

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

ЖУРАВЛЕВА ЛАРИСА АНАТОЛЬЕВНА
БАЛАБАНОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ



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

Монография

Москва – 2025

УДК 63
Ж 91

Рецензенты:

Д.т.н., профессор кафедры технических систем, теории и методики образовательных процессов ГОУ ВО Московской области «Государственный социально-гуманитарный Университет» (г. Коломна)

А.И. Рязанцев

К.т.н., доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины» ФГБОУ ВО СГУГБИ имени Н.И. Вавилова

О.В. Кабанов

Ж 91 Журавлева Л.А. «ОБОСНОВАНИЕ ВОДОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОЛИВЕ ШИРОКОЗАХВАТНЫМИ ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ»: монография / Л.А. Журавлева, В.И. Балабанов – Москва: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2025 г. –114 с .

ISBN 978-5-00207-874-5

В монографии представлены исследования водосберегающих технологий полива широкозахватными дождевальными машинами. Дана оценка эффективности применения дифференцированных агротехнологий.

Монография представляет интерес как для фермеров, внедряющих дифференцированные агротехнологии, так и для крупных агрохолдингах, НИИ, предприятий аграрного сектора, предприятий занимающихся конструированием и проектированием техники полива, студентам, магистрам и аспирантам, занятым проектированием оросительных комплексов.

ISBN978-5-00207-874-5

© Журавлева Л.А. 2025

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени
Тимирязева К.А.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА И ПРОБЛЕМЫ ОРОШЕНИЯ В РФ.....	6
2 НАПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ДЛЯ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.....	16
3 НЕГАТИВНЫЕ ПОЧВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РЕГУЛЯРНОМ ОРОШЕНИИ.....	25
4 СХЕМЫ ДВИЖЕНИЯ И РЕЖИМЫ ПОЛИВА	42
5 ВЛИЯНИЕ УКЛОНА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛИВА.....	46
6 УСЛОВИЯ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА. УПРАВЛЕНИЕ ПОЛИВАМИ.....	49
7 ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ	55
8 ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ.....	65
9 СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАНДАРТНОЙ И ПРЕДЛАГАЕМОЙ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛИВА.....	84
10 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИНЫ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛИВА.....	90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	99
ЛИТЕРАТУРА.....	100

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].

Для успешного развития сельского хозяйства и стабильного получения высоких урожаев в большинстве регионов Российской Федерации необходимо дополнительное к естественной влажности орошение.

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.

Принципиально важными, определяющими качество работы и водосбережение служит равномерность распределения воды по площади орошения без поверхностного стока, сохранение структуры почвы.

Дождевальные машины большой длины и при больших нормах полива проходят круг за неделю и более, при этом последний сектор поливного круга поливается со значительным опозданием или при пониженном нижнем пороге влажности. Поэтому зачастую начало первого полива назначают с определенным опережением расчетного срока, и это предполагает некоторое превышение поливной нормы на первом секторе поливного круга, что приводит к перерасходу поливной воды. Кроме того, это способствует водной эрозии, выносу питательных веществ из почвы с поверхностным стоком, засолению и заболачиванию, перерасходу электроэнергии. Полив с постоянной нормой не всегда соответствует значению недостающей влаги и его применение было оправдано недостаточными техническими возможностями дождевальной техники.

Повышение качества орошения, обеспечение ресурсосбережения может быть достигнуто путем изменения поливной нормы в соответствии с уровнем влагозапасов участков поля на момент их полива.

1 СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА И ПРОБЛЕМЫ ОРОШЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На протяжении последних нескольких десятилетий в Российской Федерации наблюдалось ежегодное сокращение площади сельскохозяйственных угодий.

В частности, к 2010 году площадь уменьшилась до 1947,6 тыс. га. Площадь земель, используемых под пашню за этот период времени сократилась на 10,5 млн. га [35].

Результаты статистических исследований подтверждают тенденцию ежегодного уменьшения площади земель, занятых сельскохозяйственными угодьями. В 1990 году земли сельскохозяйственного назначения составляют 639 млн. га, в 2000 году – 406 млн. га, в 2010 году – 393 млн. га, а в 2020 г – 380 млн. га. Орошаемые сельскохозяйственные угодья занимали площадь 4,2 млн. га [35].

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% от всех мировых сельскохозяйственных угодий Россия производит только 1,1% валовой продукции [3].

За период времени с 1990 года площадь деградированных 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. Орошаемых земель из них 4,6 млн. га [3].

Хорошее мелиоративное состояние земель можно отметить на 2,9 млн. га угодий, удовлетворительное – на 3,5 млн. га, а неудовлетворительное – на 2,6 млн. га. [35].

Большая часть орошаемых земель расположена на юге России. Это Краснодарский и Ставропольский край, Ростовской и Астраханская области. Мелиоративное состояние этих регионов можно характеризовать как хорошее или благополучное.

Состояние земель северо-запада России в большей степени неудовлетворительное.

Площадь смытых почв составила 53,5% от всех сельскохозяйственных угодий. И 15% признано потенциально опасными в проявлении водной эрозии [3].

Структура орошаемых земель представлена на рисунке 1.1.

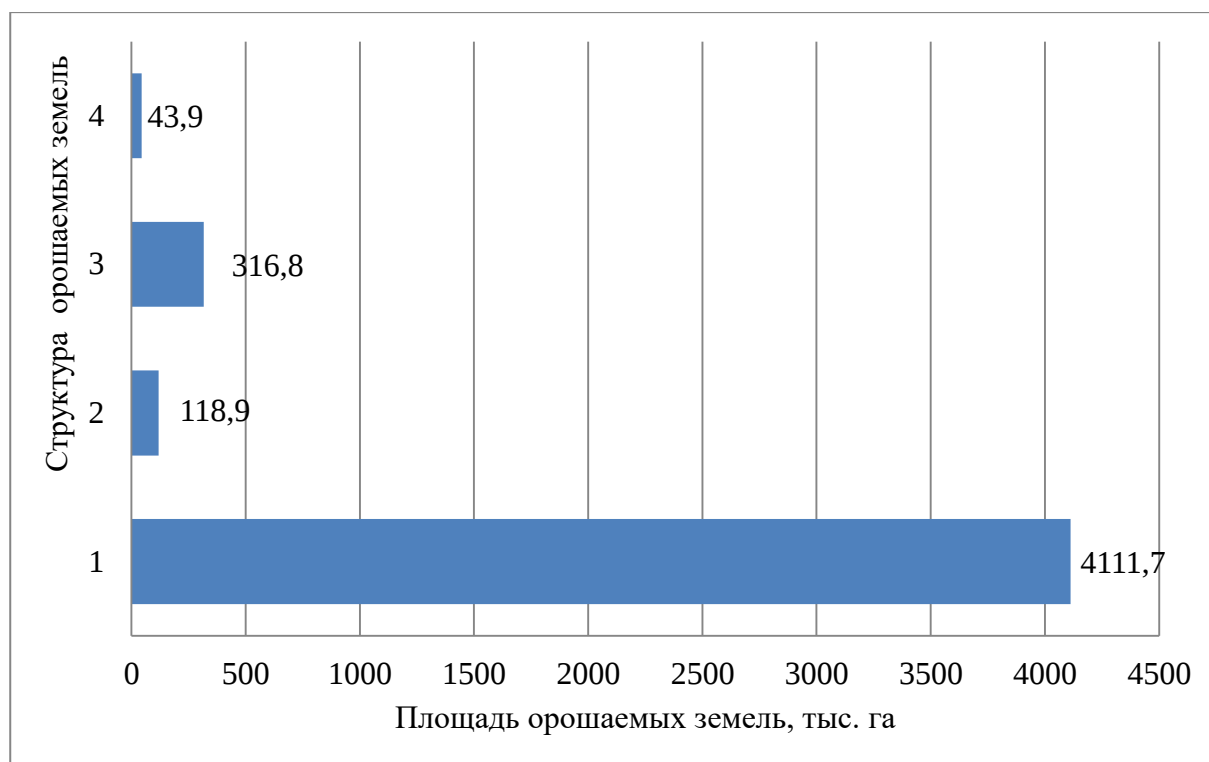


Рисунок 1.1 – Структура орошаемых земель: 1- пашня, 2-многолетние насаждения, 3-кормовые угодья, 4- залежь.

В период с 1990 года к 2022 году площадь орошаемых земель уменьшилась до 4,7 млн. га [3].

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

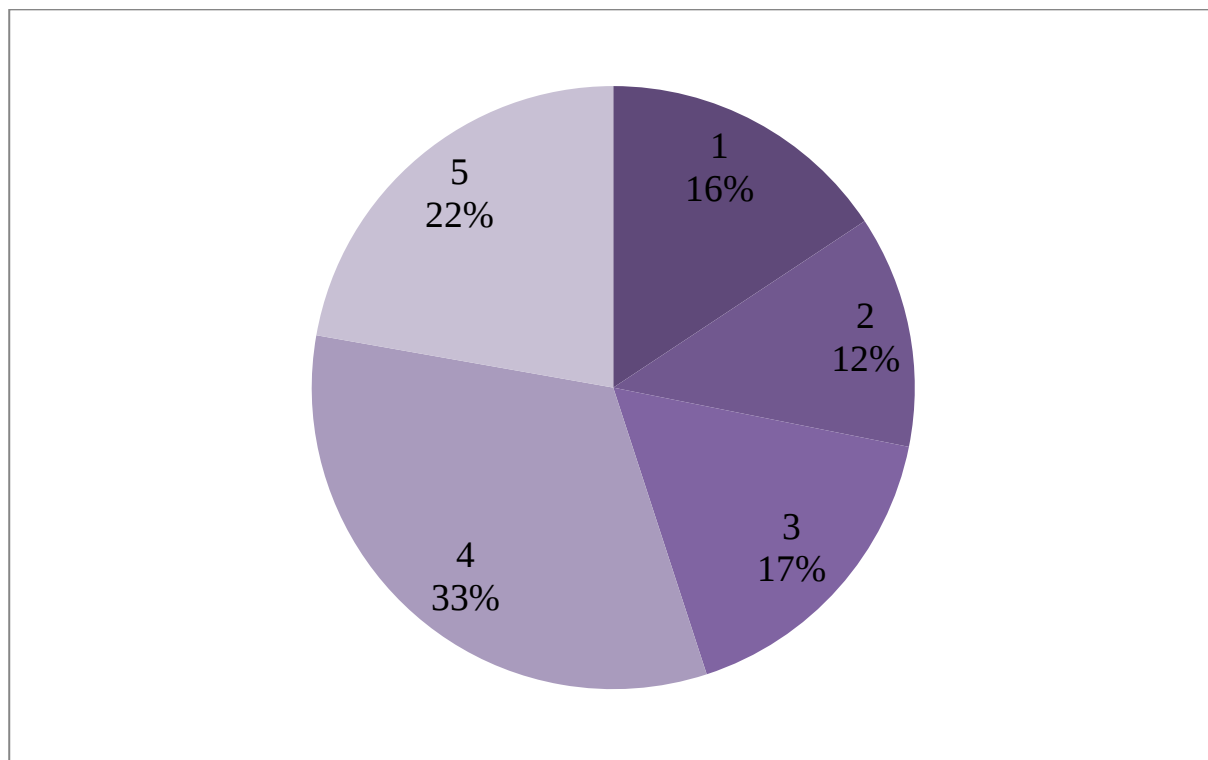


Рисунок 1.2 – Структура орошаемых площадей: 1- зерновые культуры, 2- рис, 3-овощи, 4 –кормовые культуры, 5- прочие культуры.

Наиболее значимой причиной сокращения площадей сельскохозяйственных угодий является прекращение деятельности предприятий и перевод освободившихся земель в фонд перераспределения [35]. Другая причина – не возобновление права аренды земель после истечения срока.

За анализируемый период с 2009 по 2010 гг. увеличение площадей сельскохозяйственных угодий произошло: в Астраханской области (91 тыс. га), Приморском крае (52 тыс. га), Ставропольском крае (43 тыс. га) краях, Курганской (38 тыс. га), Амурской (33 тыс. га) и Пензенской (28 тыс. га) областях [4].

Другая проблема заключалась в том, что из-за нехватки финансовых ресурсов у сельскохозяйственных производителей не были приняты меры по поддержанию и повышению плодородия почв, а также не были внедрены процедуры по внедрению агротехнологий, пестицидов, рекультивационных, фитосанитарных мер и мер по борьбе с эрозией, что привело к снижению и деградации продуктивности земель [4].

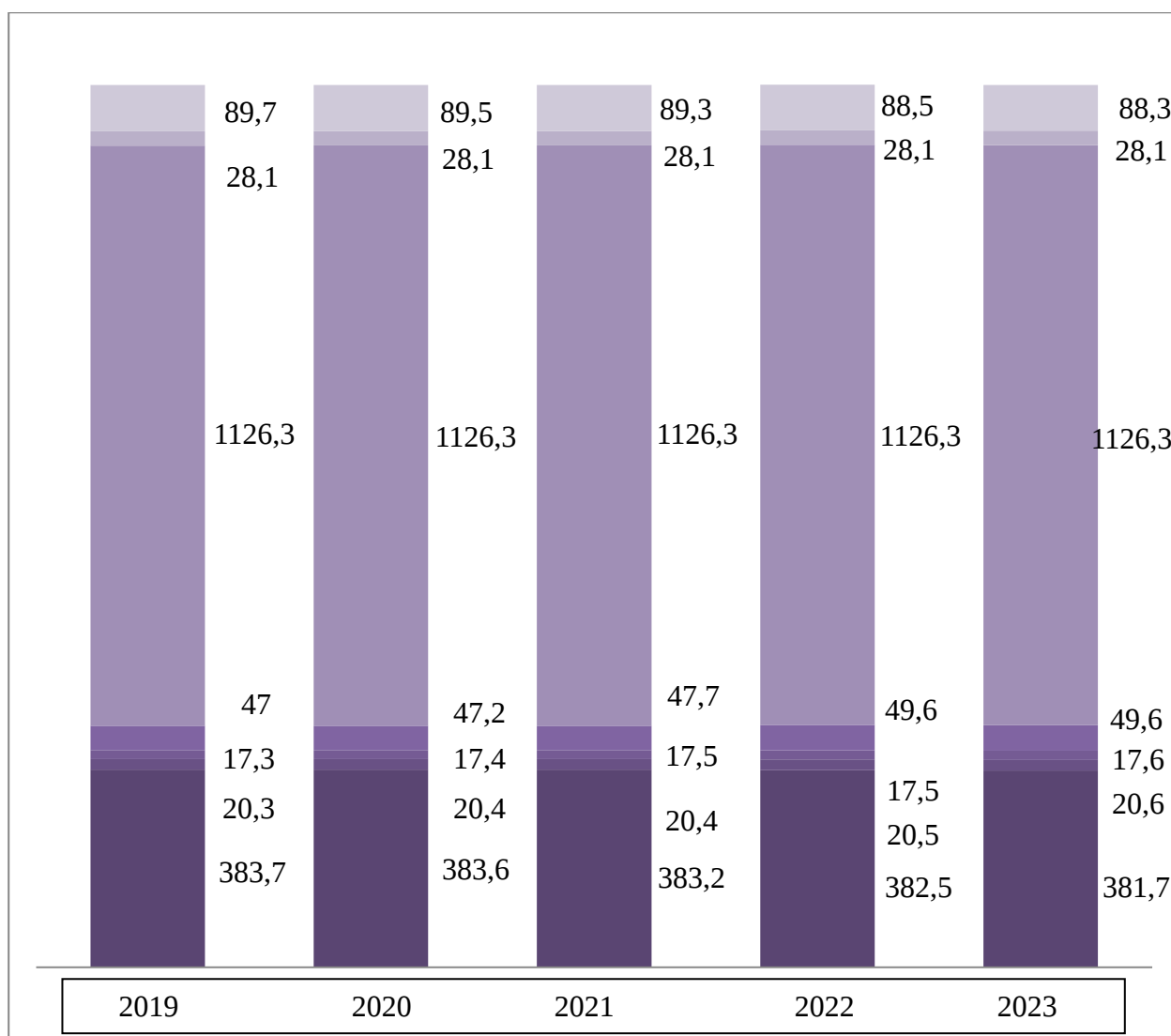
Распределение земельного фонда по категориям представлено на рисунке 1.3. Динамика площади мелиорируемых земель по данным Росреестра – таблица 1.1, показывает также небольшое снижение орошаемых площадей и рост площади земель, находящихся в неудовлетворительном состоянии.

Площади сельскохозяйственных угодий, подверженных ветровой и водной эрозии, переувлажнению, в общей площади обследованных сельскохозяйственных угодий (по данным Минсельхоза России) представлены на рисунке 1.4, состояние земель и характеристики на рисунке 1.5-1.6 [4].

Площади сельскохозяйственных земель РФ, подверженные эрозионным процессам: Северо-Кавказский регион -27,4%, Поволжский регион – 26,7%, Северный -5,5%, Северо-Западный -6,4%, Центрально-Черноземный -26,5%, 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].



Земли сельскохозяйственного назначения
 населенных пунктов
 промышленности, энергетики, транспорта, связи и иного
 специального назначения
 особо охраняемых территорий и объектов
 лесного фонда
 водного фонда
 запаса

Рисунок 1.3 - Распределение земельного фонда, миллионов гектаров

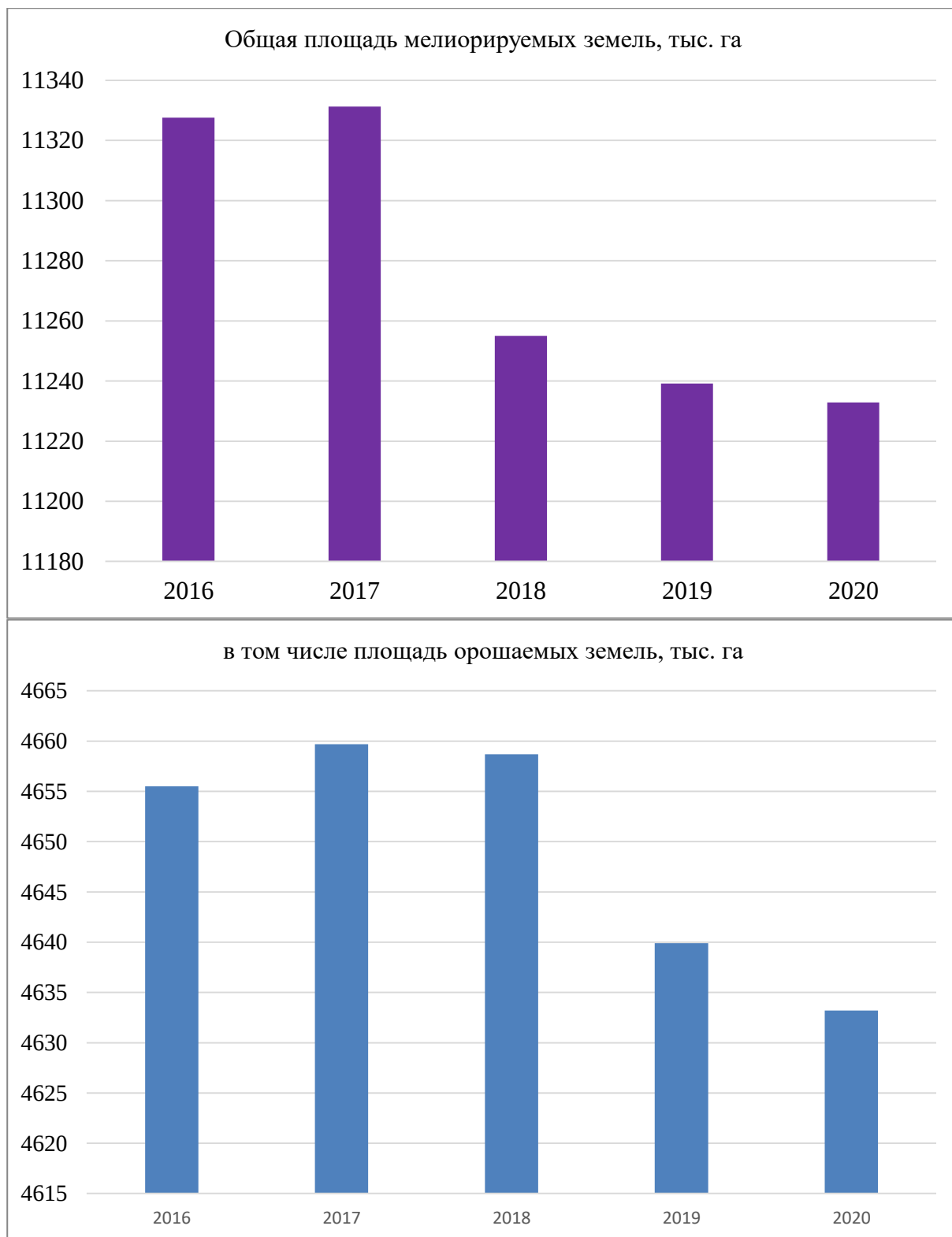


Рисунок 1.4 – Общая площадь мелиорируемых земель и орошаемых земель, тыс. га



Рисунок 1.5 – Состояние орошаемых земель, тыс. га

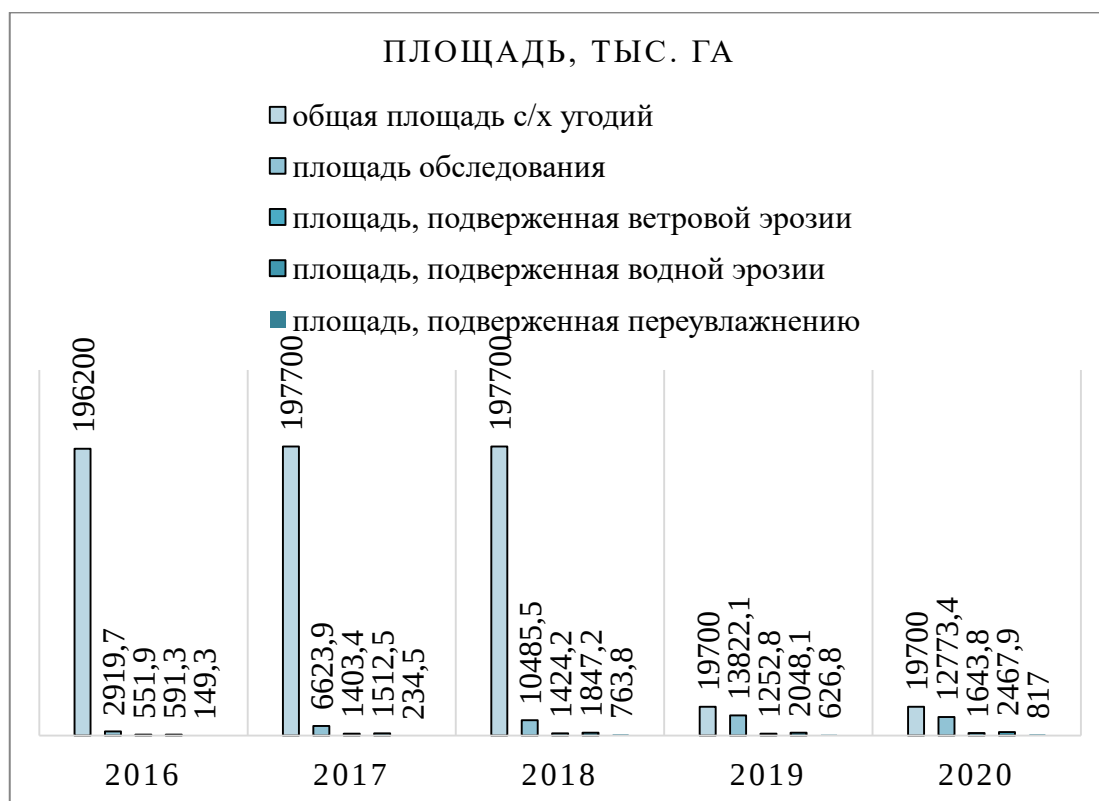


Рисунок 1.6 – Характеристики орошаемых земель, тыс. га



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.

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.

Всего, в 2020 году, в Российской Федерации было около 11,86 тыс. дождевальных машин. Из них российского производства 5170 единиц, (43,5%). ДМ «Кубань»- 113 единиц, «Фрегат» - 2772 единицы, рис. 1.8 [4].

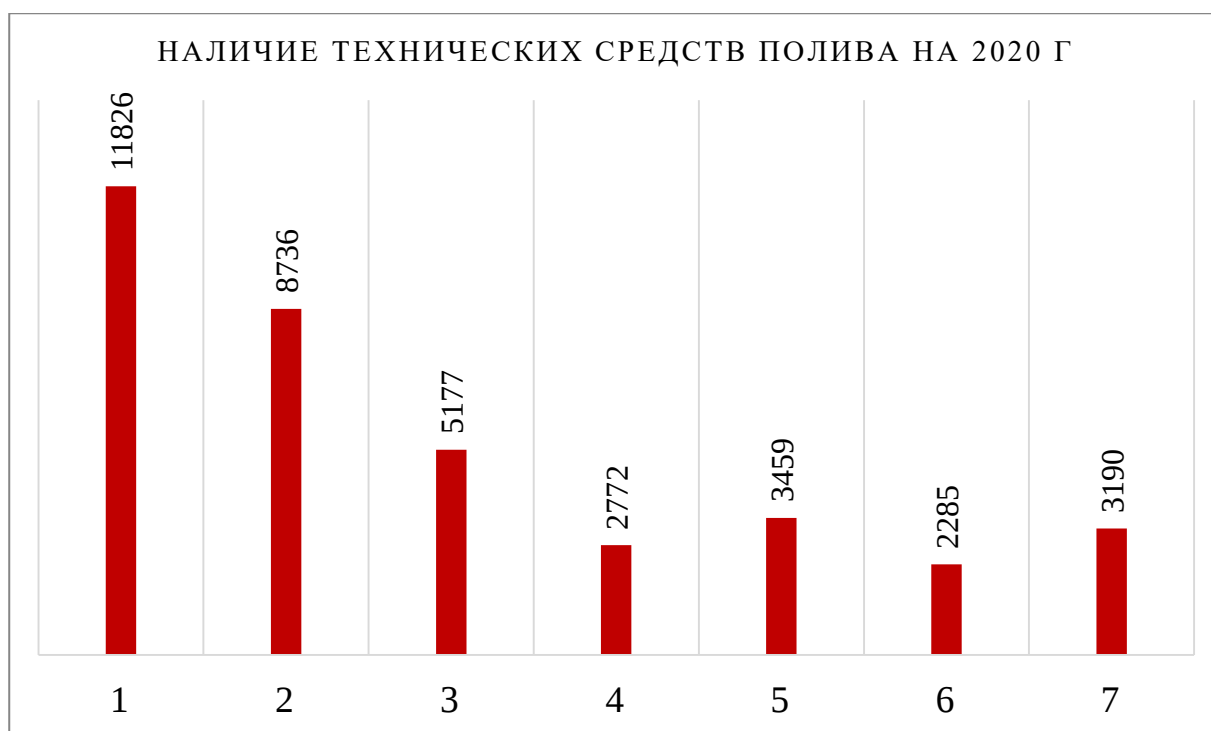


Рисунок 1.8 – Наличие дождевальных машин (тыс. ед.) по видам на 2020 г: 1- всего оросительной техники; 2- всего ДМ; 3- отечественного производства; 4-кругового действия; 5-импортного производства 6 – многоопорные; 7-капельный полив.

Принимая во внимание опыт реализации программ развития мелиоративного комплекса в 2014-2019 годах, можно прогнозировать, что и далее в среднем будет вводиться в эксплуатацию не менее 80,0-90,0 тыс. га орошаемых земель в год. Поэтому необходимость обновления существующего парка дождевальной техники заключается в ежегодном обновлении на 10% от текущего, рис. 1.9 [4].

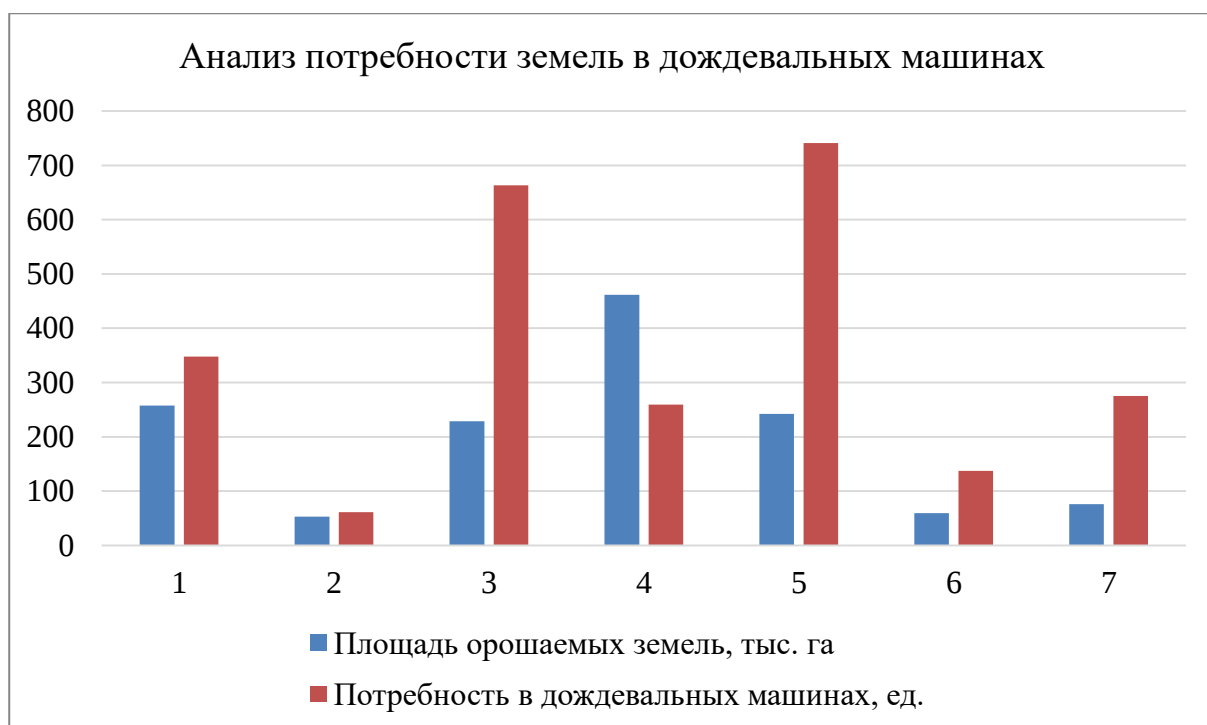


Рисунок 1.9 -Анализ потребности земель в дождевальных машинах: 1-Саратовская область, 2-Волгоградская область, 3-Ростовская область, 4-Краснодарский край, 5-Ставропольский край, 6-Пензенская область, 7-Воронежская область

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, а соответственно, на насосной станции должно быть обеспечено давление 1,0-1,2 МПа [1, 2, 17, 41, 77, 102].

Например, известно, что снижение давления с 0,7 до 0,45 МПа может снизить давление на насосной станции на 16%, а годовое энергопотребление - на 13% [104, 105].

Согласно [104], энергоемкость водоснабжения достигает 180 кВт ч. Потребляемая мощность для перекачки 1000 м³ воды составляет 350 кВт ч. Насосные станции, работающие с машинами «Фрегат» на подачу 1000 м³ воды расходуют 500-570 кВт ч.

Общим недостатком ДМ низкого давления "Фрегат" был недостаточный расход воды, значительное увеличение времени полива и трудности в увеличении скорости перемещения.

"Волжнийгим" представил несколько конструктивно-технологических разработок, позволяющих снизить рабочее давление в сети на 25-30%. Установлено, что энергозатраты на орошение при переоборудовании ДМ "Фрегат" снижаются до 1098 кВт ч/га.

Помимо снижения энергозатрат, снижаются потери воды, но качество орошения ухудшаться [41, 104, 105].

В настоящее время низконапорная дождевальная техника — это общемировая тенденцией.

Например, в США число низконапорных дождевальных машин составляет порядка 40% [41].

Новые модификации «Фрегат» изначально спроектированы на работу при низком давлении 0,25-0,3 МПа, расходе 80-90 л/с и длине машины 440 м [42].

ДМ кругового действия «Valley», «Zimmatik», T-L IRRIGATION, Reinke Manufacturing Company работают при давлении 0,28-0,45 МПа [41, 42, 48, 53, 54].

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.

Водосбережение зависит от многих факторов, к числу основных можно отнести: равномерность распределения дождя по площади полива и крупности капель [31, 38, 41, 42, 102]; потери воды на испарение и снос ветром [6, 14, 17, 19, 30, 42, 45, 102, 106].

Современные отечественные и зарубежные исследования показывают, что одним из основных конструктивных решений, обеспечивающих снижение потерь воды на испарение и снос является применение устройств приповерхностного дождевания [124].

Устройство приповерхностного полива позволяет регулировать высоту установки дождевателя от 0,45 до 3 м от поверхности почвы в зависимости от высоты поливаемой культур [45, 75, 102- 105].

В Поволжье впервые была разработана система приповерхностного полива для ДМ типа "Фрегат", "Кубань-ЛК" снижающая высоту дождевого облака до

1,1-1,7 м над поверхностью земли, снижает потери воды на испарение и снос ветром с 10-22% до 4-10% [45, 102- 105].

С целью повышения качества полива МДЭК Кубань-ЛК1 была оснащена комплектом для экологически безопасного полива, который, обеспечивая: капли диаметром 0,8–1 мм и снижающий воздействие на почву и растения в среднем на 33% [42, 107]. Разработка позволяет увеличить достаточную норму орошения для различных типов почв, в том числе с низкой водопроницаемостью, на 25-30%.

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 с точки зрения земельных ресурсов является коэффициент земельного использования. Чем меньше величина

отчуждения под колею колес опорных тележек и коммуникации, трубопроводные системы, тем выше коэффициент и совершеннее вся система.

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, но приводит к усложнению конструкции [102-104].

Коэффициент земельного использования можно увеличить:

- применяя устройства для полива углов, установкой дождевальных аппаратов на конце трубопровода с автоматическим их включением в определенный момент времени;

- при рациональном планировании поливаемых участков.

В последние годы большие поливные площади характеризуются дроблением на участки, имеющие разных собственников, обрабатываемые разными технологиями. Нередко одной машиной орошается несколько культур, рис. 1.10.

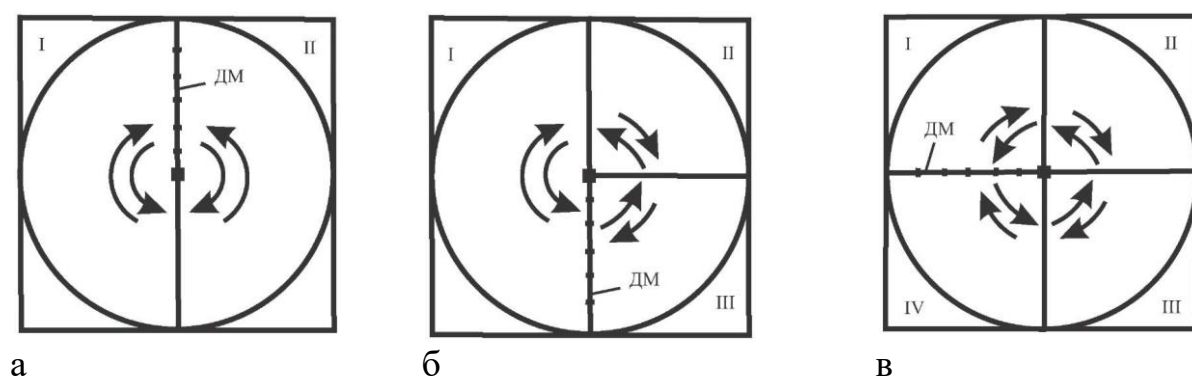


Рисунок 1.10 – Схемы полива: а – поля с двумя культурами; б – с тремя; в – четыре культуры

Повысить эффективность использования дождевальной машины на участках сложной конфигурации можно разделяя участок пополам или на сектора.

Поэтому наиболее важным требованием, предъявляемым к машине, является ее реверсивность и изменение скорости полива в зависимости от задачи в автоматическом режиме учитывая точки прохождения круга.

Эффективное использование воды в этих системах 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».

Система точного орошения - возможность подавать нужное количество воды непосредственно туда, где это необходимо, тем самым экономя воду за счет предотвращения чрезмерного стока и вымывания воды.

В традиционном сельском хозяйстве принятие решений основывается на средних значениях показателей на полях.

Точное земледелие рассматривается как революционный подход к улучшению управления ресурсами для устойчивого развития сельского хозяйства и 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.

Орошение на полях должно варьироваться в зависимости от пространственной изменчивости почвы (структура, рельеф, влагоудерживающая способность, а также степень инфильтрации и дренажа). Таким образом, потребность в орошении может различаться в разных зонах конкретного поля.

Кроме того, суммарное испарение, влияющее на потребность в орошении, зависит от метеорологических условий и роста сельскохозяйственных культур,

которые изменяются в пространстве и во времени. Кроме того, 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.

Минимальный размер зоны ограничен способностью дифференцированно управлять участками на поле. Важно упростить форму этих зон. Таким образом, это снижает требования к оборудованию для технологии.

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.

Несмотря на то, что после первого полива влажность почвы на всем поле и в разных зонах орошения близка к нормальной, даже если это зависит от влагоемкости почвы после первого полива, содержание воды остается одинаковым только в течение очень короткого времени, а пониженная влажность почвы будет разной в разных зонах орошения опять таки из-за различных факторов.

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.

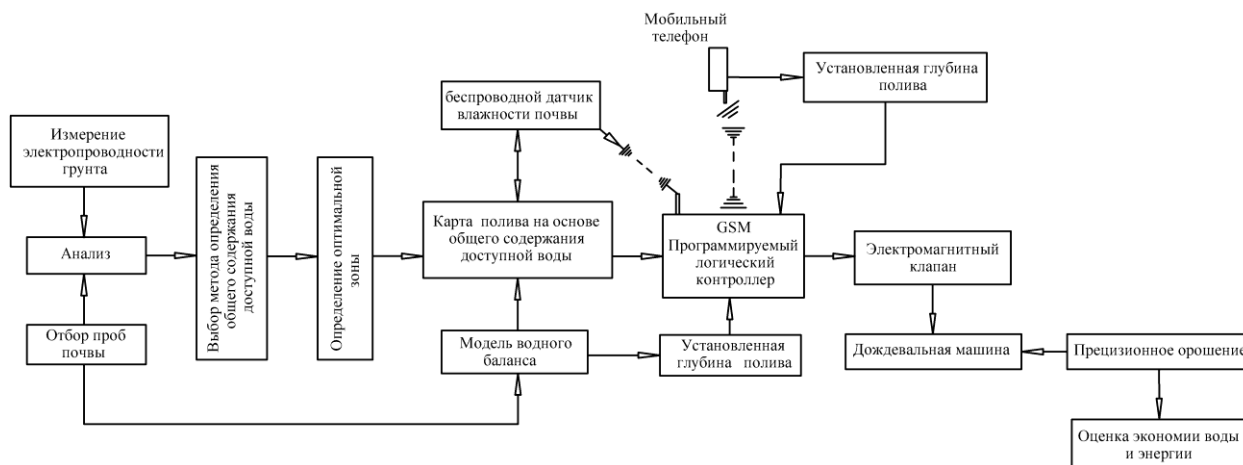


Рисунок 2.1 - Структура, лежащая в основе разработки стратегии точного орошения

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

В зависимости от модели и типа дождевальной машины, возделываемой культуры и уклона поля, средняя величина поверхностного стока при оросительной норме порядка 500-600 м³/га может достичь 20-45% от водоподачи. Это в значительной степени способствует ухудшению водно-физических и агрохимических свойства почв, вымывает гумусовый слой, снижает плодородие [41, 42, 170, 102-104].

Кроме того, снижается коэффициент использования оросительной воды, увеличивается стоимость ее подачи, что также сильно влияет на эффективность орошения.

Основной причиной проявления негативных процессов является несоответствие режима орошения природным и агротехническим условиям орошаемой территории. В большинстве случаев предотвращается сток воды и эрозия почвы, если нормы орошения не превышают допустимые.

Максимальная величина поверхностного стока характерна периоду незащищенной поверхности почвы или ранних стадиях развития растений. Известно, что на ранних стадиях развития кукурузы твердый сток может образовываться при норме полива уже 200–300 м³/га, а на стадии цветения и налива зерна, т.е. покрытой поверхности почвы – при 400 м³/га [42].

Некоторые конструктивные особенности дождевальных машин также являются провоцирующим фактором развития водной эрозии. Это явление особенно характерно при работе ДМ «Фрегат». Например, в случае аварийной остановки машины. Полив при этом может продолжаться, в случае, если не предусмотрено отключение машин от сети при остановке или пробуксовке ведущей тележки, что ведет к переполивам [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 точную подачу воды и помогая экономить ресурсы.

3 НЕГАТИВНЫЕ ПОЧВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РЕГУЛЯРНОМ ОРОШЕНИИ

Для целей планирования орошения среднее количество осадков в течение вегетационного периода не является оптимальным критерием для определения потребности в поливе. Время и количество осадков в течение сезона, способность почвы удерживать влагу и потребность растений в воде - все это факторы, которые влияют на потребность в поливе. В любом регионе могут быть недели, месяцы и даже годы, которые можно назвать "влажными или сухими".

При орошении очень важна так называемая совместимость почвы и воды. Если они несовместимы, применяемая для полива вода может оказать неблагоприятное воздействие на химические и физические свойства почвы. Определение пригодности почвы для орошения требует тщательной оценки свойств почвы, рельефа местности в поле и качества воды, которая будет использоваться для орошения. Базовое понимание взаимодействия почвы, воды и растений поможет эффективно управлять системами орошения почв и водоснабжения.

Необходима база данных почвенного обследования с информацией о важных свойствах почвы, таких как текстура, структура, глубина залегания, проницаемость и химический состав, которые важны для управления орошением.

Показателем способности воздуха и воды проникать в почву является ее проницаемость. На нее влияют размер, форма и протяженность поровых пространств, которые, в свою очередь, зависят от насыпной плотности, структуры и текстуры почвы.

В большинстве случаев почвы с медленной, очень медленной, быстрой или сверхбыстрой водопроницаемостью считаются непригодными для орошения.

Инфильтрация - это нисходящий поток воды с поверхности земли через почву. Скорость инфильтрации почвы является показателем ее способности

поглощать определенное количество дождевой или оросительной воды в течение определенного периода времени. Зависит от проницаемости поверхностного слоя почвы, влажности почвы и условий поверхности, таких как неровность (обработка почвы и растительные остатки), уклон и растительный покров.

Почвы с крупной структурой, такие как пески и гравий, обычно обладают высокой степенью инфильтрации. Степень инфильтрации почв со средней и тонкой структурой, таких как суглинки, илы и глины, ниже, чем почв с крупной структурой, и зависит от стабильности почвенных агрегатов.

Почвы, подверженные воздействию солей, классифицируются в зависимости от содержания в них растворимых солей и натрия. Засоленные и натриевые почвы обычно встречаются в районах, где грунтовые воды поднимаются вверх из-за неглубокого залегания грунтовых вод. Вода содержит растворенные минералы (соли), которые накапливаются в почве по мере того, как вода испаряется с поверхности почвы или попадает через растения в атмосферу. Как правило, эти почвы не рекомендуются для орошения.

При определенных сочетаниях качества оросительной воды и почвы соли и/или натрия могут накапливаться в корневой системе и оказывать неблагоприятное воздействие на рост растений.

При определенных условиях содержание натрия в верхнем слое почвы можно регулировать с помощью растворимых кальциевых добавок. Замена натрия кальцием улучшает структуру почвы. Внесение кальция в почву может быть полезным в тех случаях, когда на большинстве незатронутых почв, пригодных для орошения, имеются участки (вкрапления) почв, подверженных воздействию натрия. При орошении внесение кальция в почву поможет в тех случаях, когда поверхностное образование корки становится проблемой. На таких почвах могут потребоваться специальные методы управления орошением.

С помощью промывки или регулирования уровня грунтовых вод можно регулировать концентрацию солей. Промывка осуществляется путем внесения

большого количества воды, чем может удержать почва в корневой зоне. Обильные осадки, дополнительное орошение или и то, и другое вместе переносят часть солей ниже корневой зоны.

Посадка глубоко укоренившихся культур, таких как люцерна, или устройство подземного дренажа могут обеспечить контроль уровня грунтовых вод. Глубокие канавы и укладка плитки - это методы подземного дренажа, которые успешно используются во многих частях мира для контроля уровня грунтовых вод.

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

Уклон также важен для формирования почвы и управления, поскольку он влияет на сток, дренаж почвы, эрозию, использование техники и выбор сельскохозяйственных культур.

Форма склона - еще одна важная характеристика. Склоны описываются как простые или сложные. Самотечный (поверхностный) полив можно использовать только на простых склонах с уклоном 2% и менее. Как правило, простые и сложные склоны с уклоном более 1% следует орошать только с помощью дождевальных или капельных систем. Дождевальные машины кругового действия могут работать на уклонах до 15%, но, как правило, простые системы орошения с уклоном более 9% не рекомендуются.

Чтобы использовать системы самотечного или дождевального орошения, можно использовать выравнивание поверхности для изменения уклона в поле. Однако выравнивание почвы может привести к снижению урожайности на один-три вегетационных периода. В местах, где был удален верхний слой почвы, урожайность, скорее всего, снизится. Для ускорения формирования почвы на этих участках может потребоваться специальная обработка с использованием большего количества органических веществ.

Исследования отрицательных последствий при орошении традиционными способами и техническими средствами, появились еще в 80-е годы прошлого столетия [5, 7, 9, 11-13, 15, 16, 96].

Процесс подъема уровня грунтовых вод, негативные изменения питательного, водного, солевого, воздушного режимов и в конечном итоге снижение почвенного плодородия.

Периодическое переувлажнение, особенно периодическое приводит к вторичному засолению почв.

Двумя наиболее важными факторами, на которые следует обращать внимание при анализе качества оросительной воды, являются общее содержание растворенных твердых веществ и коэффициент адсорбции натрия. TDS пробы воды является показателем концентрации растворимых солей в пробе воды и обычно называется соленостью воды.

В тех случаях, когда практикуется нерегулярное орошение (определенный участок земли орошается один год из трех или более), может использоваться вода более низкого качества.

Кальций, добавляемый в воду для полива, может уменьшить вредное воздействие натрия. Эффективность добавляемого кальция зависит от его растворимости в воде для полива. Растворимость кальция зависит от источника кальция (например, карбоната кальция, гипса, хлорида кальция) и концентрации других ионов в воде для полива.

По сравнению с карбонатом кальция и гипсом, добавление хлорида кальция приводит к более высокой концентрации растворимого кальция и является наиболее эффективным средством снижения расхода воды для орошения. Однако хлорид кальция значительно дороже, чем карбонат кальция и сульфат кальция (гипс).

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.

Н. А. Пронько и Л. Г. Романова описывают процессы снижения содержания гумуса, ухудшения его качества при длительном орошении темно-каштановых почв [94, 96].

Анализ трудов многих исследователей доказывает более сложный и неоднозначный процесс изменения свойств. Незначительное уменьшение гумуса в первоначальный период орошения, постепенное восстановление с течением некоторого времени, а затем снижение его содержания и увеличение глубины залегания. Потеря гумуса при орошении - от 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 3.1.

Таблица 3.1 – 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 пресной водой слабоминерализованной водой	1,24	1,1–1,15	0,93	1,5–2,0
	1,34	1,1–1,15	0,67	1,5–2,0
Комплексный				
чернозем южный солонец	1,30	1,1–1,25	0,73	1,0–1,5
	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

Исследования различных типов почв при длительном орошении ученых показывают, что большая часть неблагоприятных почвенных процессов проявляется при больших нормах орошения слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава [15].

Значительное влияние на протекающие процессы в почве оказывает минерализация и состав поливной воды.

Так, например, орошение пресной водой ($0,65\text{--}0,54\text{ г/дм}^3$) гидрокарбонатно-кальциевого состава, подаваемой из прудов на серые лесные почвы, а также типичные черноземы центрально – черноземных областей, не способствует подщелачиванию почв [13].

Орошение водой чернозема обыкновенного из пруда с минерализацией $0,82\text{ г/дм}^3$ гидрокарбонатно натриево-кальциевая с содержанием натрия более 20 % вызывает процесс подщелачивания. Те же явления характерны черноземам обыкновенным и южным, орошаемым слабоминерализованной водой сульфатно-натриевого состава [13].

В таких почвах как серые лесные, черноземы типичные и обыкновенные при орошении водой гидрокарбонатно-натриево-кальциевого состава с минерализацией $0,82\text{ г/дм}^3$ и содержанием натрия более 20 % также происходит накопление гумуса [13].

В почвах комплексного покрова (темно-каштановых, бурых полупустынных) орошаемых водой сульфатно-натриевого состава проявляется процесс осолонцевания. Значительно усиливается и ускоряется при длительном орошении в почвах с природной солонцеватостью [13].

При поливе черноземов обыкновенных разрушению структуры почвенной массы способствует щелочная вода.

Известно, что поливы пресной водой черноземов обыкновенных в течение длительного периода в значительной степени негативно влияют на водно-физические свойства.

Опасным явлением является образование почвенной корки. Почвенная корка - это слой почвы, толщина которого колеблется от нескольких

миллиметров до нескольких сантиметров. Она образуется на поверхности почвы под воздействием капель воды, что приводит к распаду почвенных агрегатов на более мелкие составляющие. В таком случае почвенная корка препятствует проникновению воды в почву и приводит к образованию стока.

Сердан и др. (2002) подтвердили, что капли воды обладают энергией, которая разрушает и перемещает мелкие частицы почвы, такие как глина и ил. Затем эти частицы оседают в пространствах/порах между частицами почвы, уменьшая размер пор или полностью закрывая их [147].

Тимм и др. (1971) отметили, что рост растений при наличии почвенной корки зависит от толщины слоя; при толщине в 10 мм стебли растений могут проникать сквозь нее и прорастать насквозь. При более толстом слое стебель скручивается, а затем прорывается, но с некоторыми деформациями, которые влияют на рост урожая и его конечную зрелость. При толщине слоя до 5 см стебель растения ломается, что препятствует росту, а также приводит к образованию отверстия под коркой [147].

Тимм и др. (Timm et al., 1971) предположили, что для устранения образования корки в результате орошения можно проводить борозды при дождевании или поддерживать влажность почвы в течение всего вегетационного периода. Также предполагается, что нанесение гипса на поверхность почвы может уменьшить или предотвратить образование корки.

С другой стороны, Доран и др. (1999) подчеркнули, что образование почвенной корки иногда является положительным свойством, поскольку оно предотвращает ветровую эрозию, особенно на песчаных и глинистых почвах.

Органические вещества уменьшают эрозию почвы и сток сточных вод.

Ладо и др., 2004 г. исследовали влияние содержания органического вещества в почве на формирование уплотнения при моделируемых осадках интенсивностью 42 мм/ч. Результаты показали, что на супесчаной почве образовалась толстая корка с низким содержанием органического вещества (2,3%). Напротив, почва с высоким содержанием органического вещества (3,5%) отличалась высокой агрегативной устойчивостью и ограниченным

образованием уплотнений. Поэтому, при поливе дождеванием на этом типе почвы, мягкие частицы закрывают существующие поры и, таким образом, приводят к образованию уплотнения, препятствующего впитыванию воды, т.е. возникновению поверхностного стока [147]. Для сохранения поверхности почвы под воздействием дождевания, Дукер (2006) указал как эффективный метод сохранение растительных остатков от 0 до 30% [147].

Дукер также указал, что для уменьшения эрозии почвы необходим выбор наилучшего почвообрабатывающего оборудования. Он рекомендовал рыхлитель компании Duiker, который приводит к разрушению почвы, но при этом оставляет большую часть остатков на поверхности.

Исследование, проведенное Ван Донком и соавторами провели сравнение урожайности кукурузы на почве, покрытой остатками (посевы сои), и на голой почве. Результаты были значительно выше на участках, покрытых остатками (12,4 мг/га), чем на голой почве (10,8 мг/га). Это было связано с сохранением влажности почвы за счет остатков, что привело к увеличению потребления воды кукурузой в период вегетации.

Компания Hashemini выбрала для проведения исследований несколько типов дождевателей для распыления воды различной формы, в том числе Spray drops, на штангах Spray booms и вращающиеся Rotator spray drops с рабочим давлением 138 кПа, на дальнем конце трубопровода, где наибольший расход; при двух типах вспашки: обычной и безотвальной. Результаты показали, что поверхностная обработка почвы эффективно снижала потери стока до менее чем 1% от вносимой воды, а также увеличивала среднее содержание влаги в почве на 18% и увеличивала процент доступной воды в верхних 65 см корневой зоны картофеля, но тип дождевальной установки не оказывал существенного влияния.

Существуют некоторые физические характеристики почвы, которые указывают на ее состояние, такие как прочность на сдвиг и сопротивление проникновению, содержание влаги и скорость инфильтрации, которые могут

характеризовать возникающие при поливе проблемы. Процесс уплотнения и снижения водопроницаемости характерен для всех типов почв при длительном поливе. Особенно это характерно черноземам, склонным к уплотнению при обработке.

При нарушении технологии возделывания сельскохозяйственных культур, переполива, неправильного внесения удобрений, использования неподходящего химического состава воды для орошения эти процессы значительно ухудшаются. Основным показателем плодородия почв является общее содержание гумуса в различных типах почв. Сравнительное содержание гумуса в длительно орошаемых почвах и на богаре представлено на рисунке 3.1.

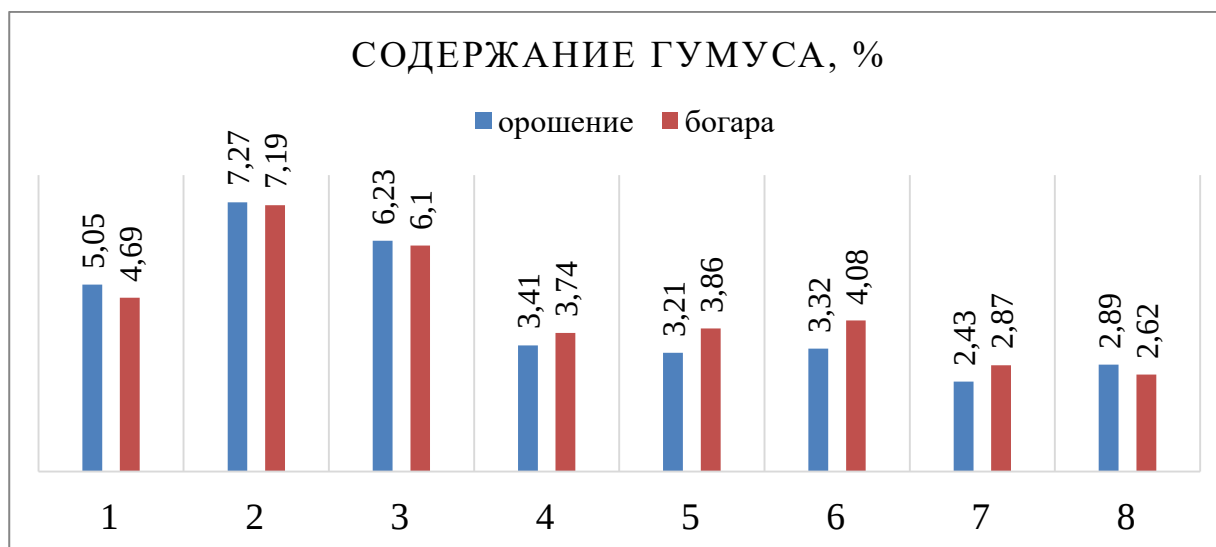


Рисунок 3.1- Содержание гумуса в длительно орошаемых почвах и на богаре: 1 - Серая лесная почва, 2 - Чернозем типичный, 3- Чернозем обыкновенный, 4- Чернозем обыкновенный, орошаемый пресной водой; 5- Чернозем обыкновенный, орошаемый слабоминерализованной водой; 6- Комплексный покров-чернозем южный; 7 – Солонец; 8 - Темно-каштановая почва

Достаточно низкое содержание гумуса в черноземах обыкновенных степной зоны орошаемых пресной водой. На богаре - несколько выше. Изменения происходят и в типе гумуса. На богаре сохраняется гуматный тип гумуса, а на орошении, несмотря на поливы пресной водой, тип гумуса трансформируется в гуматно-фульватный. Этот процесс значительно

усугубляется в черноземах обыкновенных, поливаемых слабоминерализованной водой [13].

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.

Процесс деградации, снижения содержания гумуса характерны в основном для участков, где поливы осуществляются водой большей нормы, длительного периода и не подходящего качества.

Ухудшение состояния земель в последние десятилетия требует применения технологий орошения, которые поддерживают плодородие почв и устраняют непроизводительные потери оросительной воды, а соответственно возникновение эрозионных процессов, затопление и вторичное засоление.

Допустимая интенсивность при дождевании. Водная эрозия почвы

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

Первое ограничение связано с водной эрозией, возникающей, когда вода подается с интенсивностью, превышающей скорость впитывания воды в почву.

Инфильтрационные характеристики почв определяются ее типом, качественными и количественными характеристиками дождя и временем полива.

По исследованиям А.Н. Костякова допустимую интенсивность при дождевании можно определять 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 при дождевании от продолжительности полива различной интенсивности представлено на рисунке 3.2.

V , мм/мин

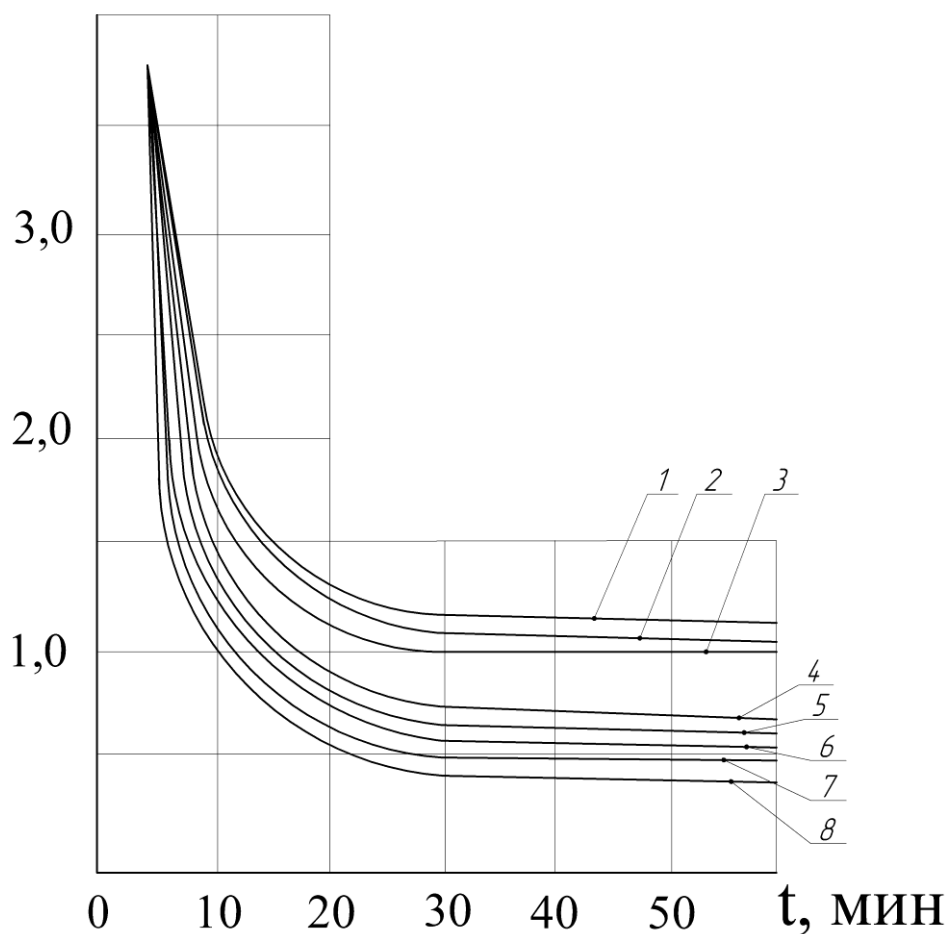


Рисунок 3.2 - Зависимость скорости инфильтрации при безнапорном (при дождевании) режимах впитывания воды в почву от продолжительности полива различной интенсивности: 1-3,5 мм/мин, 2-3,27 мм/мин, 3-3,17 мм/мин, 4-2,01 мм/мин, 5-1,53 мм/мин, 6-1,15 мм/мин, 7-1,0 мм/мин, 8-0,7 мм/мин, 9-0,5 мм/мин

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.

Более подробно, учитывая внешние эксплуатационные характеристики и применяемую дождевальную технику (допустимую интенсивность в

зависимости от уклона и типа почвы, а диаметра капель) можно рекомендовать допустимую интенсивность (табл. 3.1. и 3.2).

Данные значения являются ориентировочными и должны корректироваться с фазы развития орошаемой культуры и агрофона и др. [63].

Таблица 3.2 – 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

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

Эрозионное воздействие стоковых потоков зависит и от локальных уклонов, перепадов на поверхности поля. Например, при перепадах поверхности в 0,1 м скорость потока возрастает до 1,5 м/с, увеличивая воздействие, разрушая грунт [63].

Под почвенной эрозией понимают как смывание почвы потоком поверхностных вод, так и разрушение каплями дождя, т.е. капельная эрозия. Например, при поливе ДМ "Фрегат" образуются капли диаметром до 2,5 мм, что в значительной степени влияет на структуру почвы, разрушая ее и образуя почвенную корку толщиной 4-6 мм, снижая водопроницаемость на 25% [15, 17, 18].

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.

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]. Это позволяет

определить наиболее опасные участки с точки зрения возникновения эрозии. Как показывают исследования интенсивности полива ДМ «Кубань-ЛК1» в начале трубопровода она составляет 0,4-0,5 мм/мин, а в конце трубопровода – 1,4 мм.

Таблица 3.3 – Эрозионно-допустимая поливная норма, м³/га различных типов почв и параметров дождя

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

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

Поскольку в условиях эксплуатации часто требуются большие нормы полива, допускают некоторую величину стока в объемах до 25% от общего объема воды на один оборот [42].

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

$$K_b = \frac{v_v}{t^w}, \quad (3.1)$$

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

Для повышения скорости впитывания воды в почву и увеличения нормы полива до стока учеными разрабатываются различные технологические приемы.

Это регулирование интенсивности дождя, прерывистый полив, смачивание почвы малыми нормами.

Продолжительность полива без образования луж [63]:

$$T = \frac{K_u}{\rho_{cp} m}, \quad (3.2)$$

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

В исследованиях [38, 62] продолжительность свободной определяется как:

$$t = \frac{P}{\rho_{cp}^{1,5} e^{0,65 d_k}}, \quad (3.3)$$

P – показатель водопроницаемости почв при поливе дождем интенсивностью 1 мм/мин, мм, таблица 1.4; d_k – диаметр капель, мм.

$$P = h \sqrt{\rho_{cp}} e^{0,5 d_k}, \quad (3.4)$$

где h – слой дождя, мм.

Кривые впитывания для различных типов почв представлены на рисунке 3.3 [41, 63].

Таблица 3.4 – 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 способностью, темно-каштановые – среднюю, а черноземы - высокую водопроницаемость.

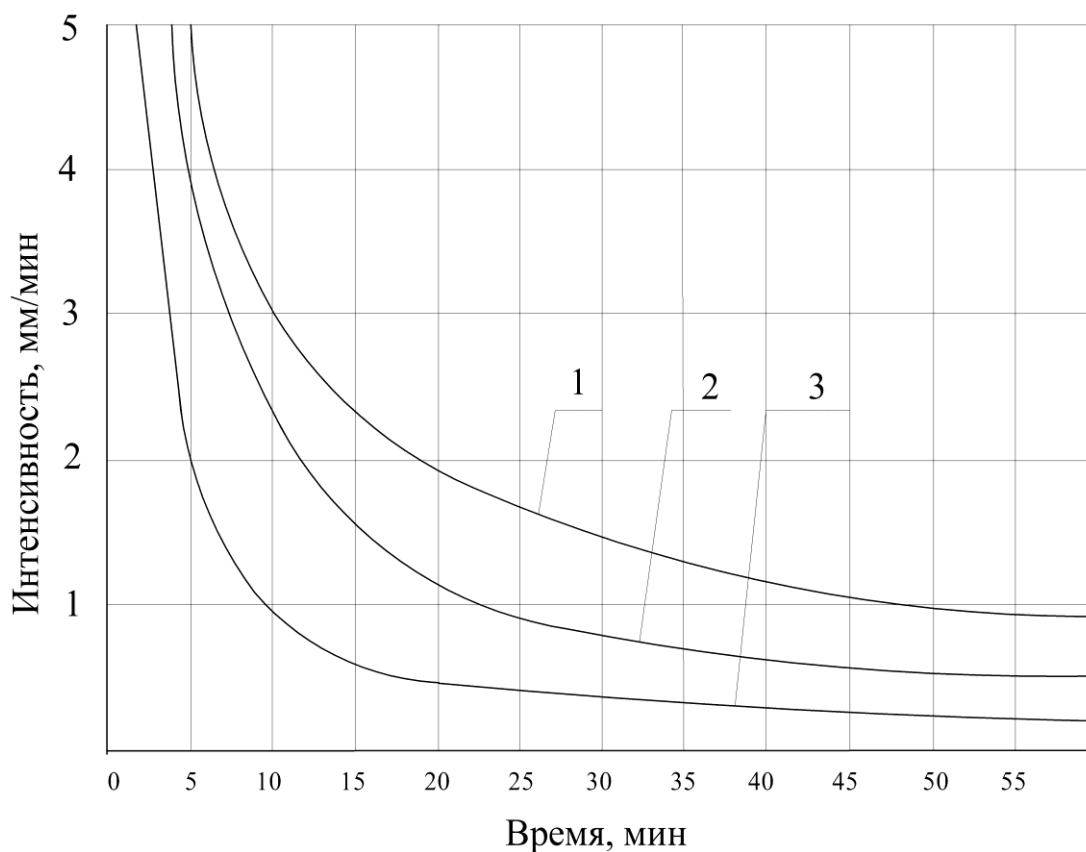


Рисунок 3.3 – Кривые безнапорного впитывания почв: 1– черноземные, 2 – темно-каштановые, 3 – светло-каштановые

Таблица 3.5– 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

Ученые Лерш и др. обнаружили, что 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 (Джонс и Шоу, 1996) [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.

4 СХЕМЫ ДВИЖЕНИЯ И РЕЖИМЫ ПОЛИВА

Схемы движения и режимы полива дождевальных машин кругового действия зависят от возможности подключения к водоисточнику и его виду.

Известны следующие схемы работы (рис.4.1).

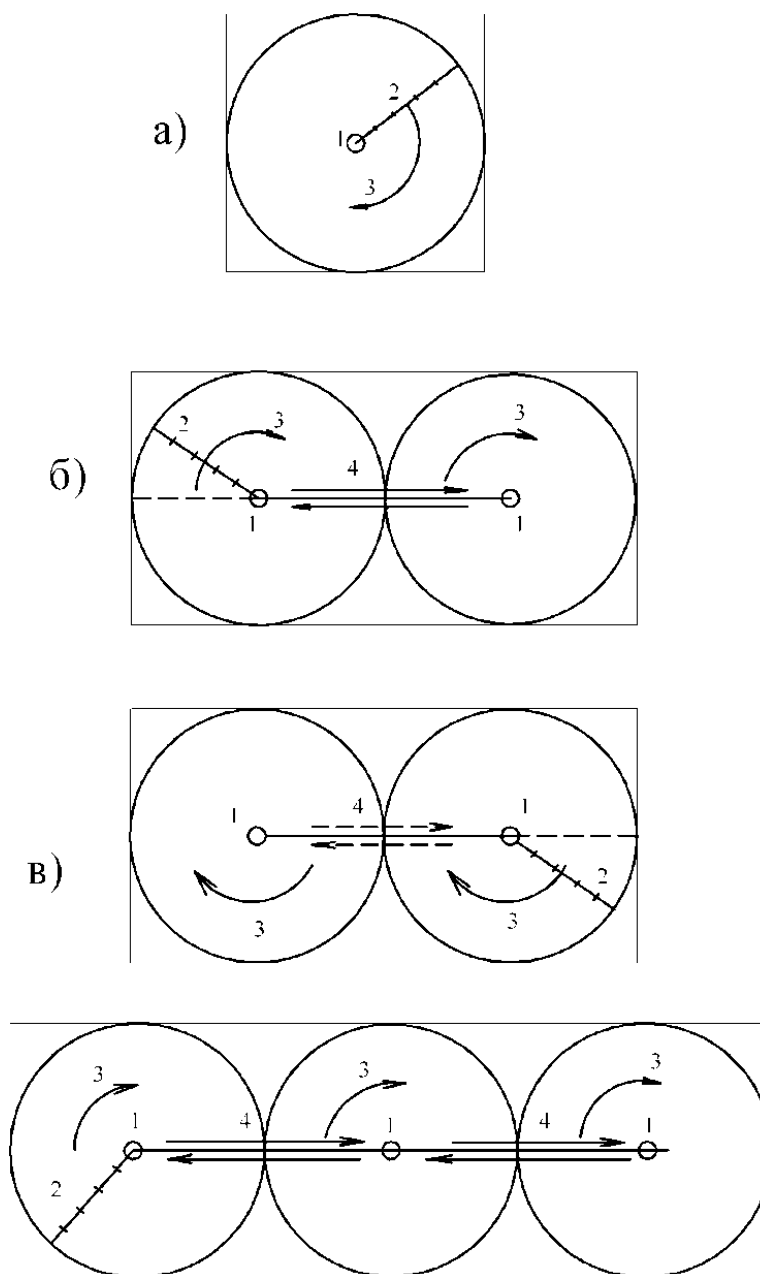


Рисунок 4.1 –Схемы работы: а) и б) «Фрегат-ДМУ», «Кубань-ЛК» на одной и двух позициях; в) «Фермер-Фрегат-ДМУ», «Мини Фрегат-К», «Мини Кубань-ЛК», «Фермер Кубань-ЛК-1» на двух и трех позициях: 1 – гидрант, 2 – дождевальная машина; 3 – направление движения по кругу; 4 – направление движения с позиции на позицию

1. (рис. 4.1 а). Полив с одной позиции без перемещения. Не политые углы 16...18%, коэффициент земельного использования 0,82-0,84 [41].

2. (рис. 4.2 б). Полив на двух позициях с перемещениями, 0,82- 0,84 [41].

Такие модели как «Фермер Фрегат-ДМУ», «Мини-Фрегат-К», «Мини-Кубань-ЛК», «Фермер-Кубань-ЛК-1» обеспечивают полив на двух-трех позициях с использованием тягача (рис. 4.3 в).

Современные широкозахватные дождевальные машины базовых комплектаций не имеют возможности менять характеристики дождя «онлайн» в зависимости от впитывающей способности почвы или других внешних условий. Величину поливной нормы регулируют только скоростью движения тележек, направлением движения.

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

Для снижения стока поливная норма может выдаваться за несколько оборотов машины, что обеспечивает экономию оросительной воды и снижает нагрузку на почву, делая орошение экологически безопасным, таблица 4.1.

Таблица 4.1 –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], верхние пределы влагозапасов рекомендуется устанавливать:

0,8 НВ в степной зоне с черноземами;

0,85 НВ для сухостепной зоны с каштановыми почвами;

0,9-0,95 НВ в пустынной зоне с черноземами;

1,0 НВ – для гумидных зон.

Т. о. планируемые поливные нормы рекомендуется уменьшать до 150-400 м³/ га.

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 дождя не должна превышать 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 дождевальной машины в период вегетации.

На практике используются различные методы определения сроков вегетационного полива, такие как влажность почвы, стадия вегетации, метеорологические показатели.

Максимальные урожай при прочих равных условиях сельскохозяйственные культуры дают при влажности почвы, близкой к НВ. Чем длиннее дождевальная машина, сложнее обеспечивать посеvy таким запасом почвенной влаги в требуемое время за счет длительного времени обхода машины по кругу. В таких случаях полив дают при нижнем пороге влажности, не оказывающем заметного негативного воздействия. Начало первого полива назначается с опережением относительно планируемого срока.

Минусом является превышение поливной нормы на первых секторах орошаемого поля, что не соответствует требуемым влагозапасам и соответственно перерасход оросительной воды.

Водопотребление сельскохозяйственных культур, также называемое эвапотранспирацией или ЭТ, часто определяется как ежедневная оценка сочетания количества воды, выделяемой растениями, и количества испарения с поверхности почвы вокруг растений. Потребление воды растением меняется предсказуемым образом от появления всходов до созревания.

Общее потребление воды растениями будет варьироваться от сезона к сезону из-за изменений климатических параметров (температура воздуха, количество солнечного света, влажность, ветер) и различий в почве на разных полях (глубина залегания корней, влагоудерживающая способность почвы, текстура, строение и т.д.) и это следует учитывать при планировании полива.

Эффективное управление поливом начинается с точного измерения количества осадков, выпавших на каждом орошаемом поле. В идеале на каждом орошаемом поле должен быть установлен по крайней мере один, а возможно, и два дождемера.

Определение влажности почвы является наиболее распространенным методом управления поливной водой, однако его необходимо проводить регулярно в течение всего вегетационного периода. В жаркий летний период рекомендуется проверять влажность почвы два-три раза в неделю.

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

5 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 расходно-напорные характеристики потока ДМ «Кубань» влияет даже прогиб трубопровода. Неравномерность расхода достигает 8 % [120].

Наибольшее влияние на равномерность распределения воды оказывают уклоны. Для компенсации применяют специальные схемы размещения дождевателей, регуляторы давления.

По условиям эксплуатации, дождевальные машины длиной порядка десяти пролетов, допускается эксплуатировать на местности с уклоном до 0,015 [118-119]. При давлении 0,35 МПа расход 70 л/с.

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 поливе ДМ «Кубань-ЛК1 на пересеченном участке разница в расходе 1-2%. При поливе на постоянном склоне разница по расходу - 15-18% [107].

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 5.1.

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 5.1 –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:

$$i_{кр} = P_0 / 4,7 + 2, \quad (5.1)$$

P_0 - показатель впитывания.

Показатель свободного впитывания в зависимости от уклона выражается формулой:

$$P_i = P_0 - C (i - i_{кр}), \quad (5.2)$$

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.

Периодический полив особенно эффективен при орошении склонов. Например, прерывистое дождевание короткоструйными дождевателями дало повышение стоковой поливной нормы в 3-5 раз [63].

Сравнение прерывистого дождевания с непрерывным [63], показало, что при орошении на уклонах от 5° до 22° с перерывами от 10 до 30 мин скорость впитывания увеличивается в 1,25 – 2,0 раза.

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].

6 УСЛОВИЯ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА. УПРАВЛЕНИЕ ПОЛИВАМИ

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

Основной причиной этому является возможность полной автоматизации процесса полива. Электропривод обеспечивает простое задание скорости движения и реверсирование направления, перемещение без полива, что дает возможность применения различных технологических приемов.

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. 6.1.

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

Существующие технические средства и разработанные технологии не могут быть полностью универсальными, применяемыми ко всему разнообразию почвенно-климатических условий, сельскохозяйственных культур и особенностей рельефа. Они определяются анализом условий эксплуатации, организационно-хозяйственных возможностей, экологическим состоянием земель и др.

Тем не менее можно выделить ряд критериев оптимизации, компромиссных решений в зависимости от климатических зон, определенных территорий с характерными почвенно-климатическими условиями и культурами.

Следовательно, задача заключается в том, чтобы разработать рекомендации, которые бы обеспечили полив по прогрессивной технологии требуемого качества при минимальных затратах.



Рисунок 6.1 – Условия выбора технологии полива

Управление поливами

Планирование полива - это наука внесения необходимого количества воды в нужное время, чтобы обеспечить максимальную влажность почвы в корневой зоне растений, не вызывая при этом вредного стресса. Планирование полива - это баланс между внесением слишком большого количества воды или ее недостаточным количеством для удовлетворения потребностей растений на определенной стадии роста.

Внесение слишком большого количества воды может привести к увеличению затрат на перекачку и усилению заболеваемости сельскохозяйственных культур. Внесение слишком малого количества воды в неподходящее время приведет к стрессу для сельскохозяйственных культур и снижению урожайности.

Планирование полива - это, по сути, методология принятия решений. Каждый мелиоратор должен был научиться разрабатывать метод планирования полива, который работал бы в его или ее ситуации.

Распространенной формой планирования полива является метод “замены”. Гидротехники, которые придерживаются этого метода, записывают (обычно в календарь) количество осадков и поливов, а также ежедневное потребление воды растениями. Время и количество полива регулируются таким образом, чтобы восполнить количество почвенной воды, используемой растением.

Другой способ замены заключается в предположении, что среднесуточное потребление воды растениями составляет определенное количество в день. Количество осадков, выпавших в течение недели, вычитается из этого количества и используется это количество воды для полива.

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

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. Оценки обновляются автоматически каждый день в течение вегетационного периода. Это позволяет проводить оценку водопотребления сельскохозяйственных культур в зависимости от географического района, в котором расположена станция.

Процедура планирования орошения, называемая методом "чековой книжки", уже много лет успешно применяется в США. Метод чековой книжки - это метод учета влажности почвы, который использует показатели ежедневного водопотребления сельскохозяйственных культур и влагоудерживающую способность почвы для прогнозирования времени и количества воды, необходимых для восполнения того, что было удалено из корнеобитаемой зоны.

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].

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.

7 ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Режим орошения определяется нормой, числом и сроками полива выращиваемых культур. Он зависит от биологических особенностей растений, климатических, почвенных и гидрологических условий орошаемых земель.

Содержание влаги в почве в естественных (природных) условиях может изменяться от состояния увлажнения на уровне гигроскопической влаги до уровня полной влагоемкости. Для растений нежелательны как недостаток, так и избыток влаги. Нормальные условия роста создаются тогда, когда в почве 40-50% пор занято воздухом, остальные промежутки между почвенными частицами заполнены водой. Обычно такое увлажнение наблюдается при насыщении почвы влагой до состояния полевой влагоемкости, определяемой в основном капиллярной скважностью почвы.

Увлажнение почвы не остается неизменным на протяжении периода вегетации, поэтому в природных условиях сложно постоянно поддерживать оптимальную увлажненность. Растения снижают интенсивность роста при уменьшении влажности от оптимальной величины, но рост их не прекращается. Снижать влажность до критической величины (влажности завядания) недопустимо.

Влажность завядания наступает для супесчаных почв при объемной влажности 4-6 %, легких суглинков – 6-8 %, средних суглинков – 8-10%, тяжелых суглинков – 10-14%.

Под водопотреблением сельскохозяйственных культур понимают расход воды на определённой площади за период вегетации растений: выражается в м³/га или в мм.

Коэффициент водопотребления (удельное водопотребление) – количество воды, израсходованной за вегетационный период на 1 тонну продукции. Водопотребление определяют экспериментально на основе уравнения водного баланса в результате многолетних наблюдений за осадками, запасами влаги в почве, потерями воды и т. д.

Водопотребление изменяется в зависимости от внешних условий, вида растений, уровня агротехники. Сочетание орошения с высокой агротехникой, применением удобрений даёт максимальное повышение урожайности сельскохозяйственных культур при уменьшении коэффициента водопотребления. Коэффициенты водопотребления колеблются в широких пределах в зависимости от природно-климатических условий конкретных лет, почв и уровня агротехники. Академик А.Н. Костяков дал ориентировочные значения коэффициента водопотребления для условий Средней Азии, Заволжья ($\text{м}^3/\text{т}$): для зерновых 1100-550, хлопчатника 1800-900 (при урожайности 30-50 ц/га), для многолетних трав на сено 1000-400 (при урожайности 500- 1000 ц/га).

Получение высоких гарантированных урожаев сельскохозяйственных культур возможно при их оптимальном водопотреблении.

Водопотребление поля, занятого сельскохозяйственной культурой, расходуется на транспирацию E_t и испарение почвы E_p :

Эвапотранспирация определяется по формуле:

$$E = E_t + E_p, \quad (7.1)$$

На испарение с поверхности почвы действуют только факторы внешней среды, а транспирация обуславливается взаимным влиянием внешних и внутренних факторов растений. Определить доли транспирации E_t и испарения почвы E_p в водопотреблении сложно, поэтому их обычно определяют как единое целое.

Существуют следующие методы определения водопотребления: методы непосредственных полевых измерений; расчетные методы; эмпирические зависимости.

Метод водного баланса (МВБ) основан на уравнении водного баланса поля. Он даёт достаточно надежные данные и применяется в случае глубокого (5-10 м) залегания уровня грунтовых вод. Тогда влагообменом между грунтовыми и почвенными водами можно пренебречь. Этим методом можно вычислять декадное и месячное водопотребление растений для

однородных почв с погрешностью 10-12%, а для неоднородных около 15%. Недостаток этого метода – в его трудоемкости и неоперативности. Он дает лишь осредненную величину водопотребления, не выявляя его зависимости от других факторов.

Существуют теоретические методы расчета суммарного водопотребления (испарения), основанные на физических законах испарения (методы Пенманна, Тюрка и др.), эмпирические методы, основанные на функциональной зависимости испарения от урожая, температуры и относительной влажности воздуха (методы Костякова, Шарова, Алпатьева и др.).

Проектные институты суммарное испарение (водопотребление) принимают по рекомендации научных учреждений или рассчитывают по формуле С.М. Алпатьева, то есть пользуются биоклиматическим методом. Согласно С.М. Алпатьеву, суммарное испарение является функцией дефицита влажности воздуха.

Потребность растений в воде на протяжении вегетационного периода неодинакова и частично удовлетворяется выпадающими осадками, оросительную норму следует подавать в засушливые периоды на поле не сразу, а частями.

Норма отдельного полива равна разности запасов воды в расчетном слое до и после полива.

Академик А.Н. Костяков разработал наглядный графоаналитический способ определения поливных норм и сроков полива сельскохозяйственных культур.

В течение вегетационного периода оросительную норму подают частями в соответствии с изменением мощности корнеобитаемого слоя, потребности растений в воде, естественным увлажнением, допустимыми пределами влажности.

На поливные нормы влияют мощность почвенного слоя и литологическое строение подстилающих грунтов. На маломощных почвах,

подстилаемых хорошо проницаемыми грунтами, нормы уменьшают. Оказывает влияние и рельеф местности: при больших уклонах поливные нормы следует уменьшать. На засоленных и склонных к засолению почвах нормы поливов больше, чем на незасоленных. Из опыта орошения земель установлены пределы поливных норм при разных способах полива (т, мм): поверхностный — 80-120; дождевание — 15-70; капельный — 5-10; подпочвенный — 5-10 режим орошения с расчетной обеспеченностью увлажнения.

Почвенная влага, ее свойства и доступность для растения

Влажность почвы является основным показателем при определении сроков и нормы полива сельхозкультур.

При определенной влажности растение растет и развивается. Нормальное снабжение с/х культур водой тесно связано в основном состоянием воды в почве: Влага в почве находится в следующих формах:

- химически связанная вода входит в состав различных веществ в почвы в небольшом количестве и не принимает участие в физических процессах и на испарения при $t=100^{\circ}\text{C}$.

- физически связанная (гигроскопическая пленочная твердая). Способность почвы адсорбировать пары воды из воздуха называется гигроскопичностью, а влага, поглощенная поверхностью частицы почвы гигроскопической. Максимальное количество воды, поглощенное почвой из воздуха, насыщенного парами воды, называется максимальной гигроскопичностью. Максимальная гигроскопичность является важнейшей водно-физической константой почвы, т.к. по ней определяют влажность завядания растений (ВЗ). Влажность завядания на легкосуглинистых почвах составляет 3-6%, на суглинистых 6-12%, на тяжелых 9-15% (рис 7.2).

- парообразная вода (ПВ) находится в почве при любой степени увлажнения, она занимает поры свободные от капельно жидкой воды и передвигается из более насыщенных слоев в менее насыщенные.

- капиллярная вода заполняет все капилляры почвы и удерживается силами молекулярного и капиллярного натяжения, передвигается во всех направлениях и является основным источником питания растений.

- гравитационная вода (рис.1.17). Когда вода заполняет все поры почвы, достигается полная ее влагемкость и вода передвигается (за исключением пленочной) под действием силы тяжести. Такая вода называется гравитационная (свободная). Эта вода в поле бывает после дождей, в период таяния снегов, в период полива (избыточная влага).

- Грунтовая вода – находится в водоносных слоях почвы.

Влагоемкость – это способность почвы удерживает некоторое количества воды при определенных условиях. Влагоёмкость зависит от механического состава почв.

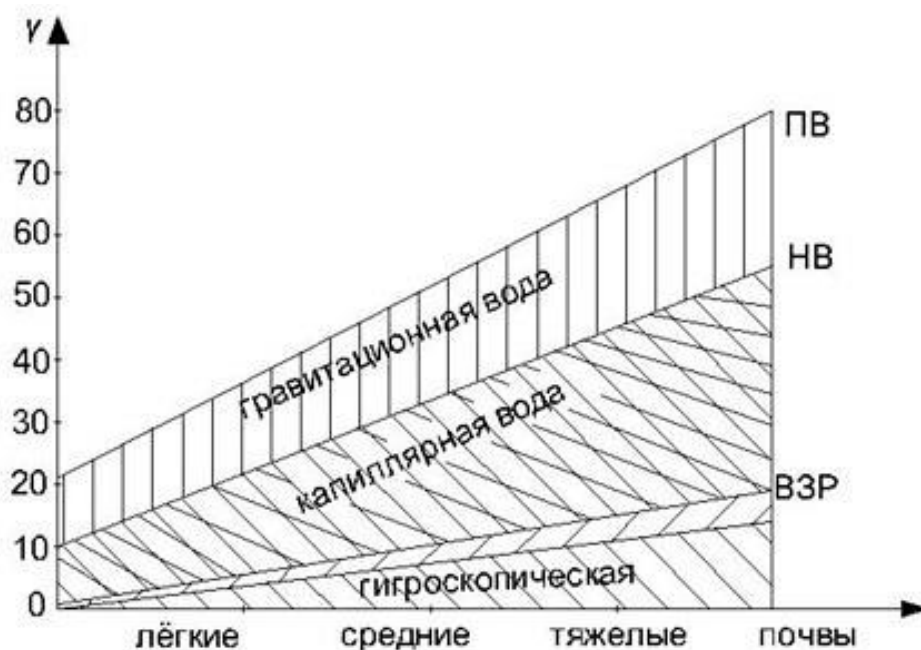


Рисунок 7.2- Содержание влаги в % от объема почвы при различном увлажнении

Влагоёмкость бывает:

- Полная (ПВ) – наибольшее количества воды, которое может вместить почва, при заполнение всех пор и пустот.

- Наименьшая (НВ) – это количество влаги, прочно удерживающаяся в

почве-грунте после стекания гравитационной воды.

Когда влажность в почве снижается до 60-70%НВ, нарушается сплошное капиллярное передвижение воды.

Такое состояние влаги в почве называют влажностью разрыва капиллярной связи. Эта влажность близка к влажности замедленного роста растений и составляет нижний предел оптимальной влажности (ВЗ), что указывает на необходимость проведения полива.

В течение вегетационного периода среднесуточное потребление воды хлопковым полем неодинаково. В начале вегетации оно небольшое, затем постоянно возрастает и наибольшей величины достигает обычно в период начала и массового плодообразования хлопчатника. В последующий период размер водопотребления значительно снижается. Так, для типичных сероземов с глубоким залеганием грунтовых вод при урожайности хлопка-сырца 30-35 ц/га среднесуточные расходы воды хлопковым полем составили: в период бутонизации растений 18-20 м³/га, массового цветения 50-55, массового плодообразования 85-90, в начале созревания коробочек 45-50, при массовом их созревании 25-30 м³/га (рис 7.3).

Такая же закономерность в изменении величины водопотребления при ином абсолютном расходе воды отмечается и для других почвенно-климатических и мелиоративных условий.

Для наглядности содержание всех форм воды в почве при различных средах увлажнения проводим схему (рис 7.4).

Общее количество воды, потребляемое хлопковым полем за весь вегетационный период (на транспирацию и испарение из почвы) в различных условиях также неодинаково. Оно зависит от климатических особенностей местности, свойств почвы, уровня ее плодородия, глубины залегания и степени засоленности грунтовых вод и ряда других условий.

При определении режима и размера орошения следует учитывать также степень спланированности полей, уровень применяемой агротехники, величину допосевного увлажнения почвы, способы вегетационного орошения, а также

режим источников орошения и степень водообеспеченности орошаемых земель.

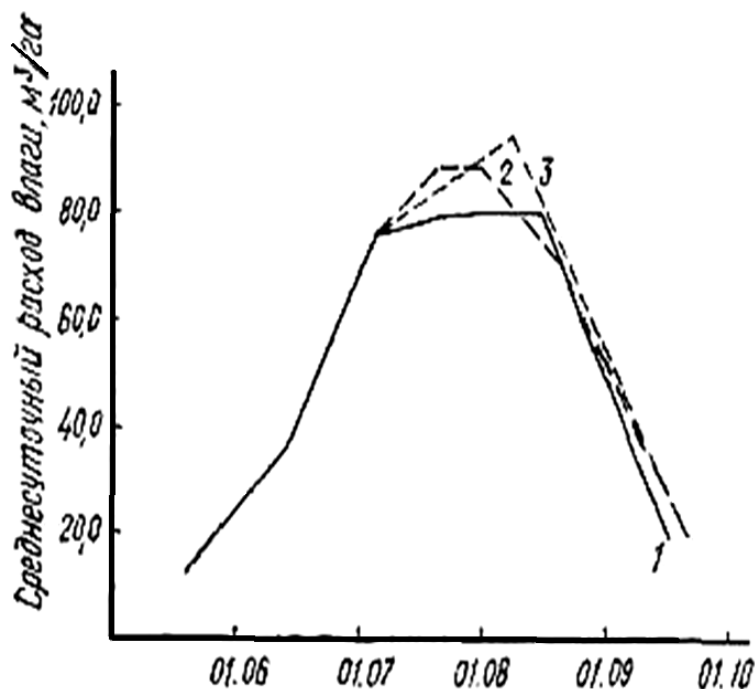


Рисунок 7.3 - Среднесуточный расход влаги хлопковым полем:

- 1— полив с расчетным слоем 70 – 100 – 70 см (контроль);
- 2— полив с расчетным слоем 70 – 120 – 70 см;
- 3— полив с расчетным слоем 70 – 150 – 70 см (по Меднис).

Режим и размер орошения хлопчатника должны соотнобразовываться также с биологическими особенностями сортов хлопчатника и условиями агротехники.

Как известно, полив сельскохозяйственных культур направлен на поддержание необходимого водного баланса в корнеобитаемом слое почвы. На рис.7.5 приводится схема водного баланса.

Потребность сельскохозяйственных культур в воде определяется, как количество воды, требуемое для пополнения дефицита запасов воды в результате испарения ее с поверхности почвы и транспирации с поверхности листьев растений.

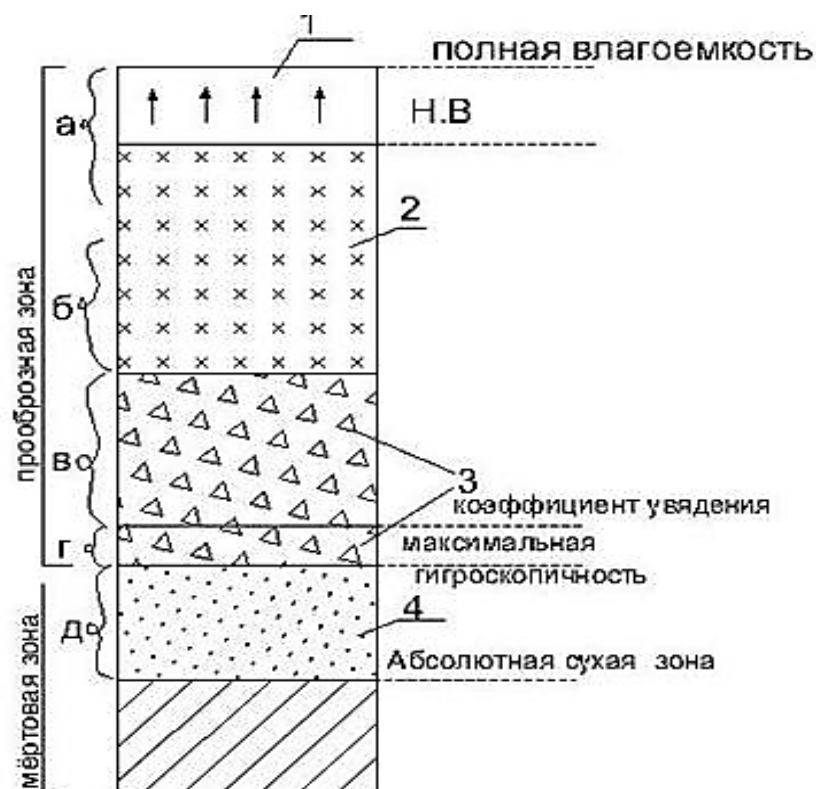


Рисунок 7.4 Схема влаги в почве

а – страдает от недостатка влаги;
б – оптимальное увлажнение;
в – растение испытывает недостаток влаги;
г – растение прекращает рост;
д – растение гибнет;

1-гравитационная вода;
2-легко подвижная капиллярная вода;
3-слабо подвижная капиллярная вода
;
4-связанная вода.

Сочетание двух отдельных процессов, при которых почва теряет воду через испарение, а растения – через транспирацию, называется эвапотранспирацией (ЕТ).

Испарение характеризуется процессом преобразования воды в пар и удаления пара с испаряющей поверхности.

Для преобразования молекул воды в молекулы пара требуется энергия. Эта энергия обеспечивается прямой солнечной радиацией и, в меньшей степени, температурой воздуха. Замена насыщенного влагой воздуха более сухим зависит в основном от скорости ветра. Следовательно, при рассмотрении процесса испарения основными факторами являются

солнечная радиация, температура воздуха, влажность воздуха и скорость ветра.

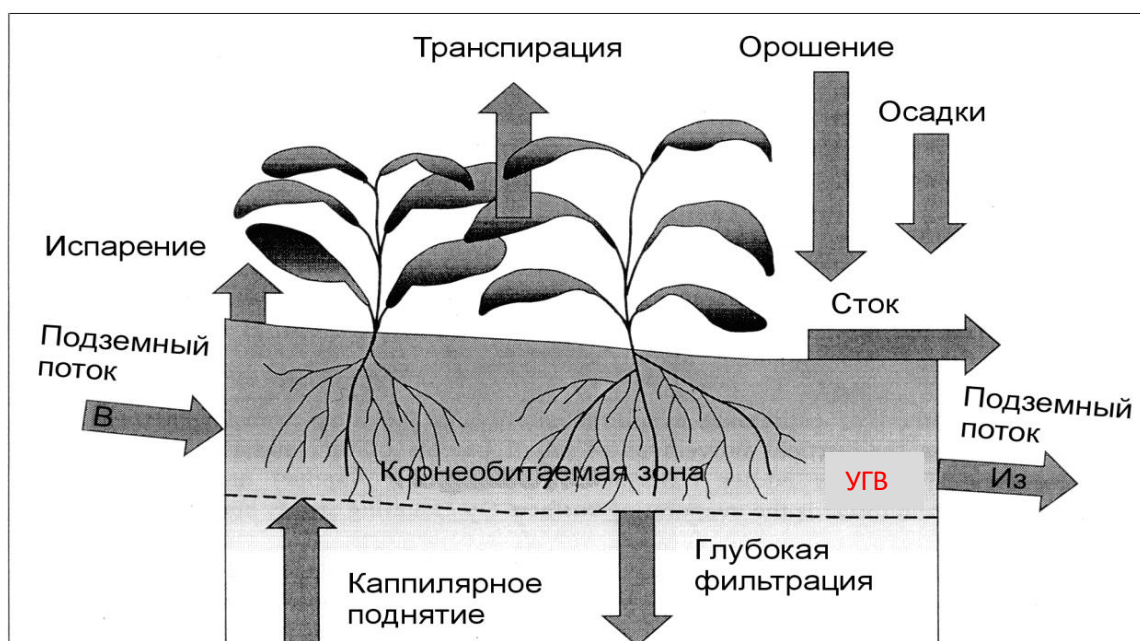


Рисунок 7.5 - Водный баланс корнеобитаемой зоны

По мере развития растения изменяются покрытие поверхности, высота растений и площадь листьев. Ввиду различий в эвапотранспирации в течение различных стадий роста K_c для данной культуры будет изменяться в течение вегетационного периода. Вегетационный период может быть поделен на четыре стадии роста: начальную, развитие растения, середину сезона и конец сезона.

Начальная стадия длится с даты посадки до достижения 10 % покрытия поверхности почвы. Длительность начального периода зависит от культуры, ее разновидности, даты посадки и климата. Окончание начального периода определяется временем 10 % покрытия земной поверхности растительностью. Для многолетних культур дата посадки заменяется датой «озеленения», т. е. временем появления новых листьев.

Стадия развития растения длится, начиная с 10 % до полного покрытия растениями поверхности. Эффективное полное покрытие для многих культур совпадает с началом цветения. Для густой травы эффективное полное покрытие

может наступить при высоте 0,10-0,15 м. Для небольших полигонов высота травы может достичь 0,3-0,5 м до наступления полного покрытия. Густо посаженные кормовые, такие, как люцерна и клевер, достигают полного покрытия при высоте 0,3-0,4 м.

Стадия середины сезона начинается с момента полного эффективного покрытия до момента начала созревания.

Стадия окончания сезона длится с начала созревания до уборки урожая или полного опадания листьев.

8 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

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.

Необходимо учесть, что полив дождевальными машинами при выдаче больших норм полива осуществляется с малой скоростью и при большой длине машины может длиться до полутора недель. В некоторые напряженные периоды вегетации отдельные сектора или участки полива могут быть пересушены ниже допустимого.

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

Минимальное время вращения (максимальная скорость) обычно составляет от 14 до 20 часов (2-3 м/мин на внешней тележке).

На каждой тележке могут быть установлены специальные высокоскоростные редукторы, позволяющие сократить время вращения до менее чем 12 часов (т.е. до 4,3 м/мин на внешней тележке), что часто желательно на песчаных или глинистых грунтах.

Элементы управления хронометражем на панели управления определяют относительную среднюю скорость внешней башни. 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). При 100%-ной настройке машина движется с максимальной скоростью (минимальное время вращения), тогда как при 50%-ной настройке в результате внешняя башня движется с вдвое меньшей максимальной скоростью. Конечно, чем меньше скорость вращения, тем больше количество подаваемой воды. Все остальные колонки должны находиться на одной линии с концевой колонкой.

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. Чем меньше время импульса и больше время паузы, тем выше выдается норма полива.

Т.е. установка таймера производится заданием в секундах длительностью импульса I_m и паузы P_m . Соотношение их определяет продолжительность включения $Pz\%$ электродвигателя крайней тележки в течение цикла полива [42, 99-101].

$$Pz\% = \frac{I_m}{I_m + P_m} 100\%, \quad (8.1)$$

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

Опорная тележка движется со скоростью:

$$V_{CP} = \Delta a / t_M, \quad (8.2)$$

Δa – шаг машины; t_M – время движения;

а шаг

$$\Delta a = \ell / n, \quad (8.3)$$

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

$$\ell = 2\pi L_M. \quad (8.4)$$

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:

$$\Delta a = V_{CP} t_M \psi / 60, \quad (8.5)$$

ψ – коэффициент буксования.

Скорость движения машины, м/с:

$$V_{CP} = 60 \Delta a \psi / t_c, \quad (8.6)$$

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

Рассмотрим процессы, происходящие в почве при поливе.

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

$$W' = 100h \rho \omega_{HB}, \quad (8.7)$$

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

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

Уравнение водного баланса применительно к одному поливу [41]:

$$Et = (W' - W'') + M + M_{\text{ос}} + M_{\text{В}} - W_{\text{F}}, \quad (8.8)$$

Et – суммарное водопотребление, мм; W'' - конечные влагозапасы, м³/га;

M – поливная норма; $M_{\text{ос}}$ – осадки; $M_{\text{В}}$ – подпитка грунтовыми водами;

W_{F} –потери на сток и фильтрацию, м³/га.

Можно пренебречь величинами $M_{\text{ос}}$, $M_{\text{В}}$ и W_{F} или учесть их в поливной норме.

Потери воды из дождевателей вблизи поверхности земли (приповерхностный полив) обычно составляют от 0 до 2% из-за испарения капель, ветровой снос обычно составляет менее 5%.

Влагозапас активной зоны до прохода дождевальной машины [41], м³/га:

$$W_{\text{к}} = W' - Et, \quad (8.9)$$

t – время от начала полива до конечной точки движения машины, сут.

Конечная точка движения определяется принятой схемой работы. При движении по кругу – это время оборота машины. При поливе с реверсом (например, половина круга) это– время в течение которого машина проходит половину дуги окружности.

Норма полива находится по формуле [41], м³/га

$$M = 100h \rho (\omega_{\text{НВ}} - \omega_{0,8\text{НВ}}), \quad (8.10)$$

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

Согласно рекомендациям, в условиях засушливого вегетационного периода, рекомендуется поддерживать предполивной порог влажности почвы для кукурузы в слое 0-60 см не ниже 70-75 % НВ, картофеля не ниже 80 % НВ в слое 0-60 см. Для лука 80 % НВ в слое 0-50 см, моркови летней посадки не ниже 80-85 % НВ в слое почвы 0-60 см [97].

Известно, что максимально доступная влага равна наименьшей влагоемкости за вычетом влаги устойчивого завядания (таблица 8.1).

Таблица 8.1 – Характеристики почвы

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

Смоделируем полив поля. Допустим засеяна одна культура. Пространственной неоднородностью почвы и колебаниями водопотребления пренебрегаем. Уклон и осадки отсутствуют.

Определяющим условием будет неравенство [41]:

$$\omega \leq \omega(\varphi, t) \leq 100\% \text{ НВ}, \quad (8.11)$$

$\omega(\varphi, t)$ – 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. 8.1.

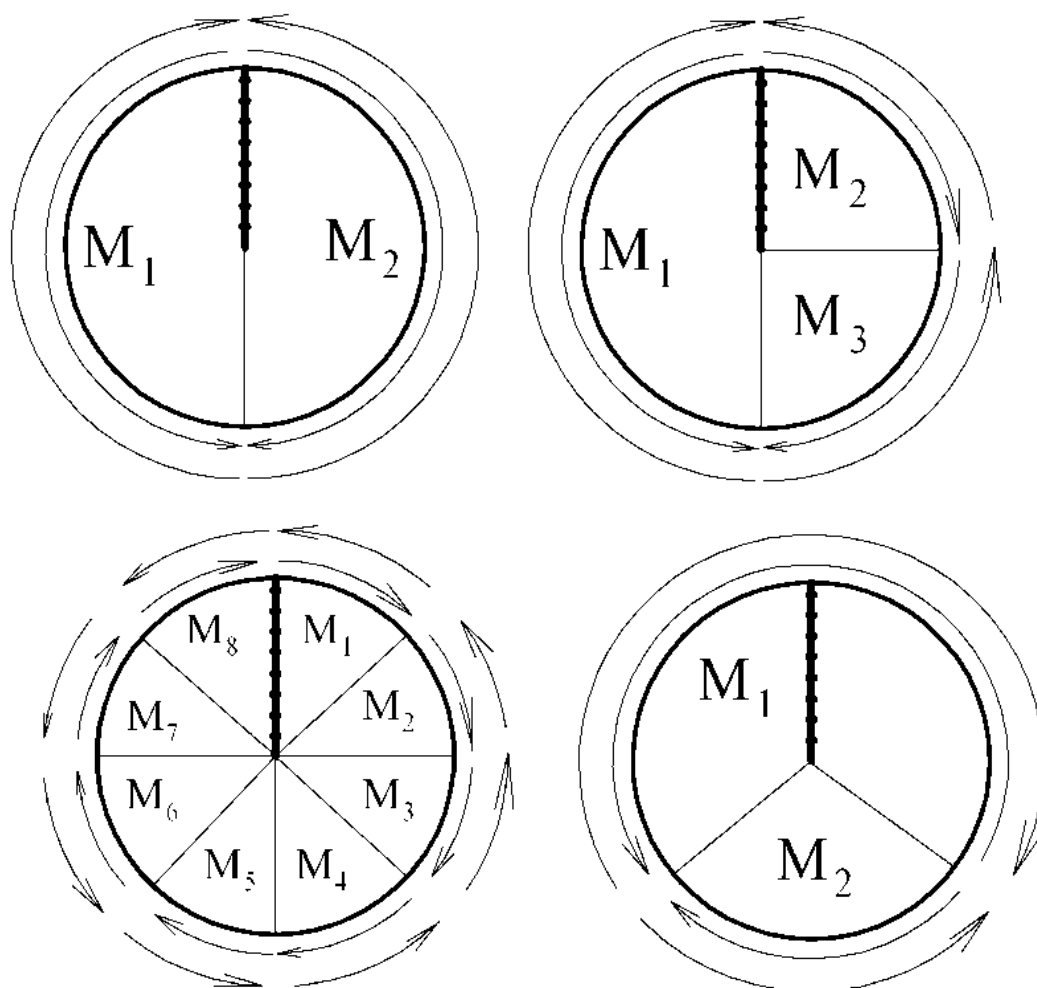


Рисунок 8.1– Технологические схемы полива

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 8.2).

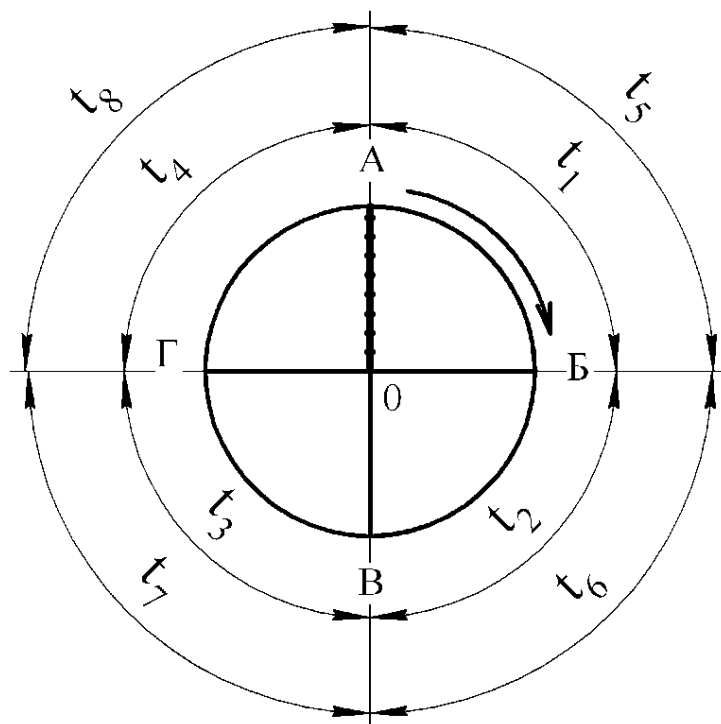


Рисунок 8.2 – Схема полива при изменении поливной нормы по секторам

Скорректируем скорость движения по кругу дождевальной машины, а следовательно и норму полива таким образом, чтобы поливная норма изменялась на величину затрат на водопотребление.

Дождевальная машина длиной L_M движется по кругу, осуществляя полив с начальной поливной нормой M , $\text{м}^3/\text{га}$. Разделим поливной круг на четыре равных сектора, имеющим среднее значение скорости, времени и нормы полива.

Тогда:

$$Q_M t_C = M S_{\text{СЕК}}, \quad (8.12)$$

где Q_M – расход дождевальной машины, $\text{м}^3/\text{ч}$; t_C – время полива сектора, ч; $S_{\text{СЕК}}$ – площадь сектора, га.

$$t_C = \frac{S_{\text{СЕК}} M}{Q_M} = 0,5 \frac{\ell_{\text{СЕК}} R_M M}{Q_M}. \quad (8.13)$$

ψ – коэффициент буксования.

Скорость движения тележки с учетом буксования, м/мин:

$$V_{\text{CP.CEK}} = \frac{\psi \ell_{\text{CEK}}}{60 t_c} \quad (8.14)$$

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

$$W_1 = M + E_1 t_{C1}, \quad (8.15)$$

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

Требуемая поливная норма:

$$M_1 = \frac{Q_M t_{C1}}{S_{\text{CEK}}} = \frac{2 Q_M t_{C1}}{\ell_{\text{CEK}} R_M}, \quad (8.16)$$

где ℓ_{CEK} – длина дуги движения последней тележки

После преобразования уравнения, находим время полива в первого сектора:

$$t_{C1} = \frac{0,5 \ell_{\text{CEK}} R_M M}{Q_M - 0,5 \ell_{\text{CEK}} R_M E_1}. \quad (8.17)$$

Первый полив, второй сектор.

Необходимое количество влаги W_2 , м³/га, в точке В:

$$W_2 = M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2}, \quad (8.18)$$

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

Поливная норма:

$$M_2 = \frac{2 Q_M t_{C2}}{\ell_{\text{CEK}} R_M}, \quad (8.19)$$

Время полива второго сектора:

$$t_{C2} = \frac{0,5 \ell_{\text{CEK}} R_M (M + E_1 t_{C1})}{Q_M - 0,5 \ell_{\text{CEK}} R_M E_2}, \quad (8.20)$$

Первый полив, третий сектор.

$$W_3 = M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2} + E_3 t_{C3}, \quad (8.21)$$

где E_3 – среднечасовое водопотребление на третьем секторе, $\text{м}^3/\text{га}$; t_{C3} – время полива третьего сектора, ч.

$$M_3 = \frac{2Q_M t_{C3}}{\ell_{CEK} R_M}. \quad (8.22)$$

$$t_{C3} = \frac{0,5\ell_{CEK} R_M (M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2})}{Q_M - 0,5\ell_{CEK} R_M E_3}. \quad (8.23)$$

Первый полив, четвертый сектор.

$$W_4 = M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2} + E_3 t_{C3} + E_4 t_{C4} \quad (8.24)$$

где E_4 – среднечасовое водопотребление четвертого сектора, $\text{м}^3/\text{га}$; t_{C4} – время полива четвертого сектора, ч.

$$M_4 = \frac{2Q_M t_{C4}}{\ell_{CEK} R_M}. \quad (8.25)$$

$$t_{C4} = \frac{0,5\ell_{CEK} R_M (M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2} + E_3 t_{C3})}{Q_M - 0,5\ell_{CEK} R_M E_4}. \quad (8.26)$$

Аналогичным образом рассмотрим второй полив.

Второй полив, первый сектор.

$$W^{(2)}_1 = M - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5}, \quad (8.27)$$

где E_5 – среднечасовое водопотребление первого сектора при втором поливе, $\text{м}^3/\text{га}$; t_{C5} – среднее время полива первого сектора при втором поливе, ч.

$$M_5 = \frac{2Q_M t_{C5}}{\ell_{CEK} R_M}. \quad (8.28)$$

$$t_{C5} = \frac{0,5\ell_{CEK} R_M (M - E_1 t_{C1})}{Q_M - 0,5\ell_{CEK} R_M E_5}. \quad (8.29)$$

Второй полив, второй сектор.

$$W^{(2)}_2 = M - E_1 t_{C1} - E_2 t_{C2} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6}, \quad (8.30)$$

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:

$$M_6 = \frac{2Q_M t_{C6}}{\ell_{CEK} R_M}. \quad (8.31)$$

$$t_{C6} = \frac{0,5\ell_{CEK} R_M (M - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5})}{Q_M - 0,5\ell_{CEK} R_M E_6}. \quad (8.32)$$

Второй полив, третий сектор.

$$W^{(2)}_3 = M - E_3 t_{C3} - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6} + E_7 t_{C7}, \quad (8.33)$$

где E_7 – среднечасовое водопотребление на третьем секторе при втором поливе, м³/га; t_{CEK7} – среднее время полива третьего сектора при втором поливе, ч.

$$M_7 = \frac{2Q_M t_{C7}}{\ell_{CEK} R_M}. \quad (8.34)$$

$$t_{C7} = \frac{0,5\ell_{CEK} R_M (M - E_3 t_{C3} - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6})}{Q_M - 0,5\ell_{CEK} R_M E_7} \quad (8.35)$$

Второй полив, четвертый сектор:

$$W^{(2)}_4 = M - E_4 t_{C4} - E_3 t_{C3} - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6} + E_7 t_{C7} + E_8 t_{C8}. \quad (8.36)$$

$$M_8 = \frac{2Q_M t_{C8}}{\ell_{CEK} R_M}. \quad (8.37)$$

$$t_{C8} = \frac{0,5\ell_{CEK} R_M (M - E_4 t_{C4} - E_3 t_{C3} - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6} + E_7 t_{C7})}{Q_M - 0,5\ell_{CEK} R_M E_8}. \quad (8.38)$$

На основании представленной методики был разработан алгоритм расчета и программа на языке программирования C # .

Задавая характеристики машины, оросительную норму, водопотребление, количество секторов и поливов можно определить рекомендуемые нормы полива по секторам, время полива, скорость машины и др., рис. 8.3., рис.8.4.

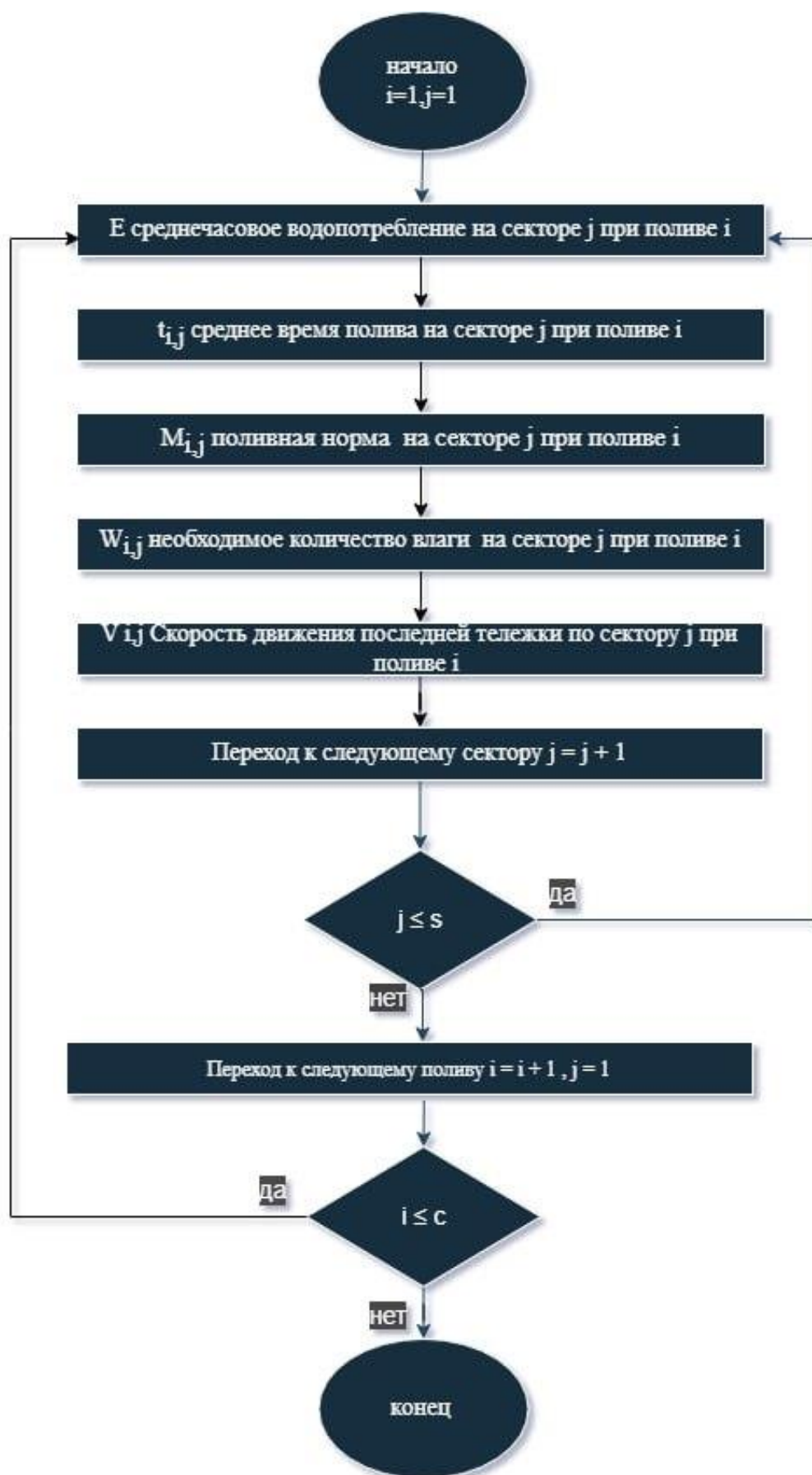


Рисунок 8.3 -Алгоритм расчета

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

Рисунок 8.4 –Программа расчета

Оптимизация режима полива с реверсом движения

В этом случае машина не проходит полный круг, возвращаясь в точку ϕ , двигаясь в обратном направлении реверсивно. Норма полива в начале возврата должна быть откорректирована, полив той же нормой вызывает сток. При выдаче за два прохода, рис. 8.5.

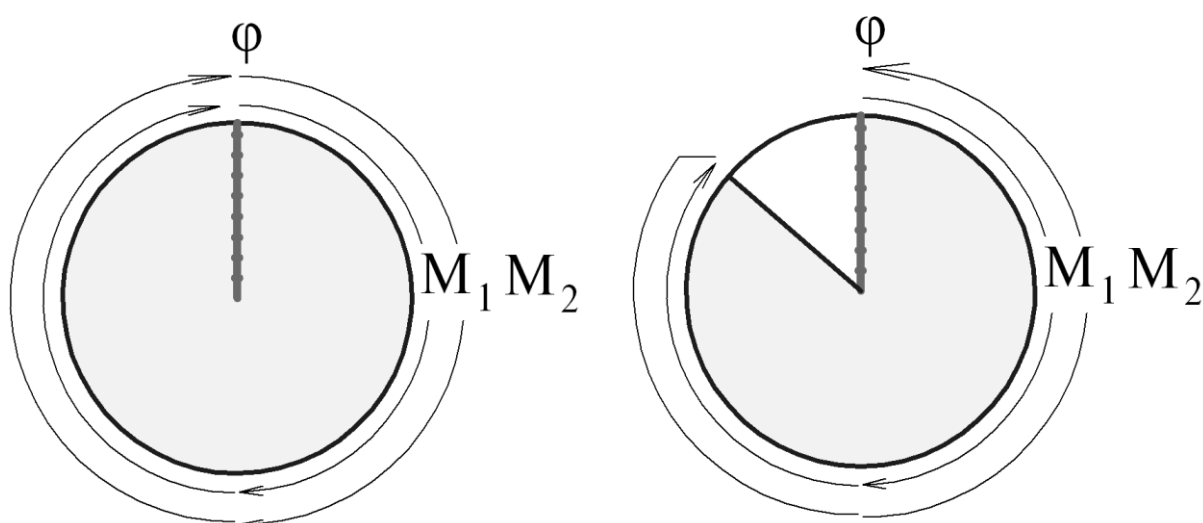


Рисунок 8.5– Схема выдачи поливной нормы за два прохода

$$M=M_1(\varphi) + M_2(\varphi). \quad (8.39)$$

В прямом ходе начальные влагозапасы будут снижаться на $10Et$ [41], сут:

$$t = \frac{1}{1440K_{\text{СУТ}}} \int_0^{\varphi} \frac{d\varphi}{V_{\text{CP}}(\varphi)}, \quad (8.40)$$

где 1440 –коэффициент перевода минут в сутки 60×24 ; $K_{\text{СУТ}}$ – коэффициент использования времени; V_{CP} – скорость машины, м/мин;

Слой осадков за проход [42]:

$$h = \frac{120Q_M}{R_M V_{\text{CP}}}, \quad (8.41)$$

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

$$\frac{M}{10} \equiv h, \quad (8.42)$$

h – слой осадков, мм.

$$M = \frac{1200Q_M}{R_M V_{\text{CP}}}, \quad (8.43)$$

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

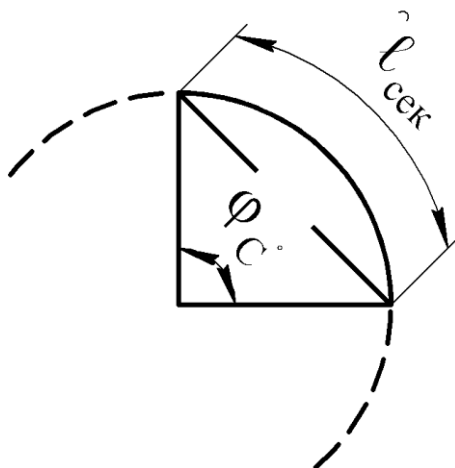


Рисунок 8.6 –Схема полива сектора

$$S_{\text{СЕК}} = \frac{\pi R_M^2 \varphi_C}{360} = \frac{l_{\text{СЕК}} R_M}{2}. \quad (8.44)$$

При прохождении сектора:

$$M_1 = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{СЕК}} V_{\text{СР}}}. \quad (8.45)$$

Время прохождения сектора:

$$t = \xi \int_0^{\varphi} M_1(\varphi) d\varphi, \quad \xi = \frac{s}{432 \cdot 10^3 K_{\text{СУТ}} Q_M}. \quad (8.46-8.47)$$

s – путь, проходящий последней опорной тележкой.

Мгновенная интенсивность дождя, мм/мин:

$$\rho_{\text{МГ}} = \frac{120Q_M}{R_M^2 \varphi_C}, \quad (8.48)$$

φ_C – угол сектора.

Изменение влагозапасов перед машиной при движении вперед:

$$f_1(\varphi) = W_0 - 10E\xi \int_0^{\varphi} M_1(\varphi) d\varphi. \quad (8.49)$$

W_0 – минимально допустимые влагозапасы, м³/га.

После прохода машины:

$$W_1 = f_1(\varphi) + M_1(\varphi). \quad (8.50)$$

При движении машины в обратную сторону перед ней влагозапасы выражаются функцией $f_2(\varphi)$, позади машины:

$$W_2 = f_2(\varphi) + M_2(\varphi). \quad (8.51)$$

Δt – промежуток времени через который машина повторно попадет в точку φ пройдя путь s .

$$\Delta t = \xi \int_{\varphi}^s [M_1(\varphi) + M_2(\varphi)] d\varphi = \xi(s - \varphi)M. \quad (8.52)$$

Максимальный путь, пройденный опорной тележкой в одну сторону:

$$s_{\text{MAX}} = \ell = 2\pi R_M, \quad (8.53)$$

Полив половины окружности с реверсом, рис. 8.7.

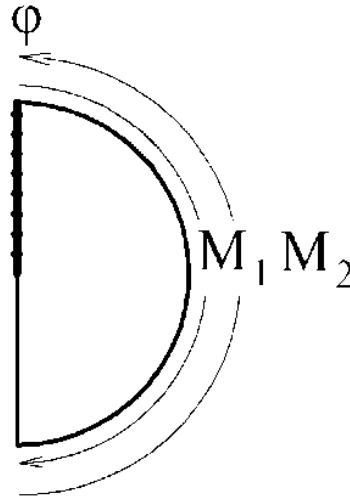


Рисунок 8.7. –Схема полива половине окружности с реверсом

Время затраченное на движение по половине дуги окружности в прямом ходе и реверсе:

$$\Delta t = \xi \int_{\varphi}^{\ell/2} [M_1(\varphi) + M_2(\varphi)] d\varphi = \xi \left(\frac{\ell}{2} - \varphi \right) M, \quad (8.54)$$

$$f_2(\varphi) = f_1(\varphi) + M_1(\varphi) - 10\xi E(s-\varphi)M. \quad (8.55)$$

$$f_2(\varphi) = f_1(\ell) = W_0 = \text{const}, \quad (8.56)$$

W_0 – минимально допустимые влагозапасы, $\text{м}^3/\text{га}$; E – интенсивность водопотребления, $\text{мм}/\text{сут}$.

$$\frac{dM_1(\varphi)}{d\varphi} - 10E\xi M_1(\varphi) = -10E\xi M, \quad (8.57)$$

Тогда:

$$M_1(\varphi) = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{CEK}}V_{\text{CP}}(\varphi)} [1 - e^{10E\xi(\varphi-s)}], \quad (8.58)$$

$$M_2(\varphi) = 2\pi \frac{1200Q_M}{\ell_{\text{CEK}}V_{\text{CP}}(\varphi)} e^{10E\xi(\varphi-s)}. \quad (8.59)$$

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

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

Важно определить факторы, определяющие необходимость корректировки режима орошения, т.е. своевременного принятия решений о внесении изменений в планируемый режим орошения.

Оперативное управление работой дождевальными машинами с использованием математических моделей и компьютерных технологий повышает точность подачи и распределения по площади орошения, обеспечивает экономию водных и энергетических ресурсов.

Оперативное управление поливами включают в себя периодическую оценку почвенных влагозапасов, определяемых с видом сельскохозяйственных культур и фазой развития.

Алгоритм управления поливами представлен на рисунке 8.8.

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, достоковой 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 достоковую 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.

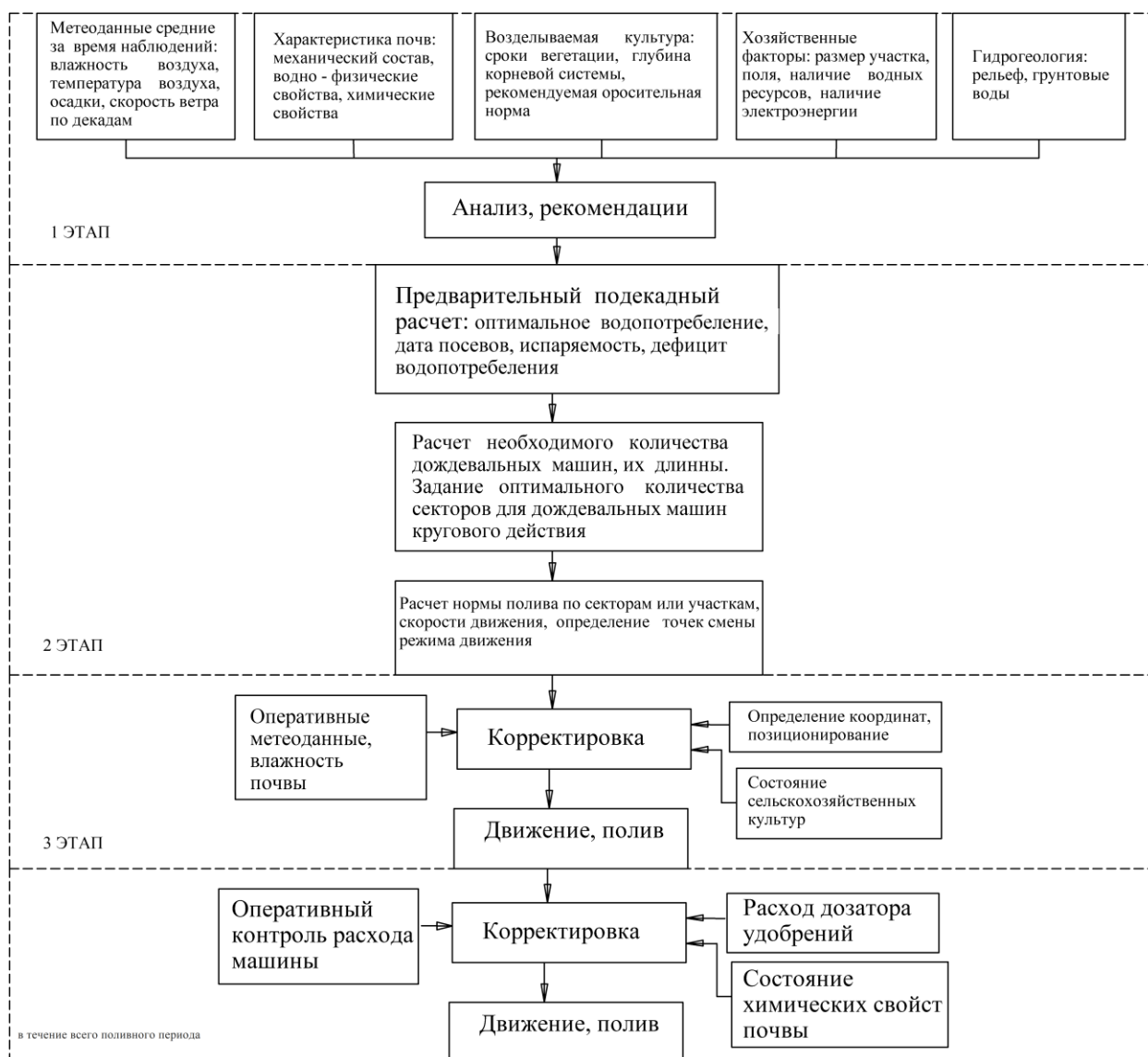


Рисунок 8.8 –Схема задания режима работы машины

Информация для контроля:

- влажность почвы в начале вегетационного периода,
- контрольные замеры выданных поливных норм и равномерности их распределения по площади и глубине по секторам,
- сбор сведений о состоянии посевов, ходе агротехнических мероприятий.

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

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

-с характеристиками дождевальнoй 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.

На основе анализа технологии орошения 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.

9 СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАНДАРТНОЙ И ПРЕДЛАГАЕМОЙ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛИВА

Полив по стандартной и предлагаемой экспериментальной технологиям проводились на соседних участках в течении трех лет, таблица 9.1. Метеорологические данные представлены в таблице 9.2. Тип почвы на участках - темно-каштановый суглинок.

Сезон орошения был разделен на несколько декад, в течение которых фиксировались количество осадков и интенсивность полива.

Результаты измерений влажности почвы с середины последней декады апреля по сентябрь месяц представлены на рисунках 9.1.-9.4.

Как показывают сравнения, влажность почвы (0,8 м глубина измерений) практически не отличались по двум технологиям.

Таблица 9.1– Метеорологические данные

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

Оросительная норма 1600 м³/га, планируемая в 2020 году по стандартной технологии вносилась за 4 полива по 400 м³/га. По результатам, оросительная

норма по оптимизированной экспериментальной технологии в 2020 году составила 1570 м³/га.

Аналогично планируемая оросительная норма в 2021 г 1600 м³/га, по оптимизированной технологии - 1440 м³/га. Соответственно на 30 и 110 м³/га меньше.

В 2022 г оросительная норма была увеличена до 2000 м³/га по стандартной технологии и вносилась за 4 полива по 500 м³/га. По оптимизированной технологии она составила 1790 м³/га, что на 210 м³/га меньше. Полученные данные представлены в таблице 9.2.

Таблица 9.2– Сравнительные данные по стандартной и оптимизированной технологии на 1га

Параметр	2020 год		2021 год		2022 год	
	Стандарт	Оптимизация	Стандарт	Оптимизация	Стандарт	Оптимизация
Оросительная норма, м ³ /га	1600	1570	1600	1440	2000	1790
Экономия, м ³ /га		30		110		210

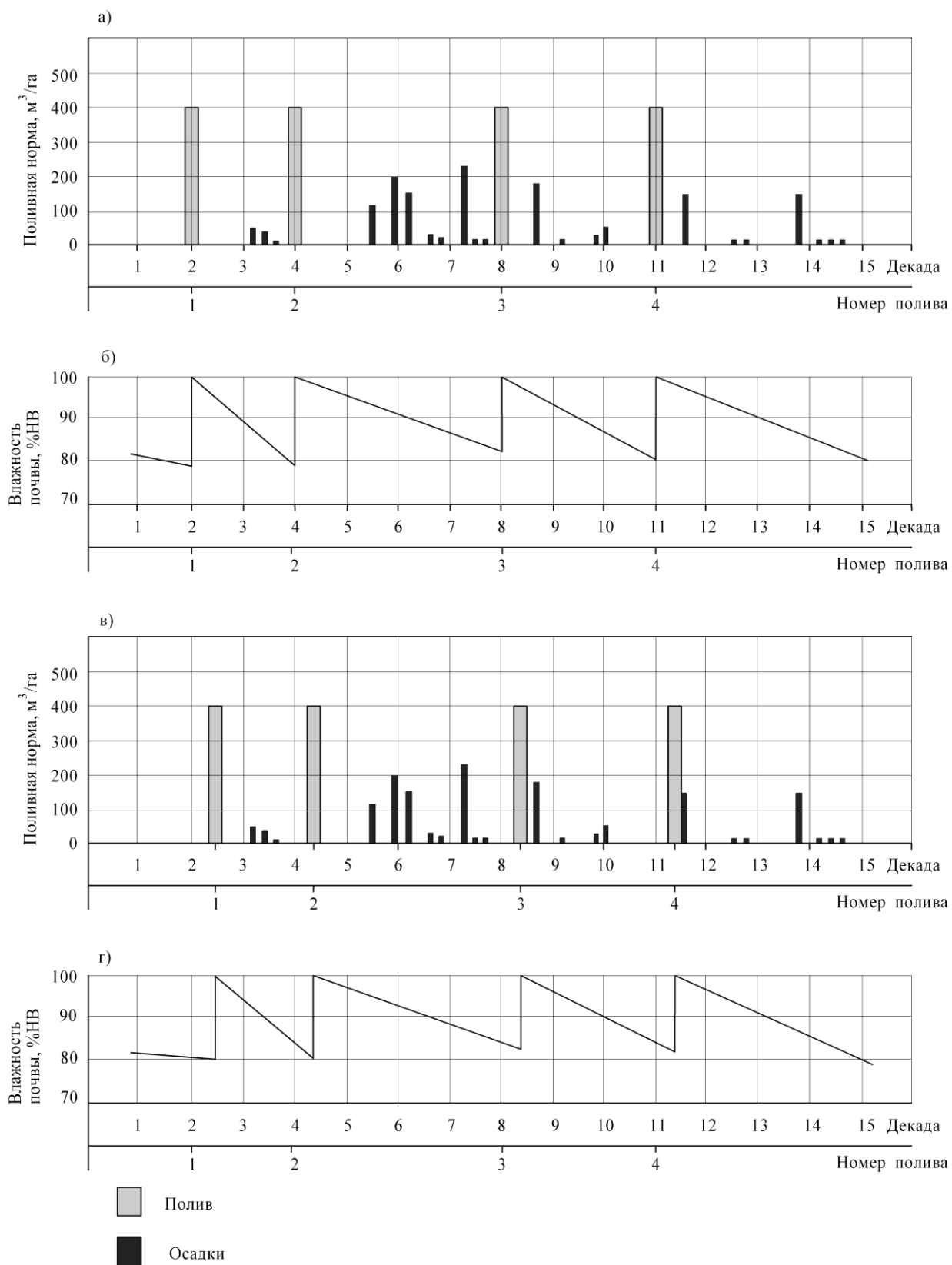


Рисунок 9.1 – Система внесения поливной нормы и влажность почвы по стандартной технологии, 2020 год: а, б – начало первого сектора; в, г – конец последнего сектора;

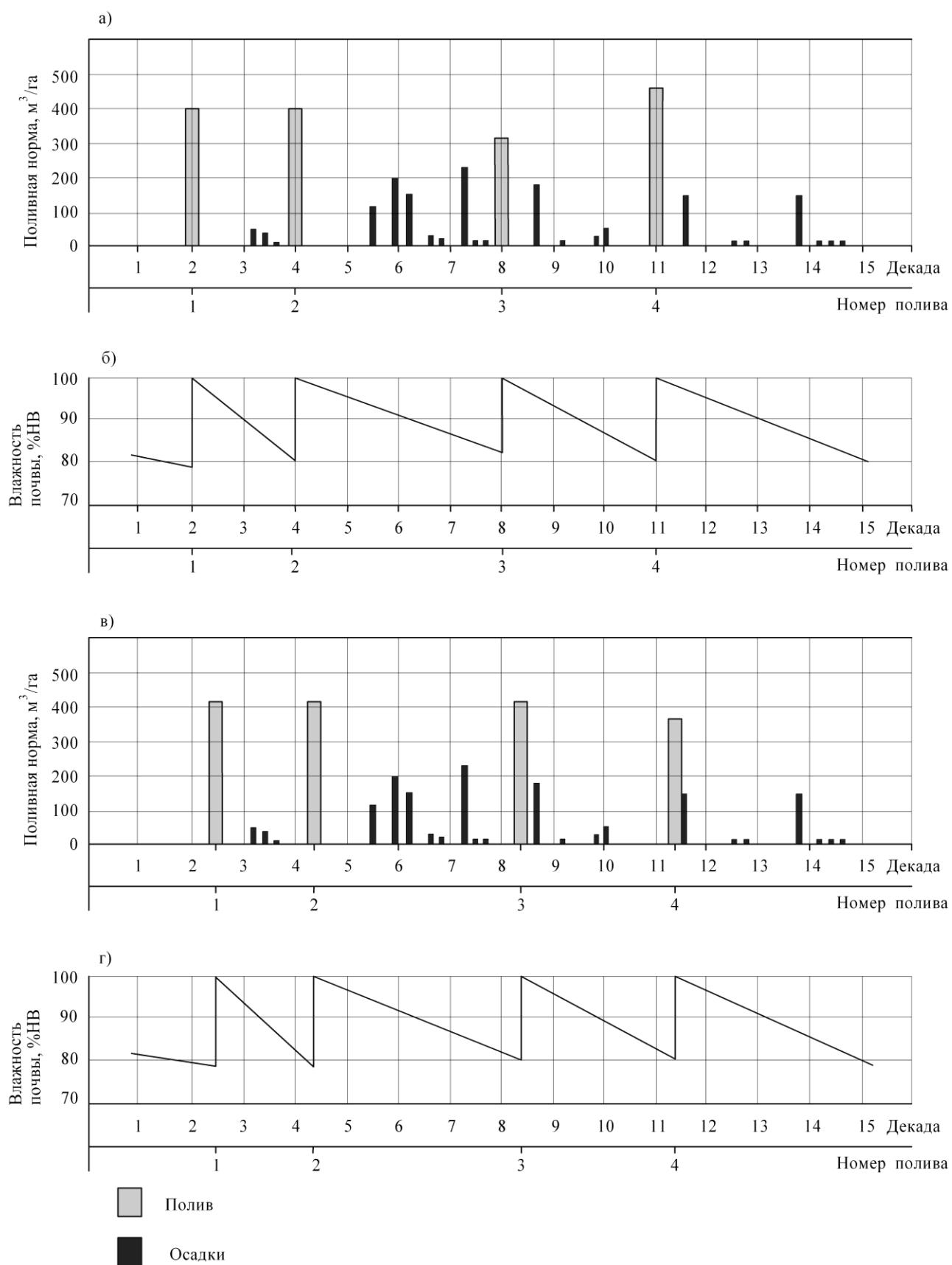


Рисунок 9.2 – Система внесения поливной нормы и влажность почвы по предлагаемой технологии, 2020 год: а, б – начало первого сектора; в, г – конец последнего сектора

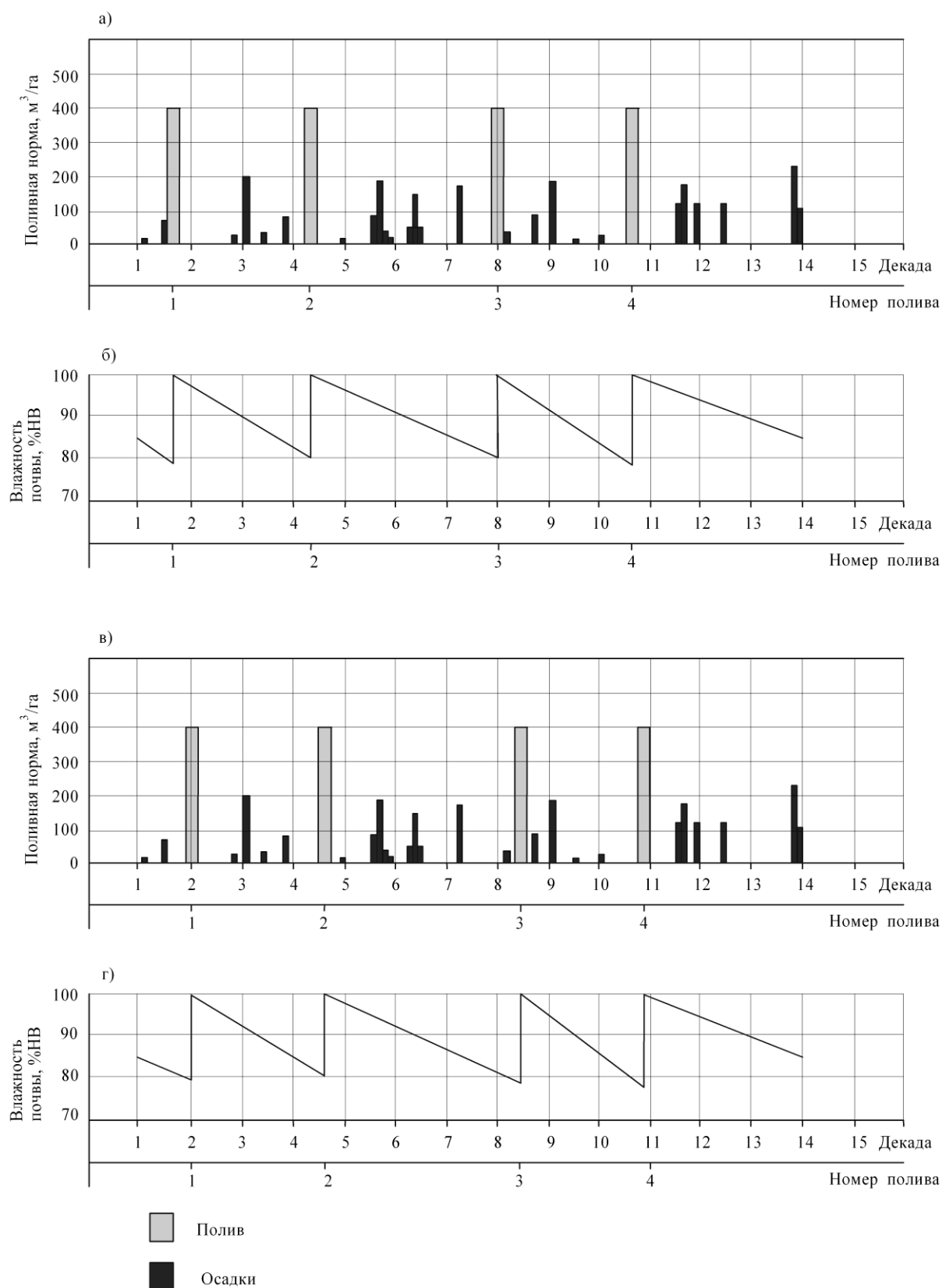


Рисунок 9.3 – Система внесения поливной нормы и влажность почвы по стандартной технологии 2021год: а, б – начало первого сектора; в, г –конец последнего сектора

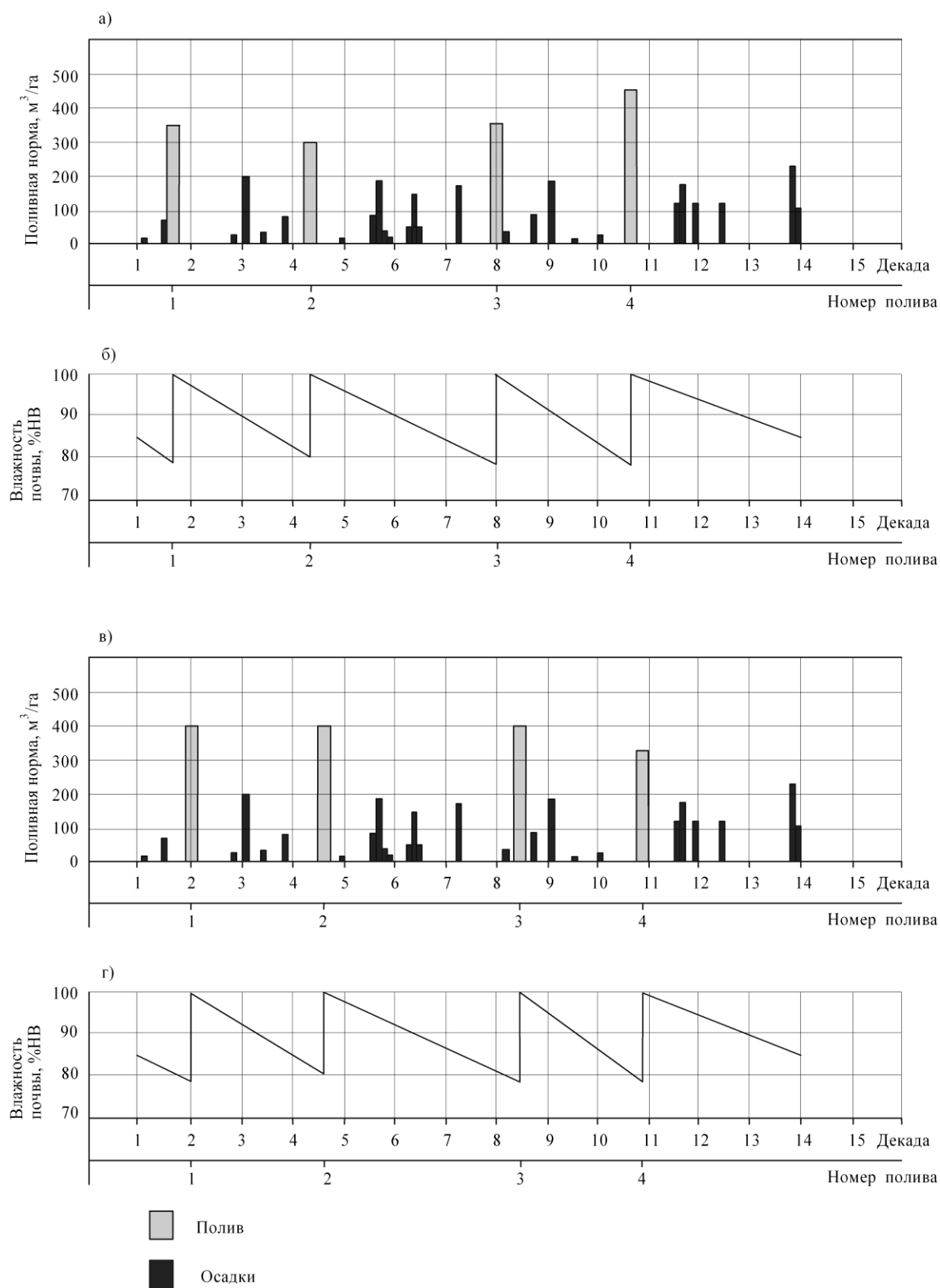


Рисунок 9.4 – Система внесения поливной нормы и влажность почвы по предлагаемой технологии за 2021 г: а, б – начало первого сектора; в, г – конец последнего сектора

10 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 0,43 МПа [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 10.1.

Таблица 10.1 – 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

Равномерность полива оценивалось при разных скоростях машины. Производилось измерение слоя осадков вдоль водопроводящего трубопровода машины в каждом секторе на режимах движения 41 и 20%. Т.е. при нормах полива 150 и 250 м³/га.

В процессе проведения эксперимента учитывались и фиксировались метеоусловия (табл. 10.2), а также определялись гидравлические характеристики потока в трубопроводе машины.

Таблица 10.2– 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 10.3 –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

Экспериментальные исследования показали, что на гидравлические характеристики, в частности на распределение давления в водопроводящем трубопроводе значительно влияет рельеф местности [39, 141].

Минимальные значения давления 0,24 МПа зафиксированы в середине трубопровода на положительном уклоне первого сектора.

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

Максимальное давление 0,30 МПа фиксировалось в середине трубопровода во втором секторе полива на отрицательном уклоне и у консоли.

При скорости 0,35 м/мин максимальный слой осадков до 50 мм наблюдался во втором секторе, имеющем отрицательный уклон.

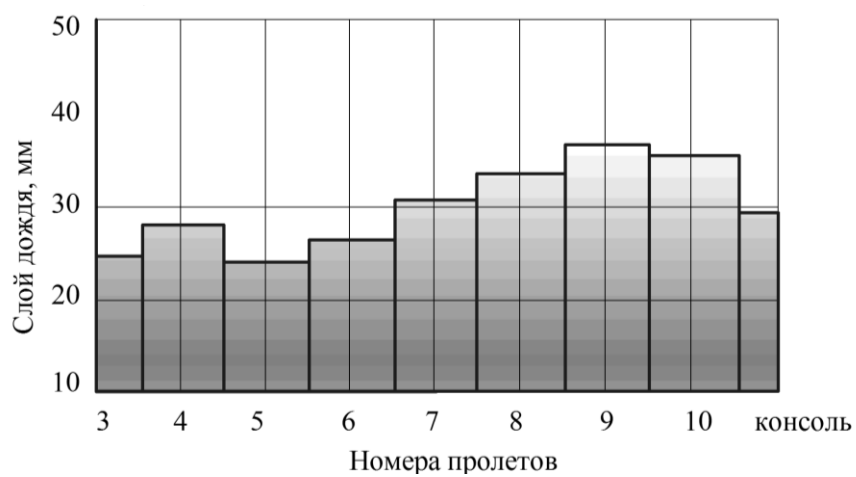
Минимальный слой осадков 25 мм получен в первом секторе полива с положительным уклоном (рис. 10.4).

При скорости 0,67 м/мин количество осадков наблюдался от 16,5 до 22 мм, т.е. колебания значений меньше (рис. 10.5).

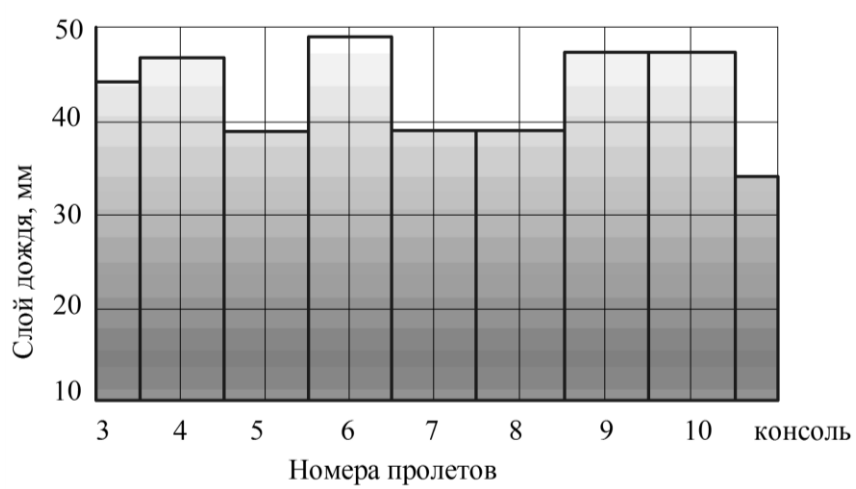
Для оценки качества полива определялись коэффициенты эффективного, недостаточного и избыточного полива в зависимости от уклонов местности и скорости движения машины. Полученные данные представлены в таблице 10.6.

Таблица 10.5 – Коэффициенты эффективного, недостаточного и избыточного полива в зависимости от уклонов местности и скорости движения машины

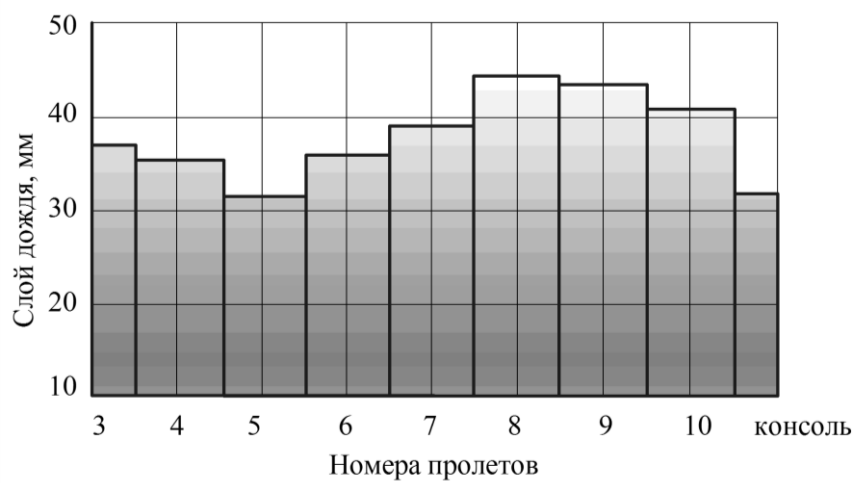
Сектор	Режим движения	Показатели			
		Среднее значение слоя дождя, мм	Коэффициенты		
			Эффективного полива $K_{\text{Э}}$	Недостаточного полива $K_{\text{Н}}$	Избыточного полива $K_{\text{И}}$
1	41	17	0,70	0,19	0,11
	20	30	0,73	0,15	0,12
2	41	22	0,66	0,19	0,15
	20	42	0,74	0,17	0,09
3	41	21	0,75	0,19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



а)



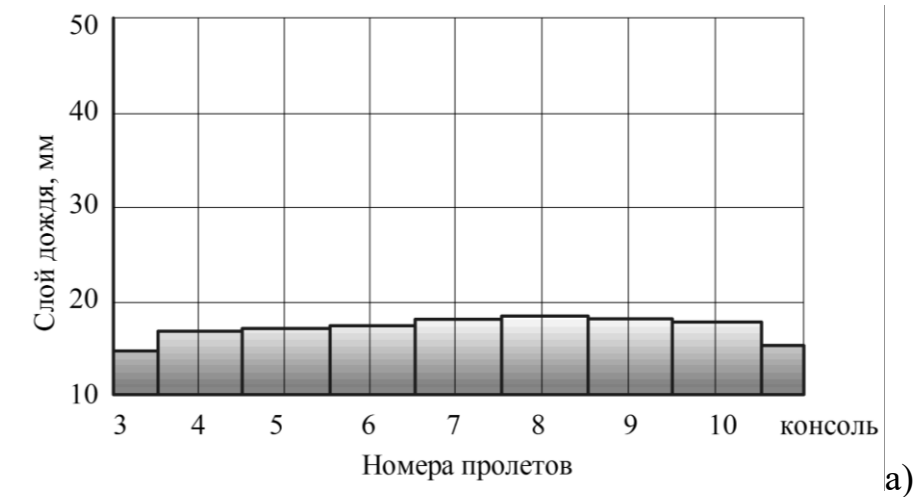
б)



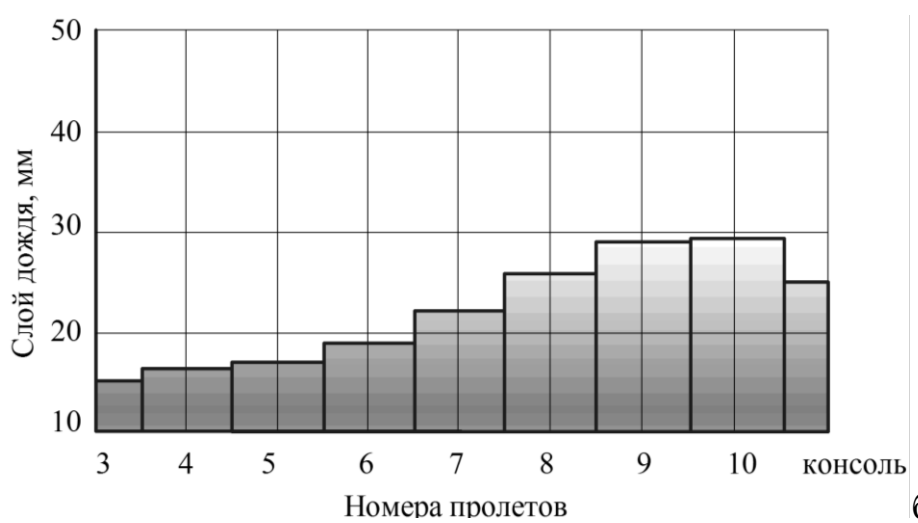
в)

Рисунок 10.5— Распределение слоя дождя при скорости 0,35 м/мин

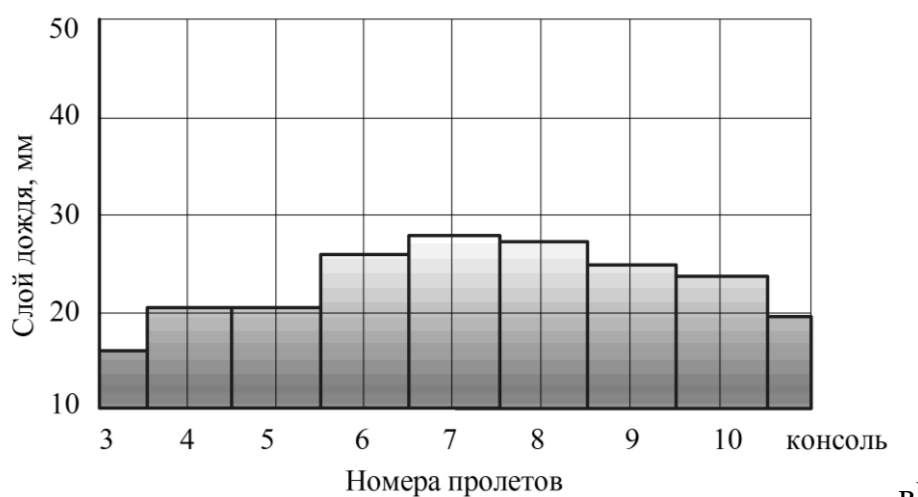
а) 1 сектор; б) 2 сектор; в) 3 сектор.



а)



б)



в)

Рисунок 10.6— Распределение слоя дождя при скорости 0,67 м/мин а) 1 сектор; б) 2 сектор; в) 3 сектор.

Полученные значения свидетельствуют о значительном разбросе значений коэффициента эффективного полива во всех трех секторах. Его значения зависят от рельефа местности и скорости движения техники.

При больших положительных уклонах влияние скорости на K_9 незначительно.

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. Чем ниже скорость машины, т.е. чем больше задаваемая норма полива, тем больше разброс значений. Из этого можно сделать вывод, что нежелательна большая норма полива, выдаваемая за оборот [40].

В качестве рекомендаций можно отметить: при норме полива более 300 м³/га при поливе на участках с уклоном требуется установка регуляторов, либо использование технологических приемов выдачи поливных норм за несколько проходов [40].

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.

Положительный средний уклон в первом секторе +0,038. Во втором секторе отрицательный – 0,028. Третий сектор 3 с уклоном – 0,004.

Результаты показывают ровные значения слоя дождя и повышение коэффициента эффективности полива, табл. 10.7 .

При орошении участков с уклоном, для повышения равномерности при поливе большими нормами за проход одним из решений является установка дождевателей по учащенным схемам через 2,9 м с регуляторами давления, что повышает стоимость комплект дождевателей, но за счет увеличения равномерности обеспечивает повышение урожайности.

Таблица 10.7 – 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 $K_{\text{Э}}$	Недостаточного полива $K_{\text{Н}}$	Избыточного полива $K_{\text{И}}$
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

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.

Анализ исследований авторов [11, 18, 38, 41, 42, 140] показывает, что для обеспечения экологически безопасного полива средняя интенсивность дождя не должна превышать 0,5 мм/мин и диаметр капель до 1,0 мм.

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

С ростом растений и, соответственно, увеличением их защитных свойств по отношению к почве, достоковая норма полива увеличивается. В начале полива требуется максимально щадящий режим.

Таблица 10.8– Характеристики полива

Почва	Марка	Норма полива, м ³ /га	Достоко вая норма, м ³ /га	Величина стока, м ³ /га	Примеча ние
Чернозем обыкновен ный	«Кубань-ЛК1»	305	530	0	
		400	540	0	
		510	535	0	
Темно- каштановы й 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 10.9.

Таблица 10.9 – Сравнительные характеристики теоретической и фактической скоростей

Норма полива, м ³ /га			Скорость движения, м/мин		
План	Факт	Отклонение %	План	Факт	Отклоне ние %
«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

Экспериментальные исследования подтверждают теоретические предпосылки. Фактическая скорость меньше планируемой на 9,5-14%, причем

с увеличением поливной нормы эта разница увеличивается. Снижение скорости машины увеличивает норму полива на 7-10,5%.

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

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полив дождеванием является одним из распространенных и эффективных способов полива. Однако полив, выполняемый широкозахватной дождевальнoй техникой с постоянной нормой не всегда соответствует значению недостающей влаги. Традиционная технология часто способствует переполивu, водной эрозии, выносу питательных веществ из почвы с поверхностным стоком, засолению и заболачиванию, перерасходу электроэнергии. Повышение качества орошения, обеспечение ресурсосбережения может быть достигнуто путем изменения поливной нормы в соответствии с уровнем влагозапасов участков поля на момент их полива.

На основании проведенных теоретических исследований технологии полива дождевальными машинами кругового действия выполнена оптимизация режима полива. Разработаны математические модели предлагаемых технологий полива и прикладная программа расчета поливных норм. Рассмотрен механизм управления поливами.

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

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.

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 \(rbc.ru\)](https://rbc.ru/analiz/2024/03/19/analiz-rynka-orositelnykh-sistem-v-rossii-2024)– (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.: 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 / Б. Е. Викторова. – 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 дождевальной 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.: Стандартинформ, 2006. – 8с.

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

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

25. ГОСТ ИСО 8224-1-2004. Машины дождевальные подвижные. Часть 1. Эксплуатационные характеристики и методы лабораторных и полевых испытаний. – М.: Стандартинформ, 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.: «УОУОMedia», 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 дождевальных машин: монография: / Л.А. Журавлева, А.С. Апатенко, Н.С. Севрюгина, О.М. Кузина. Москва, 2023. -237с.

42. Журавлева, Л. А. Ресурсосберегающие широкозахватные дождевальные 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 дождевальных 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 дождевальных 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 дождевальной техникой// 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. Дождевательные 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 / 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 дождевальной 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 / Романова Любовь Геннадиевна. – 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 мно-гоопорных 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. 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 дожде-вальными 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 and C. Dennis // Copyright © 1997 University of Idaho College of Agriculture .Cooperative Extension System l Agricultural Experiment Station.– 1997. – P.20.
132. Catalog–Komet–Pivot–5–Features.Komet Austria GmbH. [Электронныйресурс]. –Режимдоступа: www.kometirrigation.com– (Датаобращения: 19.03.2018).
133. Catalog–Irrifrance. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.irrifrance.com– (Дата обращения: 20.03.2018).

134. Egorov V.V., 1988. Krizisnye yavleniya prioroshenii [Crisis Phenomena During Irrigation]. Zemledeliye [Soil Study], no. 1, pp. 30-32. (In Russian)
135. Khaled A. Shalabi, Yasser E. Arafa. A Developed Simple Spreadsheet for Center Pivot Irrigation System Design. 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. Prihod'ko V.E., 1996. Oroshaemye stepnye pochvy: funktsionirovanie, ekologiya, produktivnost. Moscow, Intellect Publ., 180 p. (In Russian).
138. Zaporozhnikhenko E.V., 1986. Izmenenie pochvenno-meliorativnykh i gidrogeologicheskikh usloviy Severnogo Kavkaza pod vozdeystviem melioratsii i orosheniya. Melioratsiya i oroshenie pochv ravninnogo Kavkaza: sb. Moscow, Nauka Publ., pp. 69-72. (In Russian)
139. Zhuravleva L.A. Design Features of wide Span sprinkling Machines Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2024. T. 53. № 1. C. 51-58.
140. Zhuravleva L.A. Intelligent Control System Wide-reach Sprinklers Circular Action. II International scientific and practical conference "Improving energy efficiency, environmental safety and sustainable development in agriculture" (EESTE-II-2022). BRISTOL, UK, 2023. C. 12004.
141. Zhuravleva L. Technical and Technological Solutions for Environmentally safe Irrigation with Wide-Reachsprinklers. E3S Web of Conferences. Les Ulis Cedex A, France, 2023. C. 02012.
142. 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 2021" 2022. C. 012003.