112. Сорокина, О.В. Эксплуатация дождевальных машин «VALLEY» с использованием средств информационно-технологической поддержки /О.В. Сорокина // Наука и молодежь: инновации в современном агропромышленном комплексе. Сб. науч. тр. Вып.3 Новочерк. Инж.-мелиор. Ин-т Донской ГАУ. – Новочеркасск, 2016. – С. 67-71.

113. Стандарт организации испытаний сельскохозяйственной техники: Машины и установки дождевальные. СТО АИСТ 11.1 –2010. Дата введения – 2011–04–15.

114. СТО АИСТ 001–2010. Агротехническая оценка сельскохозяйственной техники. Термины и определения / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2013. – 60 с.

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

116. СТО АИСТ 003–2010. Экономическая оценка сельскохозяйственной техники. Термины и определения / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2013. – 7 с.

117. Сухановский, Ю.П. Модификация методики дождевания стоковых площадок для исследования эрозии почв / Ю.П. Сухановский // Всероссийский НИИ земледелия и почвоведения. ФГУ «Академический научно-издательский производственно полиграфический и книгораспределительный центр «Наука». – 2007. –№2. – С. 215-222.

118. Технические условия ТУ 4734-002-26833660-2016. Дождевальная машина электрифицированная круговая «Кубань – ЛК1М» (КАСКАД). – Саратов, 2016. – 29 с.

119. Технические условия ТУ 4734-002-26833660-2016. Дождевальная машина электрифицированная круговая КАСКАД. – Саратов, 2017. – 33с.
120. Турапин, С.С. Технические средства модернизации дождеобразующего пояса электрифицированных дождевальных машин / С.С. Турапин, А.Н. Жирнов // Природообустройство. – 2011. – №1. – С. 29-33.
121. Филимонов, М.И. Дефлекторно-эжекторные дождевальные насадки для энерго- и ресурсосберегающего орошения / М.И. Филимонов, А.Е. Новиков, М.И. Ламскова // Альманах-2017. – Волгоград. – С.115-122.
122. Фокин, Б. П. Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин / Б.П. Фокин, А. К. Носов // Научное издание. – Ставрополь, 2011. – 80 с.
123. Фокин, Б. П. Повышение эффективности полива многоопорными дождевальными машинами: дис. ... д-ра техн. наук. – Ставрополь, 2002. – 313 с.
124. Хабаров, В. Е. Потери воды на испарение и снос ветром при дождевании / В. Е. Хабаров // Рациональное использование и охрана природных ресурсов: сб. науч. тр. Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1980. – С. 28–36.
125. Черноволов, В.А. Математическое моделирование процессов распределения жидкостей в агротехнологиях: монография / В.А. Черноволов, Л.В. Кравченко. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт, ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2016. – 208с.
126. Черноволов, В.А. Моделирование процесса дождевания машинами фронтального действия с секторными насадками / В.А. Черноволов, Л. В. Кравченко // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – №100 (06). – С. 1-11.
127. Черноволов, В.А. Распределение воды по секторам дефлекторными насадками дождевальных машин / В.А. Черноволов, Л. В. Кравченко // Разработка технического оснащения производства продукции животноводства. – Зеленоград: ВНИПТИМЭСХ, 2003.
128. Щедрин, В.Н. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография в 2ч. / В.Н Щедрин, А.В Колганов. – Новочеркасск, 2013. – 283с.

129. Щедрин, В.Н. Негативные почвенные процессы при регулярном орошении различных типов почв / В.Н. Щедрин, Л.М. Докучаева, Р.Е. Юркова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации– Новочеркасск, 2018, №2. – С.1-21.

130 Щедрин, В. Н. Теория и практика альтернативных видов орошения черноземов юга европейской территории России: монография / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 435 с.

131. Bradley A. King. Optimal Performance from Center Pivot / A. King Bradley , C. Dennis // Copyright © 1997 University of Idaho College of Agriculture .Cooperative Extension System 1 Agricultural Experiment Station, 1997. – P.20.

132. Catalog–Komet–Pivot–5–Features.Komet Austria GmbH. [Электронный ресурс]. –Режимдоступа: www.kometirrigation.com– (Дата обращения: 19.03.2018).

133. Catalog–Irrifrance. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.irrifrance.com– (Дата обращения: 20.03.2018).

134. Egorov V.V. Crisis Phenomena During Irrigation/ V.V Egorov// Soil Study. – 1988 . – № 1. – pp. 30-32.

135 Khaled A. Shalabi, Yasser E. Arafa. A Developed Simple Spreadsheet for Center Pivot Irrigation System Design/ A. Shalabi Khaled, E. Arafa Yasser// International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). Vol. 5 Issue 05, May-2016.

136. PivotPP2EG. Nelson. Решения для механизированного орошения. Оросительное оснащение для дождевальных машин.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: nelsonirrigation.com– (Дата обращения: 23.01.2023).

137. Zhuravleva L.A. Design Features of wide Span sprinkling Machines Journal of Machinery Manufacture and Reliability/ L.A Zhuravleva//. – 2024. Т. 53. № 1. – pp. 51-58.

138. Zhuravleva L.A. Intelligent Control System Wide-reach Sprinklers Circular Action/ L.A. Zhuravleva// II International scientific and practical conference "Improving energy efficiency, environmental safety and sustainable development in agriculture" (EESTE-II-2022). BRISTOL, UK, 2023. – С. 12004.

139. Zhuravleva L.A. Technical and Technological Solutions for Environmentally safe Irrigation with Wide Reach sprinklers/ L.A. Zhuravleva // E3S Web of Conferences. Les Ulis Cedex A, France, 2023. – C. 02012.

140. Zhuravleva L.A. Improving the Patency of sprinkler Machines on Moistened soil on the basis of experimental and theoretical Studies of the System "Irrigation rate-Soil-sprinkler Machine"/ L.A. Zhuravleva, I.A. Popkov// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. DAICRA , 2022. – C. 012003.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Программа расчета на языке программирования C #

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace irrigation_Project
{
    public partial class irrigation_Project : Form
    {
        public irrigation_Project()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void irrigation_Project_Load(object sender, EventArgs e)
        {
        }

        private void label_sector_Click(object sender, EventArgs e)
        {
        }

        private void textBox_area_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
        }

        private void textBox_general_rate_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
        }
    }
}
```

```
private void textBox_flow_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{

}

private void textBox_average_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{

}

private void textBox_slip_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{

}

private void textBox_sector_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{

}

private void textBox_cycle_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{

}

private void richTextBox_Sector_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{

}

private void richTextBox_results_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{

}

private void textBox_area_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    if (!char.IsControl(e.KeyChar) && !char.IsDigit(e.KeyChar) &&
(e.KeyChar != '.'))
    {
        e.Handled = true;
    }
}
```

```

// only allow one decimal point
if ((e.KeyChar == '.') && ((sender as TextBox).Text.IndexOf('.') > -1))
{
    e.Handled = true;
}
}

private void textBox_general_rate_KeyPress(object sender,
KeyPressEventArgs e)
{
    if (!char.IsControl(e.KeyChar) && !char.IsDigit(e.KeyChar) &&
(e.KeyChar != '.'))
    {
        e.Handled = true;
    }

    // only allow one decimal point
    if ((e.KeyChar == '.') && ((sender as TextBox).Text.IndexOf('.') > -1))
    {
        e.Handled = true;
    }
}

private void textBox_flow_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    if (!char.IsControl(e.KeyChar) && !char.IsDigit(e.KeyChar) &&
(e.KeyChar != '.'))
    {
        e.Handled = true;
    }

    // only allow one decimal point
    if ((e.KeyChar == '.') && ((sender as TextBox).Text.IndexOf('.') > -1))
    {
        e.Handled = true;
    }
}

private void textBox_average_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    if (!char.IsControl(e.KeyChar) && !char.IsDigit(e.KeyChar) &&
(e.KeyChar != '.'))
    {
        e.Handled = true;
    }
}

```

```

    }

    // only allow one decimal point
    if ((e.KeyChar == '.') && ((sender as TextBox).Text.IndexOf('.') > -1))
    {
        e.Handled = true;
    }
}

private void textBox_slip_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    if (!char.IsControl(e.KeyChar) && !char.IsDigit(e.KeyChar) &&
(e.KeyChar != '.'))
    {
        e.Handled = true;
    }

    // only allow one decimal point
    if ((e.KeyChar == '.') && ((sender as TextBox).Text.IndexOf('.') > -1))
    {
        e.Handled = true;
    }
}

private void textBox_sector_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    if (!char.IsControl(e.KeyChar) && !char.IsDigit(e.KeyChar) &&
(e.KeyChar == '.'))
    {
        e.Handled = true;
    }

    // only allow one decimal point
    if ((e.KeyChar == '.') && ((sender as TextBox).Text.IndexOf('.') > -1))
    {
        e.Handled = true;
    }
}

private void textBox_cycle_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    if (!char.IsControl(e.KeyChar) && !char.IsDigit(e.KeyChar) &&
(e.KeyChar == '.'))
    {

```

```

    e.Handled = true;
}

// only allow one decimal point
if ((e.KeyChar == '.') && ((sender as TextBox).Text.IndexOf('.') > -1))
{
    e.Handled = true;
}
}

private void button_cal_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (
        textBox_area.Text == "" ||
        textBox_general_rate.Text == "" ||
        textBox_flow.Text == "" ||
        textBox_average.Text == "" ||
        textBox_slip.Text == "" ||
        textBox_sector.Text == "" ||
        textBox_cycle.Text == ""
    )
    {
        MessageBox.Show("You must fill in the fields");
    }
    else
    {
        double area = double.Parse(textBox_area.Text);
        double rate = double.Parse(textBox_general_rate.Text);
        double flow = double.Parse(textBox_flow.Text);
        double average = double.Parse(textBox_average.Text);
        double slip = double.Parse(textBox_slip.Text);

        int sectors = Convert.ToInt16(textBox_sector.Text);
        int cycles = Convert.ToInt16(textBox_cycle.Text);

        double areaEachSector;
        double raduis;
        double sectorArc;
        string result = "";

        areaEachSector = (area) / (sectors);
        raduis = Math.Round((Math.Sqrt(area / Math.PI)), 2);
        sectorArc = Math.Round(((2 * Math.PI * raduis) / sectors), 2);
    }
}

```

```

    richTextBox_Sector.Text = "Sector Area = " + areaEachSector + " m^2"
+ "\r\n" +
    "Area Raduis = " + raduis + " m" + "\r\n" +
    "Sector Arc = " + sectorArc + " m";

    double averageE = (average * areaEachSector) / 24000;
    double tconstant = areaEachSector / (flow - (areaEachSector * 0.0001 *
averageE));

    double[,] t = new double[cycles, sectors];
    double[,] m = new double[cycles, sectors];
    double[,] v = new double[cycles, sectors];
    double[,] w = new double[cycles, sectors];

    double tempadd = 0.0;
    double tempsub = 0.0;

    for (int i = 0; i < cycles; i++)
    {
        for (int j = 0; j < sectors; j++)
        {
            tempadd = 0;
            tempsub = 0;

            if (j > 0)
            {
                for (int k = 0; k < j; k++)
                {
                    tempadd += t[i, k];
                }
            }

            if (i > 0)
            {
                for (int l = 0; l < i; l++)
                {
                    for (int h = 0; h <= j; h++)
                    {
                        tempsub += t[l, h];
                    }
                }
            }
        }
    }

```

```

t[i, j] = tconstant * (rate + (averageE * (tempadd - tempsub)));

m[i, j] = (flow * t[i, j]) / areaEachSector * 0.0001;

v[i, j] = (slip * sectorArc) / (60 * t[i, j]);

w[i, j] = rate + averageE * (tempadd - tempsub + t[i, j]);

    }
}

for (int i = 1; i <= cycles; i++)
{
    result +=
        "-----Cycle (" + i + ")-----\r\n";
    for (int j = 1; j <= sectors; j++)
    {
        result +=
            "-----Sector (" + j + ")-----\r\n" +
            "t[" + i + "][" + j + "] = " + Math.Round(t[i - 1, j - 1], 3) + "
hours\r\n" +
            "M[" + i + "][" + j + "] = " + Math.Round(m[i - 1, j - 1], 3) + "
m^3/Hectare \r\n" +
            "v[" + i + "][" + j + "] = " + Math.Round(v[i - 1, j - 1], 3) + "
m/minute\r\n" +
            "W[" + i + "][" + j + "] = " + Math.Round(w[i - 1, j - 1], 3) + "
m^3/Hectare\r\n";
    }
    result += "-----\r\n";
}

richTextBox_results.Text = result;
}

}

private void button_reset_Click(object sender, EventArgs e)
{
    textBox_area.Text = "";
    textBox_general_rate.Text = "";
    textBox_flow.Text = "";
    textBox_average.Text = "";
    textBox_slip.Text = "";
    textBox_sector.Text = "";
}

```

```
    textBox_cycle.Text = "";

    richTextBox_Sector.Text = "";
    richTextBox_results.Text = "";

}

private void label_area_Click(object sender, EventArgs e)
{

}

private void button_cal_MouseHover(object sender, EventArgs e)
{

}

private void button_reset_MouseHover(object sender, EventArgs e)
{

}
}
}
```

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2826310

Дождеватель

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева"* (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева) (RU)

Авторы: *Журавлева Лариса Анатольевна (RU), Аллиаб Анас (RU), Хеирбеик Бассел (RU)*

Заявка № 2024102421

Приоритет изобретения **31 января 2024 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **09 сентября 2024 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **31 января 2044 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ДОКУМЕНТ ПЕЧАТАННЫЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Системный оператор Ю.С. Зубов
Исполнитель Ю.С. Зубов Ю.С. Сергеев
Документ от 09.09.2024 № 01512102421

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2826309

Дождеватель

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева) (RU)*

Авторы: *Журавлева Лариса Анатольевна (RU), Алдиаб Анас (RU), Хеирбеик Бассел (RU)*

Заявка № 2024104286
Приоритет изобретения **20 февраля 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **09 сентября 2024 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **20 февраля 2044 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Сетевая организация «Информационно-аналитический центр
«Зубов Ю.С. и Сетевые Технологии»
Должность: Руководитель

Ю. С. Зубов





ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ 2023

XXV РОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ
БРОНЗОВОЙ МЕДАЛЬЮ

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева
г. Москва

**«За разработку технико-технологических решений и рекомендаций
по сохранению плодородия почв подверженных водной эрозии»**

МИНИСТР СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.Н. ПАТРУШЕВ

«УТВЕРЖДАЮ»
Глава крестьянско-фермерского хозяйства
Бахтин Михаил Александрович

«8» сентября 2023 г

АКТ внедрения
научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева в лице научного руководителя работы, д.т.н. Журавлевой Ларисы Анатольевны, аспирантов Алдиаб Анас, Хеирбенк Бассел и представители крестьянско-фермерского хозяйства в лице главы КФХ Бахтина М.А. и инженера Михайлова А.И., составили настоящий акт в том, что сотрудниками ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева внедрена в производство технология дифференцированного полива при выращивании кукурузы и сои.

Средняя урожайность кукурузы на силос за три года на участках полива по оптимизированной технологии в среднем выше на 6,4 т/га, чем на участках полива по технологии полива единой нормой

Представители
ФГОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева:

Л.А. Журавлева

Анас Алдиаб

Бассел Хеирбенк

Председатель комиссии, глава КФХ



«УТВЕРЖДАЮ»
Глава крестьянско-фермерского хозяйства
Бахтин Михаил Александрович

«25» августа 2023 г

АКТ
о внедрении законченной научно-исследовательской,
опытно-конструкторской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представитель ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в лице руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы

д.т.н., профессора Журавлевой Л.А.

и исполнителей *аспиранта Хеирбеик Бассел, Алдиаб Анас*

и представитель (наименование организации, предприятия)

в лице *главы КФХ Бахтина М.А.* составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы на тему

Обоснование технологических и технических решений для снижения непроизводительных потерь воды выполненной

в 2020-2023 г.г. внедрены (организации, предприятия) *в* КФХ Бахтина М.А. путем (указать каким образом внедрена работа) *выдачи рекомендаций.*

Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект _____

Использование предлагаемой технологии полива дифференцированным внесением поливных норм в соответствии с уровнем влагозапасов участков поля на момент их полива обеспечивает экономию до 10 % оросительной воды.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению _____

Разработать номенклатурный ряд перенастраиваемых, регулируемых дождевателей на разные эксплуатационные условия.

Научный руководитель работы

Представитель предприятия



Л.А. Журавлева



А.И. Михайлов

«__» _____ 200__ г.

«__» _____ 200__ г.

Председатель комиссии, глава КФХ




Бажин

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

1. Наименование организации, где осуществлено внедрение технических решений по усовершенствованию дождевальной машины кругового действия ООО «Мелиоративные машины», г. Саратов.
2. Шифр работы, наименование мероприятия
2.3Повышение экологической безопасности полива широкозахватными дождевальными машинами
3. Наименование научной организации, проводящей научную разработку и опытное освидетельствование внедряемого мероприятия
Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова РГАУ -МСХА имени К.А. Тимирязева.

Научный руководитель, д.т.п., проф. Журавлева Л.А., отв. исполнитель соискатель Нгуен Ван Тхуан, аспиранты Хеирбеик Бассел, Алдиаб Анас.
4. Срок начала внедрения мероприятия
апрель 2021 г. – август 2021 г. Марка машины -ДМ Кубань-ЛК1М (КАСКАД)
5. Краткая характеристика и новизна внедряемого мероприятия
С целью обеспечения качества и экологической безопасности полива внедрялась дифференцированная технология полива.
6. Результаты. Экономия воды при поливе дифференцированной технологией 3-7 % от оросительной нормы. Общая экономия на машину 177916 руб.

Выводы и рекомендации.

Следует разработать рекомендации по технологии полива с учетом изменения скоростей движения и расхода ДМ.

Директор
ООО «Мелиоративные машины»



С.В. Гомберг

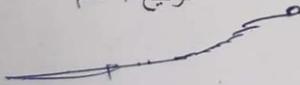
إلى من يهمه الأمر

بعد الاطلاع على نتائج بحث طالب الدكتوراه أنس الدياب بعنوان (مبررات الحلول التكنولوجية الموفرة للمياه باستخدام آلات الري المحورية واسعة النطاق) بإشراف البروفيسورة لاريسا أناتولفنا جورافلوا في الجامعة الزراعية الحكومية الروسية - أكاديمية موسكو الزراعية (تمريازيف) - معهد استصلاح الأراضي وإدارة المياه والبناء (كوستيكوف).

نود أن تعلمكم بأن الحلول التكنولوجية المتبعة من أجل رفع كفاءة عملية الري والتي تؤدي الى توفير المياه وزيادة الغلة الزراعية المقترحة في هذا البحث تعتبر حلول فعالة ويمكن الاستفادة منها في تدريب الكوادر العلمية والفنية لدينا ويمكن تطبيقها على أراضي الجمهورية العربية السورية.

اسم مالك الشركة

توقيع + ختم



UNCOB

الشركة الوطنية المتحدة للتطوير

دمشق - س. ٥٤٠٠٢٤