

На правах рукописи

Алдиаб Анас

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

Специальность 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и
агрофизика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2025

Работа выполнена на кафедре организации и технологии гидромелиоративных и строительных работ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева».

Научный руководитель: **Журавлева Лариса Анатольевна**,
доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры организации и технологий
гидромелиоративных и строительных работ
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Официальные оппоненты: **Мажайский Юрий Анатольевич**,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
главный научный сотрудник Мещерского филиала
ФГБНУ «Федеральный научный центр
гидротехники и мелиорации имени
А.Н. Костякова».

Рязанцев Анатолий Иванович,
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры технических систем, теории и методики
образовательных процессов ГОУ ВО МО
«государственный социально-гуманитарный
университет»

Ведущая организация: ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский
институт гидротехники и мелиорации»

Защита состоится 08 апреля 2025 г. в 15:00 на заседании
диссертационного совета 35.2.030.07, созданного на базе ФГБОУ ВО
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.
Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, учебный корпус
№28, аудитория 201, тел: 8(499)976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов):
127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке
имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета
www.timacad.ru.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 35.2.030.07
кандидата технических наук, доцент

Н.Б. Мартынова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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

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

Полив с постоянной нормой не всегда соответствует значению недостающей влаги и его применение было оправдано недостаточным уровнем техники.

Дождевальными машинами 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 и электроэнергии, способствует возникновению водной эрозии, выносу питательных веществ из почвы с поверхностным стоком, засолению и заболачиванию.

Степень разработанности проблемы. Вопросам качественного, полива посвящены работы многих ученых. Исследованию поверхностного стока при орошении дождеванием, техническим и технологическим приемам увеличения эрозионно-допустимой поливной нормы посвящены работы Костякова А.Н., Листопада Г.Е, Гаврилицы А.О., Ларионовой А.М., Абрамова Ф.Г., Ерхова Н.С., Шевцова Н.М, Васильева В. В. и др. Большинство исследований основываются на эмпирических данных, исследованиях частного характера.

Повышение эффективности использования дождевальной техники, экономия поливной воды и ресурсов рассматривались Цымбаленко С.В., Фокиным Б.П., Губером К.В., Снопичем Ю.Ф, Н.Ф. Рыжко, Г.В. Ольгаренко, Л.В. Кравченко, Ф.К. Абдразаковым, Д.А. Соловьевым и др. учеными.

В работах И.П. Кружилина, А.В. Колганова, В.Н. Щедрина, А.С. Штанько, С.Л. Жука, А.Е. Шепелева указывается главным приоритетом при управлении водораспределением – поддержание оптимальных режимов мелиорируемых земель, сохранение и воспроизводство почв.

Интересны многочисленные разработки и исследования, выполненные ВНПО «Радуга» по методикам и расчетным моделям оперативного планирования при орошении.

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

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

Задачи исследования:

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

Объект исследований – технология полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия.

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

Методика исследований.

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

Научная новизна.

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

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

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

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

Положения, выносимые на защиту:

- математическая модель технологии полива;
- алгоритм, модель и компьютерная программа для адаптации режима полива к изменяющимся в течение поливного периода условиям;

–результаты исследований по сравнению стандартной и предлагаемой технологий полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия;

–рекомендации по снижению непроизводительных потерь воды и поверхностного стока при работе дождевальных машин на пересеченной местности и уклонах;

–методика оперативного планирования поливов.

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во «Введении» обоснована актуальность решаемой проблемы, цель, задачи исследований, объект, предмет и методы исследований. Сформулирована научная новизна работы и научные положения, выносимые на защиту, практическая ценность, апробация работы, публикации, объем и структура диссертации.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» рассмотрено состояние земельного фонда и проблемы орошения в РФ,

направления ресурсосбережения при проектировании и эксплуатации широкозахватной дождевальной техники. Дан обзор негативных почвенных процессов при регулярном орошении и исследований возникновения водной эрозии почвы и допустимой интенсивности при дождевании. Представлены схемы движения и влияние уклона на качественные показатели полива.

Во второй главе «Теоретическое обоснование дифференцированной технологии полива дождевальными машинами кругового действия» представлена оптимизация режима работы дождевальной машины в соответствии с уровнем влагозапасов участков поля.

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

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.

$$Pz\% = \frac{I_m}{I_m + P_m} 100\%, \quad (1)$$

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

Опорная тележка движется со скоростью:

$$V_{CP} = \Delta a / t_M, \quad (2)$$

где: Δa – шаг машины; t_M – время движения;

a шаг

$$\Delta a = \ell / n, \quad (3)$$

где: ℓ – длина дуги движения последней тележки; n – число шагов.

Поскольку при движении опорных тележек происходит пробуксовывание, реальная, фактическая скорость меньше. Буксование зависит от агрофона, типа и влажности почвы, скорости передвижения машины. Буксование, как правило, тем больше, чем больше норма полива. Если это не учитывать, риск переполива возрастает.

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

Учитывая коэффициент буксования, шаг машины, m :

$$\Delta a = V_{CP} t_M \psi / 60, \quad (4)$$

где: ψ – коэффициент буксования.

Скорость движения машины, m/c :

$$V_{CP} = 60 \Delta a \psi / t_c. \quad (5)$$

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

Рассмотрим технологический процесс полива. Начальные влагозапасы в начале вегетационного периода, $m^3/га$:

$$W' = 100h \rho \omega_{НВ}, \quad (6)$$

где: ρ – плотность почвы, $кг/м^3$; h – расчетный слой увлажнения почвы, $мм$;

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

Уравнение водного баланса применительно к одному поливу (пренебрегая подпиткой грунтовыми водами и потерями на сток и фильтрацию):

$$Et = (W' - W'') + M + M_{oc}, \quad (7)$$

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

M – поливная норма; M_{oc} – осадки, м³/га.

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

$$W_k = W' - Et, \quad (8)$$

где: 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, м³/га:

$$M = 100h \rho (\omega_{нв} - \omega_{0,8нв}), \quad (9)$$

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

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

Определяющим условием будет неравенство:

$$\omega \leq \omega(\varphi, t) \leq 100\% \text{ НВ}, \quad (10)$$

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

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

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

Полив может осуществляться с разными поливными нормами 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.

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.

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 , м³/га. Разделим поливной круг на четыре равных сектора, имеющим среднее значение скорости, времени и нормы полива, рис.1.

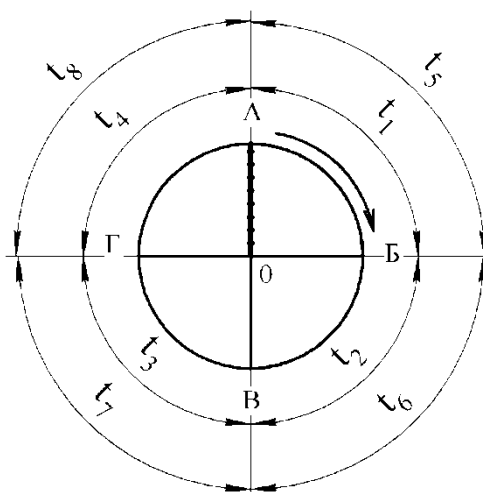


Рисунок 1 – Схема полива при изменении поливной нормы по секторам

$$Q_M t_C = M S_{\text{СЕК}}, \quad (11)$$

где: Q_M – расход дождевальная машины, м³/ч; t_C – время полива сектора, ч; $S_{\text{СЕК}}$ – площадь сектора, га.

$$t_C = \frac{S_{\text{СЕК}} M}{Q_M} = 0,5 \frac{\ell_{\text{СЕК}} R_M M}{Q_M}, \quad (12)$$

где: R_M – радиус полива, равный длине машины, м;

Первый полив, первый сектор. В конце первого сектора требуется количество влаги W_1 , м³/га:

$$W_1 = M + E_1 t_{C1}, \quad (13)$$

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

Требуемая поливная норма:

$$M_1 = \frac{Q_M t_{C1}}{S_{\text{СЕК}}} = \frac{2Q_M t_{C1}}{\ell_{\text{СЕК}} R_M}, \quad (15)$$

где: $\ell_{\text{СЕК}}$ – длина дуги движения последней тележки.

Время полива в первого сектора:

$$t_{C1} = \frac{0,5 \ell_{\text{СЕК}} R_M M}{Q_M - 0,5 \ell_{\text{СЕК}} R_M E_1}. \quad (16)$$

Первый полив, второй сектор.

Необходимое количество влаги W_2 , м³/га:

$$W_2 = M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2}, \quad (17)$$

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

Поливная норма:

$$M_2 = \frac{2Q_M t_{C2}}{\ell_{\text{СЕК}} R_M}, \quad (18)$$

Время полива второго сектора:

$$t_{C2} = \frac{0,5 \ell_{\text{СЕК}} R_M (M + E_1 t_{C1})}{Q_M - 0,5 \ell_{\text{СЕК}} R_M E_2}, \quad (19)$$

Первый полив, третий сектор.

$$W_3 = M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2} + E_3 t_{C3}, \quad (20)$$

где: E_3 – среднечасовое водопотребление на третьем секторе, м³/га; t_{C3} – время полива третьего сектора, ч.

$$M_3 = \frac{2Q_M t_{C3}}{l_{CEK} R_M}. \quad (21)$$

$$t_{C3} = \frac{0,5 l_{CEK} R_M (M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2})}{Q_M - 0,5 l_{CEK} R_M E_3}. \quad (22)$$

Первый полив, четвертый сектор.

$$W_4 = M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2} + E_3 t_{C3} + E_4 t_{C4} \quad (23)$$

где: E_4 – среднечасовое водопотребление четвертого сектора, м³/га; t_{C4} – время полива четвертого сектора, ч.

$$M_4 = \frac{2Q_M t_{C4}}{l_{CEK} R_M}. \quad (24)$$

$$t_{C4} = \frac{0,5 l_{CEK} R_M (M + E_1 t_{C1} + E_2 t_{C2} + E_3 t_{C3})}{Q_M - 0,5 l_{CEK} R_M E_4}. \quad (25)$$

Второй полив, первый сектор.

$$W^{(2)}_1 = M - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5}, \quad (26)$$

где: E_5 – среднечасовое водопотребление первого сектора при втором поливе, м³/га; t_{C5} – среднее время полива первого сектора при втором поливе, ч.

$$M_5 = \frac{2Q_M t_{C5}}{l_{CEK} R_M}. \quad (27)$$

$$t_{C5} = \frac{0,5 l_{CEK} R_M (M - E_1 t_{C1})}{Q_M - 0,5 l_{CEK} R_M E_5}. \quad (28)$$

Второй полив, второй сектор.

$$W^{(2)}_2 = M - E_1 t_{C1} - E_2 t_{C2} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6}, \quad (29)$$

где: E_6 – среднечасовое водопотребление на втором секторе при втором поливе, м³/га; t_{C6} – время полива второго сектора при втором поливе, ч.

Поливная норма:

$$M_6 = \frac{2Q_M t_{C6}}{l_{CEK} R_M}. \quad (30)$$

$$t_{C6} = \frac{0,5 l_{CEK} R_M (M - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5})}{Q_M - 0,5 l_{CEK} R_M E_6}. \quad (31)$$

Второй полив, третий сектор.

$$W^{(2)}_3 = M - E_3 t_{C3} - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6} + E_7 t_{C7}, \quad (32)$$

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

$$t_{C7} = \frac{0,5 l_{CEK} R_M (M - E_3 t_{C3} - E_2 t_{C2} - E_1 t_{C1} + E_5 t_{C5} + E_6 t_{C6})}{Q_M - 0,5 l_{CEK} R_M E_7}. \quad (33)$$

Параметры последующих поливов определяются аналогичным образом.

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

Задавая характеристики машины, оросительную норму, водопотребление, количество секторов и поливов можно определить рекомендуемые нормы полива по секторам, время полива, скорость машины и др., рис. 2.

Рисунок 2 – Программа расчета

Оптимизация режима полива с реверсом движения

В этом случае машина не проходит полный круг, возвращаясь в исходную точку, двигаясь в обратном направлении реверсивно.

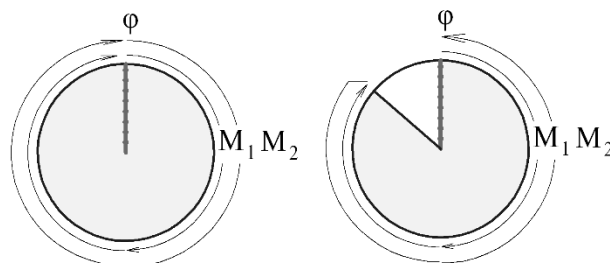


Рисунок 3 – Схема выдачи поливной нормы

Норма полива в начале возврата должна быть откорректирована, полив той же нормой вызывает сток.

$$M = M_1(\varphi) + M_2(\varphi). \quad (34)$$

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

$$t = \frac{1}{1440 K_{\text{СУТ}}} \int_0^{\varphi} \frac{d\varphi}{V_{\text{CP}}(\varphi)}, \quad (35)$$

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:

$$h = \frac{120 Q_M}{R_M V_{\text{CP}}}, \quad (36)$$

$$M = \frac{1200 Q_M}{R_M V_{CP}}, \quad (37)$$

Или при прохождении сектора:

$$M_1 = 2\pi \frac{1200 Q_M}{\ell_{CEK} V_{CP}}. \quad (38)$$

Время прохождения сектора:

$$t = \xi \int_0^\varphi M_1(\varphi) d\varphi, \quad \xi = \frac{s}{432 \cdot 10^3 K_{CVT} Q_M}. \quad (39-40)$$

где: s – путь, проходящий последней опорной тележкой.

Изменение влагозапасов перед машиной при движении вперед:

$$f_1(\varphi) = W_0 - 10E\xi \int_0^\varphi M_1(\varphi) d\varphi. \quad (41)$$

где: W_0 – минимально допустимые влагозапасы, $m^3/га$; φ – угол сектора.

После прохода машины:

$$W_1 = f_1(\varphi) + M_1(\varphi). \quad (42)$$

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

$$W_2 = f_2(\varphi) + M_2(\varphi). \quad (43)$$

где: Δt – промежуток времени через который машина повторно попадет в исходную точку координатой φ , пройдя путь s .

$$\Delta t = \xi \int_\varphi^s [M_1(\varphi) + M_2(\varphi)] d\varphi = \xi(s - \varphi)M. \quad (44)$$

Полив половины окружности с реверсом

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

$$\Delta t = \xi \int_\varphi^{\ell/2} [M_1(\varphi) + M_2(\varphi)] d\varphi = \xi \left(\frac{\ell}{2} - \varphi \right) M, \quad (45)$$

где: W_0 – минимально допустимые влагозапасы, $m^3/га$; E – интенсивность водопотребления, $мм/сут$.

$$\frac{dM_1(\varphi)}{d\varphi} - 10E\xi M_1(\varphi) = -10E\xi M, \quad (46)$$

Тогда:

$$M_1(\varphi) = 2\pi \frac{1200 Q_M}{\ell_{CEK} V_{CP}(\varphi)} [1 - e^{10E\xi(\varphi-s)}], \quad (47)$$

$$M_2(\varphi) = 2\pi \frac{1200 Q_M}{\ell_{CEK} V_{CP}(\varphi)} e^{10E\xi(\varphi-s)}. \quad (48)$$

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

Управление поливами

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. Алгоритм управления поливами представлен на рисунке 4.

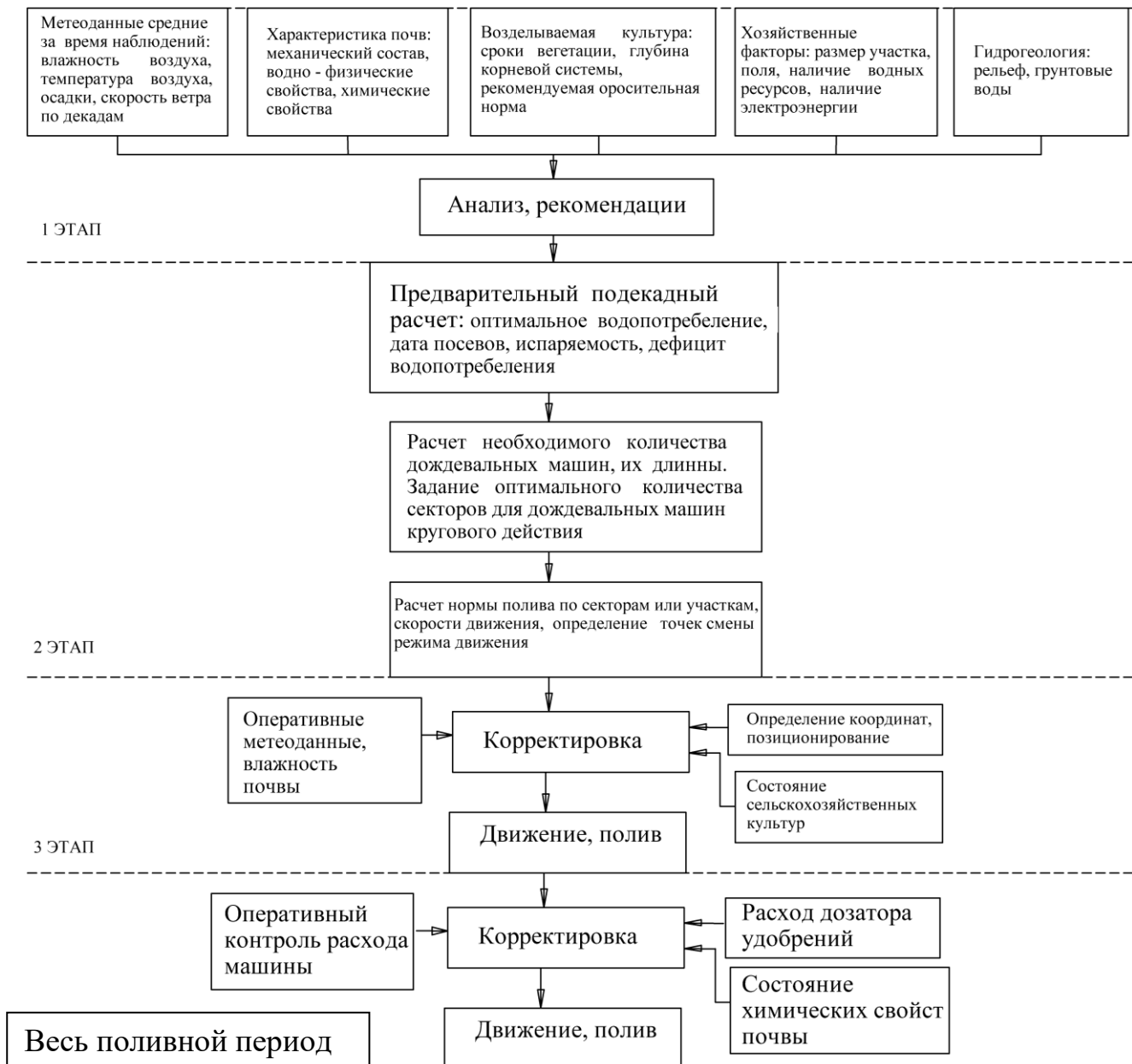


Рисунок 4 – Схема задания режима работы машины

В третьей главе *«Программа и методики лабораторных и полевых исследований»* даны программы и методики определения: интенсивности дождя; диаметра капель; функционирования автоматической системы управления; равномерности полива; влажности почвы, нормы полива до стока; характеристик полива при работе на уклонах. Описано применяемое оборудование и приборы.

Полевые исследования проводились на полях ООО «Наше дело» (Саратовская область, Марксовский район), КФХ Саратовская область.

Почвы: темно-каштановые среднесуглинистые.

Оборудование: метеостанция КАИРОВАСЕ (центральная веб-платформа AGROKEEP Web), датчики EnviroSCAN. Дождевальные машины: Кубань-ЛК1, Кубань-ЛК1М, КАСКАД.

В четвертой главе «Результаты исследований» представлено сравнение стандартной и предлагаемой технологий полива.

Полив по стандартной и экспериментальной технологиям проводился на соседних участках 115,7 и 119 га в течение трех лет. Сезон орошения был разделен на несколько декад, в течение которых фиксировались количество осадков и интенсивность полива и влажности почвы. Культура-кукуруза.

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 - 1490 м³/га. Соответственно на 30 и 110 м³/га меньше.

В 2022 г оросительная норма - 2000 м³/га по стандартной технологии, 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 1.

Таблица 1-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	1490	2000	1790
Экономия, м ³ /га		30		110		210

Системы внесения поливной нормы и влажность почвы по стандартной и предлагаемой технологии на примере 2020 года представлены на рисунках 5 и 6.

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

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

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.

Равномерность полива оценивалось при разных скоростях машины.

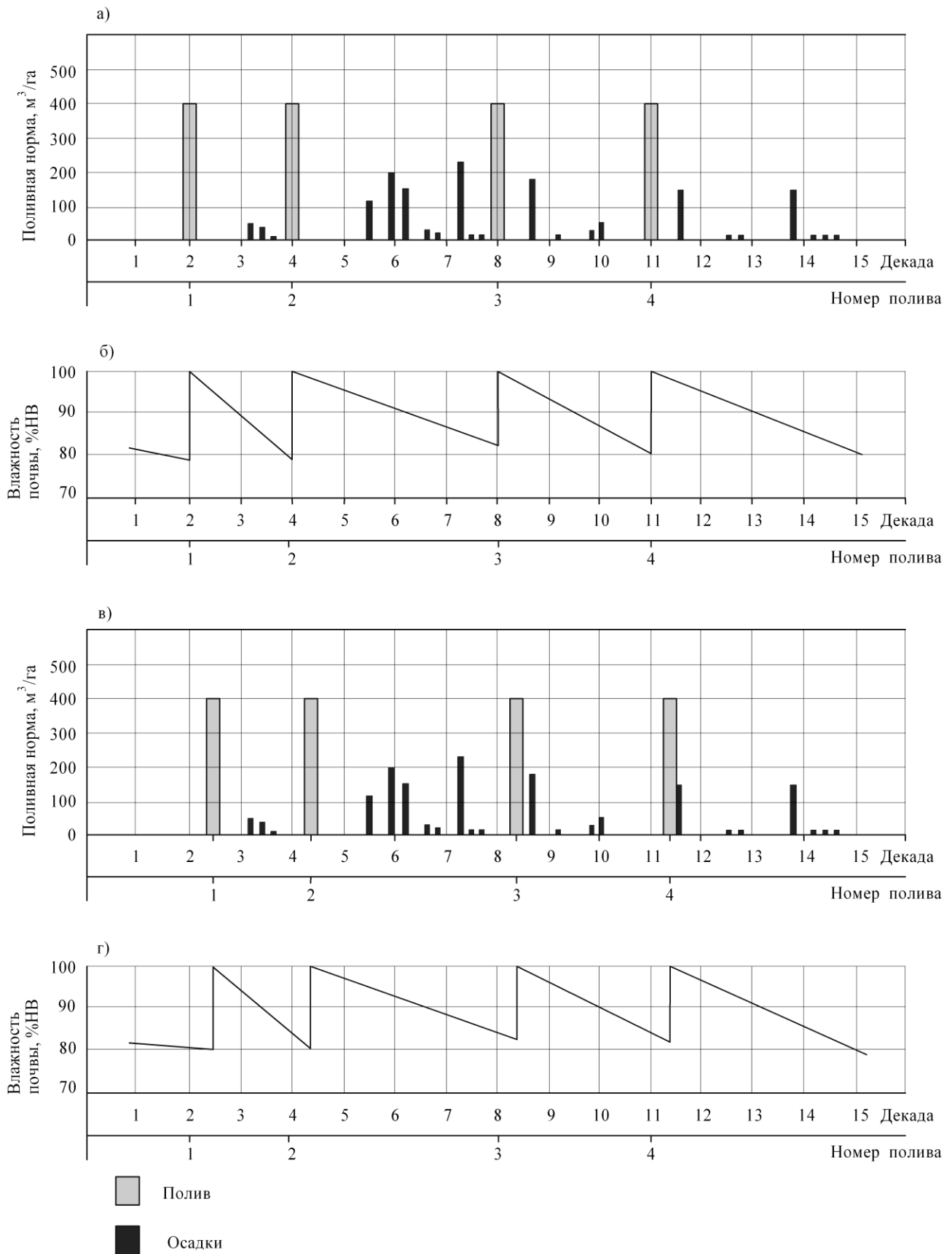


Рисунок 5 – Система внесения поливной нормы и влажность почвы по стандартной технологии: а, б – начало первого сектора; в, г – конец последнего сектора; (пример за 2020 год)

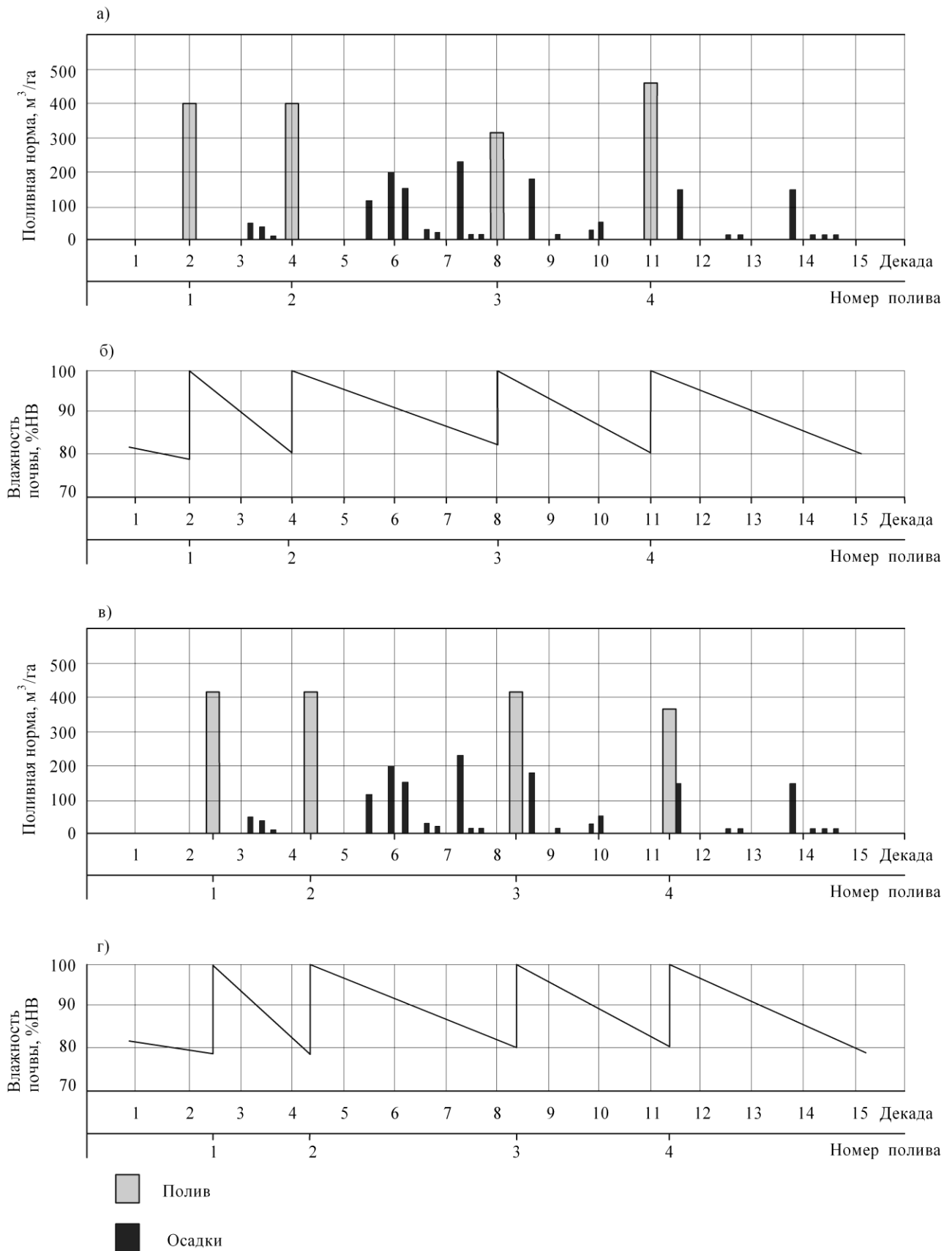


Рисунок 6 – Система внесения поливной нормы и влажность почвы по предлагаемой технологии: а, б – начало первого сектора; в, г – конец последнего сектора (пример за 2020 г)

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.

Экспериментальные исследования показали, что на гидравлические характеристики, в частности на давление в водопроводящем трубопроводе значительно влияет рельеф местности. 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. При скорости 0,67 м/мин количество осадков наблюдался от 16,5 до 22 мм, т.е. колебания значений меньше.

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

Полученные значения свидетельствуют о значительном разбросе значений коэффициента эффективного полива во всех трех секторах. Его значения зависят от рельефа местности и скорости движения техники, таблица 2.

Таблица 2 – Коэффициенты эффективности полива в зависимости от уклонов местности и скорости движения машины (дождеватели через 3,5 м)

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

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

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

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.

Монтаж дождевателей через 2,9 м на дождевальную машину «КАСКАД» обеспечило повышение качества полива, таблица 3. Длина машины 456,7 м. Расход 62,6 л/с. Давление на входе в машину 0,42МПа.

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.

Таблица 3 – Коэффициенты эффективности полива зависимости от уклонов местности и скорости движения машины (дождеватели через 2,9 м)

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

При орошении участков с уклоном, для повышения равномерности при поливе большими нормами за проход рекомендуется установка дождевателей по учащенным схемам, регуляторы давления.

Норма полива до стока

Для широкозахватной дождевальной техники критической зоной 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.

В ходе исследований фиксировались задаваемая посредством таймера и фактическая скорость передвижения и норма полива. Величина стока измерялась под последним пролетом. Результаты приведены в таблице 4.

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.

Проведенные исследования также демонстрируют влияние наличия растений и стадию их роста на величину стока. С ростом растений и, соответственно, увеличением их защитных свойств по отношению к почве, досточная норма полива увеличивается. В начале полива требуется максимально щадящий режим.

Таблица 4 – Норма полива до стока

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

В пятой главе «Экономическая эффективность внедрения оптимизированной технологии полива» представлены сравнительные данные по стандартной и предлагаемой технологии.

В таблице 5 показана экономия, которая может быть достигнута за счет использования оптимизированной технологии на одной машине и сокращения количества воды, используемой при поливе.

Таблица 5 – Сравнительные данные по оросительной норме и экономии воды

Показатель	год		
	2020	2021	2022
Длина машины, м	497	497	497
Площадь полива, га	77,5	77,5	77,5
Оросительная норма, м ³ /га:			
	стандартная технология	1600	1600
оптимизированная	1570	1490	1790
Экономия воды, м ³ /га (%)	30 (2)	110 (7)	210 (10)
Общая экономия на одну машину, руб	48522	177916	339659

Средняя урожайность кукурузы на силос за три года на участках полива по оптимизированной технологии в среднем выше на 6,4 т/га, чем на участках полива по технологии полива единой нормой, что достигнуто за счет более равномерной подачи оросительной воды. Экономическая оценка внедрения представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Экономическая оценка внедрения

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

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

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

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

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

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

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

6. Средняя урожайность кукурузы на силос за время исследований при сравнении на соседних участках полива по предлагаемой технологии и стандартном поливе одной заданной нормой выше на 6,4 т/га, что объясняется более равномерной подачей воды и оптимальными условиями водно-воздушного баланса почвы для роста агрокультур. Общая экономия воды на одну машину до 210 м³ /га.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯМ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИМ ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ

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

Дальнейшие перспективы исследований и разработок

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

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

Список основных публикаций по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Журавлева Л.А. Исследования характеристик потока в напорных трубопроводах оросительных систем с дискретным отбором жидкости / Л.А. Журавлева, И.А. Попков, Алдиаб Анас, Хеирбеик Бассел // Природообустройство. – 2022. - № 5. - С. 100-104.
2. Журавлева Л.А. Развитие материально-технической базы мелиоративного комплекса на инновационной основе / Л.А. Журавлева, Алдиаб Анас // Природообустройство. – 2024. - № 2. - С. 21-27.
3. Журавлева Л.А. Оценка конструктивно-высотных параметров широкозахватных дождевальных машин кругового действия / Л.А. Журавлева, Алдиаб Анас // Природообустройство. – 2024. - №3. - С. 37-43.

Патенты и свидетельства

4. Патент на изобретение № 2826309 Российская Федерация. «Дождеваль» :№ 2024104286 : заявл. 20.02.2024: опубл. 09.09.2024 / Л.А. Журавлева, Алдиаб Анас, Хеирбеик Бассел; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».
5. Патент на изобретение № 2826310 Российская Федерация. «Дождеваль» :№ 2024102421 : заявл. 31.01.2024: опубл. 09.09.2024 / Л.А. Журавлева, Алдиаб Анас, Хеирбеик Бассел; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

Публикации в сборниках научных трудов, материалах конференций и семинаров

6. Алдиаб Анас Методика расчета дождевальных насадок для широкозахватных дождевальных машин / Алдиаб Анас // Тенденции развития науки и образования. – 2024. - № 111-9. - С. 8-13.
7. Журавлева Л.А. Моделирование параметров потока в напорных трубопроводах с дискретным отбором жидкости / Л.А. Журавлева, М.С.

Магомедов, Алдиаб Анас, Хеирбеик Бассел // Научная жизнь. - 2022. - Т. 17. - № 3 (123). - С. 364-373.

8. Журавлева Л.А. Вертикальное выращивание овощных культур на капельном поливе / Л.А. Журавлева, Алдиаб Анас // Инновационная наука. – 2022. - № 7-2. - С. 21-23.

9. Aldiab Anas. Water management on sod-podzolic soils with drip irrigation of potatoes / Aldiab Anas // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 160-летию В.А. Михельсона, г. Москва, 9-11 июня 2020 г.: сборник статей. Том 1 / Коллектив авторов; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва : Издательство РГАУ-МСХА. – 2020. – pp. 398-401.

10. Zhuravleva L.A. Technology and System of feeding and Distribution of Nutrient Solutions for Vertical cultivation of Vegetable Crops on Drip Irrigation / L.A. Zhuravleva, Aldiab Anas // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration. Proceedings of the International Conference. Beijing. – 2022. – pp. 130-134.

11. Журавлева Л.А. Теоретическое обоснование применения водопроводящего трубопровода широкозахватной дождевальнoй машины из композиционного материала / Л.А. Журавлева, М.С. Магомедов, Алдиаб Анас, Хеирбеик Бассел // Естественные и технические науки. – 2022. № 6 (169). С. 363-370.

12. Журавлева Л.А. Роботизированные мини-теплицы и установки для выращивания агрокультур в домашних условиях / Л.А. Журавлева, Алдиаб Анас // Научная жизнь. – 2021. Т. 16. № 5 (117). С. 565-574.

13. Журавлева ЛА. Влияние пространственной неоднородности свойств сельскохозяйственных полей на урожайность / Л.А. Журавлева, Алдиаб Анас, Ю.Н. Гречук // Аграрный научный журнал. – 2024. №7. С. 99-104.