

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

**ЖУРАВЛЕВА ЛАРИСА АНАТОЛЬЕВНА**



**ФЕРТИГАЦИЯ ШИРОКОЗАХВАТНЫМИ  
ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ**

*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

Журавлева Л.А. «ФЕРТИГАЦИЯ ШИРОКОЗАХВАТНЫМИ ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ»: монография / Л.А. Журавлева – Москва: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2025 г. –122 с .

ISBN 978-5-00207-877-6

В монографии представлены исследования технологий фертигации полива широкозахватными дождевальными машинами. Даны основные расчетные зависимости. Рассмотрено технологическое оборудование.

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.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25- 26-00132).

ISBN978-5-00207-877-6

© Журавлева Л.А. 2025

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени

Тимирязева К.А.

## СОДЕРЖАНИЕ

стр

	ВВЕДЕНИЕ.....	4
1	ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФЕРТИГАЦИИ. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ СПОСОБА.....	5
2	ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ.....	8
3	ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФЕРТИГАЦИИ .....	10
4	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФЕРТИГАЦИИ.....	26
5	ТРЕБОВАНИЯ К УДОБРЕНИЯМ, ПРИМЕНЯЕМЫМ ПРИ ФЕРТИГАЦИИ.....	33
6	КАЧЕСТВО ВОДЫ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ХИМИГАЦИЮ.....	37
7	ФЕРТИГАЦИЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ.....	39
8	ИССЛЕДОВАНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ПОЛИВА ШИРОКОЗАХВАТНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ФЕРТИГАЦИИ .....	47
9	РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛИВА....	68
10	ДОЖДЕВАТЕЛИ КРУГОВОГО И СЕКТОРНОГО ПОЛИВА. ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ ПРИМЕНИМОСТИ. ОЦЕНКА РАВНОМЕРНОСТИ ПОЛИВА.....	75
11	АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ РАСТВОРОВ.....	103
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	106
	ЛИТЕРАТУРА.....	108

## **ВВЕДЕНИЕ**

Хими́гация – это общий термин, описывающий метод внесения различных химических веществ посредством оросительной системы.

Термин "хими́гация" также охватывает внесение хлора, кислот и других химических веществ, используемых для обработки воды или очистки элементов оросительной системы.

Хими́гация позволяет экономично, точно и циклично вносить химические вещества, удовлетворяя потребности растений на протяжении сезона, при этом снижая уплотнение почвы и механическое повреждение растений.

Фертигация – частный случай. В отличие от традиционных методов, предоставляет достаточно гибкий метод, позволяющий вносить удобрения на любом этапе орошения. Кроме того, фертигация совместима со всеми методами напорного орошения, такими как дождевание, капельное орошение, микродождевание.

Фертигация обладает множеством преимуществ по сравнению с традиционными способами внесения удобрений и эффективно отвечает требованиям фермеров с инженерной и экономической точек зрения.

В настоящее время применяются различные устройства для улучшения управления и повышения эффективности фертигации. Однако, с усложнением оборудования, расширением номенклатуры и функциональности, повышаются требования к знаниям и навыкам, необходимым для правильного выполнения процесса.

## **1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФЕРТИГАЦИИ. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ СПОСОБА**

В отличие от традиционных методов внесения удобрений, фертигация обладает рядом достоинств, однако имеет и некоторые ограничения. Далее рассмотрим основные преимущества и недостатки способа.

### **Преимущества:**

Эффективное использование удобрений. Каждое растение получает необходимые питательные элементы вместе с поливом. Растворение удобрений в воде обеспечивает их равномерное распределение. Разделение общей требуемой дозы удобрений на несколько внесений способствует лучшему проникновению в почву и повышает эффективность их усвоения. Обеспечивается возможность корректировки питания в зависимости от фазы развития растений (вегетация, цветение, плодоношение).

Фертигация позволяет адаптировать состав и концентрацию питательных веществ к потребностям культуры на каждом этапе. В ряде случаев применение удобрений через систему полива небольшими дозами позволяет снизить общий расход на треть.

Важным достоинством является контроль и точность дозирования. Системы автоматического контроля позволяют точно регулировать подачу удобрений в соответствии с заданными параметрами. Использование микроэлементов в небольших дозах на протяжении длительного периода времени повышает их доступность для растений и во многих случаях исключает необходимость внекорневых подкормок. Фертигация легко интегрируется с автоматизированными системами управления, что также повышает точность внесения.

Важным преимуществом является контроль глубины и частоты внесения. Пропорциональное дозирование предотвращает потери удобрений, связанные с вымыванием питательных веществ из корневой зоны под воздействием дождей и последующего полива.

Фертигация помогает поддерживать необходимый уровень питательных веществ в почвах, которые имеют низкое содержание солей и плохо удерживают питательные вещества, что позволяет вести сельское хозяйство в сложных условиях.

Экономия трудозатрат и удобство использования. Удобное и быстрое управление оборудованием. Снижение трудозатрат и экономия топлива, за счет отсутствия необходимости использования трактора для перемещения навесного оборудования с распылителями удобрений по полю, что также уменьшает негативное воздействие на почву и растения, в частности снижает уплотнение почвы.

Способом фертигации имеется возможность эффективного применения жидких удобрений.

Исключается необходимость распыления удобрений. Ручное распыление удобрений является трудоемким, неточным и опасным для человека. Применение механического распределения является дорогостоящим способом, воздействует на почву ходовыми системами.

Сохранение качества грунтовых вод. В последние годы качество грунтовых вод ухудшается из-за интенсивного применения химикатов. Благодаря фертигации обеспечивается более точный контроль над поступлением удобрений в грунтовые воды.

### **Ограничения и меры предосторожности**

Загрязнение грунтовых вод возможно при недостаточном контроле. Фертигация может привести к нежелательным результатам, если контроль за ней недостаточен.

Требования к удобрениям. Для фертигации используются только растворимые и жидкие удобрения. Многие удобрения, которые не полностью растворимы, не подходят для этого процесса.

Значительным минусом является риск коррозии. Коррозия в системах орошения и впрыска может быть серьезной проблемой. Все элементы,

контактирующие с химическими веществами и растворами, должны быть изготовлены из химически инертных материалов, что повышает стоимость.

Взаимодействие химикатов и орошающей воды. Все химикаты, впрыскиваемые в орошающую воду, должны быть тщательно оценены на предмет возможных реакций. Некоторые удобрения, особенно фосфаты, суперфосфаты и аммоний-кальцевые фосфаты, могут взаимодействовать между собой, а также поднимать рН воды, что также способствует образованию осадков.

Меры предосторожности. Многие удобрения обладают высокой кислотностью, поэтому необходимо соблюдать осторожность при их использовании.

Большие начальные инвестиции. Для внедрения фертигации требуется множество дополнительных устройств, что приводит к значительным стартовым затратам.

## 2 ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ

Пропускная способность устройства впрыскивания является ключевым параметром для точного дозирования удобрений. Она позволяет определить объем раствора, вводимого в систему за единицу времени, и рассчитывается по следующей формуле:

$$q = A \cdot Fv/t, \quad (2.1)$$

где  $q$  - производительность (расход) дозатора, л/ч;

$A$  - площадь, га;

$Fv$  - доза удобрений, л/га;

$t$  - продолжительность внесения удобрений, ч.

**Пример.** На участке площадью 3 га требуется ввести дозу удобрений 150 л/га, внесение удобрений продолжается 3 часа, соответственно производительность насоса, подающего удобрения, должна быть:

$$q = 3 \text{ га} \cdot 150 \text{ л/га} / 3 \text{ ч} = 150 \text{ л/ч}$$

Емкость резервуара – это объем раствора удобрений, достаточный, по крайней мере, для одного поливного цикла.

$$Tv = Fv \cdot A, \quad (2.2)$$

$Tv$  - объем резервуара, л;

$Fv$  - доза удобрений, л/га;

$A$  - площадь, га.

**Пример.** Рассчитаем, какова минимальная емкость резервуара  $Tv$  для участка площадью 0.5 га, если потребность в растворе удобрений на гектар  $Fv$  составляет 300 литров.

$$Tv = 300 \text{ л/га} \cdot 0.5 \text{ га} = 150 \text{ л.}$$

Определим коэффициент разбавления или концентрация удобрений в растворе. Этот коэффициент является отношением (в процентах) объема концентрированного раствора удобрений к общему объему раствора удобрений желаемой концентрации:

$$F_c (\%) = 100 \cdot q / (q + Q), \quad (2.3)$$

$F_c (\%)$  - концентрация удобрения в ирригационной системе, %;

$q$  - объем раствора удобрений, л;

$Q$  - объем воды, л.

**Например:** 10 л жидких удобрений в 200 л воды дают коэффициент разбавления:  $F_c(\%) = 100 \cdot 10 \text{ л} / (10 \text{ л} + 200 \text{ л}) = 4,7 \%$

Выбранное оборудование должно обеспечивать этот коэффициент разбавления.

### 3 ОБОРУДОВАНИЕ ФЕРТИГАЦИИ

Внесение удобрений при помощи системы полива требует различное оборудование и методы:

-**Устройство с дозирующим баком.** При этом часть основного потока подается через дозирующий бак, включающий баллон с химикатом (рис. 3.1).

-**Всасывание на основании эффекта Вентури,** заключающегося в том, что при сужении потока в трубе создается разрежение вследствие возрастания скорости потока через это сужение.

-**Впрыскивание при помощи насосов.**

Оборудование располагается за водомером, но перед фильтром в соответствии с рисунком 3.1.

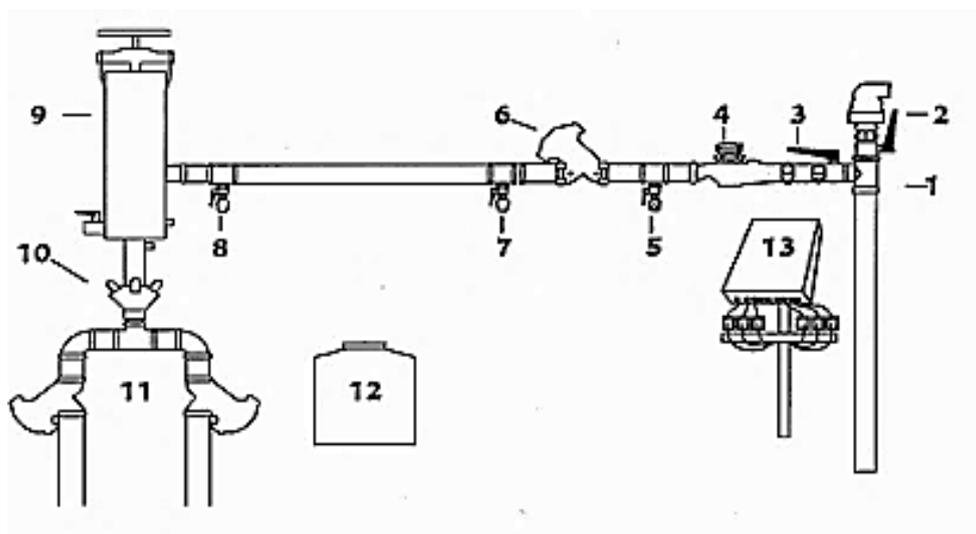


Рисунок 3.1 - Схема блока орошения: 1-вход; 2-воздухораспределительный клапан, 3-задвжка; 4- дозировочный клапан; 5- клапан промывки фильтра; 6- основная задвижка; 7- клапан (выход); 8- ручной клапан для впрыска удобрений; 9-фильтр; 10- регулятор давления; 11- гидроклапаны; 12 –бак; 13 - блок управления.

При выборе устройства для подачи химических средств нужно учитывать следующие факторы:

-тип оросительной системы;

- выращиваемая культура;
- скорость потока в системе орошения;
- скорость впрыскивания;
- тип впрыскиваемого химиката;
- источник питания;
- длительность цикла.

### БАК

Принципиальная схема бака представлена на рисунке 3.2.

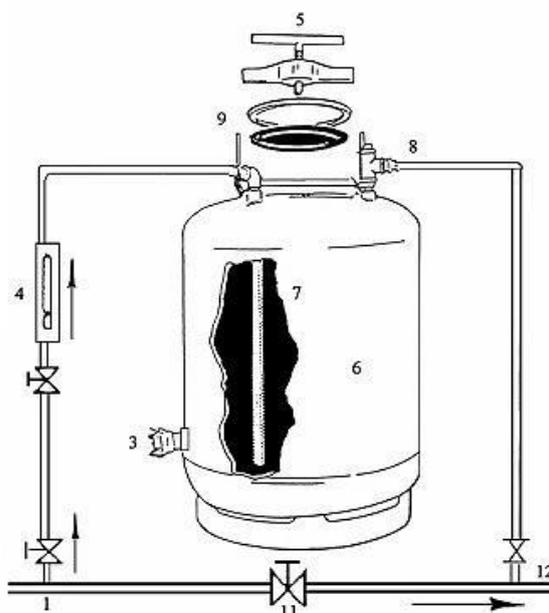


Рисунок 3.2 - Бак: 1- подача воды; 2 - Впускной клапан; 3- Регулирующий клапан; 4 -расходомер; 5 –крышка; 6 – дозирующий бак; 7 –раствор удобрений; 8- ввод удобрений, 9 - Воздушный клапан; 10 - Клапан впрыскивания удобрения; 11- Дроссельная заслонка; 12- Основная водная магистраль

Дозирующий бак интегрируется в систему орошения посредством обводной линии, подключенной параллельно основному трубопроводу. Подача воды в бак осуществляется через нижний штуцер. Внутри герметичного корпуса бака находится запас удобрений в жидкой или твердой форме. Выход раствора удобрений из бака осуществляется через клапан, расположенный на участке трубопровода после регулировочного клапана.

Принцип работы основан на использовании перепада давления, создаваемого дроссельным клапаном. Вода, проходя через бак, насыщается удобрениями и возвращается в основной поток. Интенсивность инъекции удобрений пропорциональна величине перепада давления на дроссельном элементе.

При использовании жидких удобрений происходит постоянное разбавление, что приводит к снижению концентрации. Если же используются твердые удобрения, концентрация остается практически неизменной, пока они не растворятся полностью. Длительность внесения удобрений зависит от объема бака и скорости потока раствора, и рассчитывается по следующей формуле:

$$t = 4 T_v / q, \quad (3.1)$$

где  $t$  – продолжительность подачи удобрений, ч,

$T_v$  – объем бака, л;

$q$  – интенсивность подачи удобрений, л/ч.

Для завершения процесса подачи удобрений необходимо пропустить через бак объем воды, превосходящий объем бака в 4 раза.

**Пример.** Если объем бака равен 100 литрам, необходимо 400 литров воды, чтобы 95% удобрений были введены в оросительную систему.

$$4 \cdot 100 = 400 \text{ литров.}$$

Для достижения требуемой производительности и завершения процесса в установленные сроки необходимо обеспечить точное управление скоростью подачи удобрений и поддержание заданного перепада давления. Контроль этих параметров осуществляется с помощью манометра и регулятора потока. Важно, чтобы объем бака и запас удобрений в нем были достаточными для непрерывной работы на протяжении всего цикла.

#### **Ограничения:**

-Недостаточный или отсутствующий контроль скорости подачи химиката и его концентрации в орошающей воде.

- Каждый новый цикл требует перезагрузки бака.

-Потеря давления из-за дросселирования.

-Все компоненты системы, контактирующие с химическим раствором, должны быть выполнены из материалов, устойчивых к агрессивным воздействиям этих растворов. Баки как правило изготавливаются объемом до 250 литров. Обходные шланги присоединяются к магистральному трубопроводу посредством двух клапанов.

**Существует три различных метода заполнения резервуара:**

-Напрямую жидким раствором удобрения.

- Твердые удобрения растворяются заблаговременно в дополнительном баке и фильтруются.

-Твердое удобрение помещается в резервуар, но полное растворение происходит в ходе орошения.

Бак следует заполнять полностью. Нужно установить вакуумный клапан на выходе бака для того, чтобы предотвратить противоток.

Включение оросительной системы должно осуществляться тогда, когда соединительные клапаны бака целиком закрыты, а дроссельная заслонка полностью открыта.

### **ЭЖЕКТОР ВЕНТУРИ**

При сужении потока в трубе, при определенных условиях на входе и выходе, образуется разрежение, из-за увеличения скорости потока через это сужение, рисунок 3.3. Интенсивность подачи, достигаемая в трубке Вентури, зависит от падения давления в ней. Этот перепад давления варьируется от 5% до 75%, в зависимости от конструкции трубки.

**Преимущества:**

-Не нужен сторонний источник энергии.

-Сравнительно небольшая стоимость в сопоставлении с подобными аппаратами.

- Раствор удобрений может содержаться в открытой емкости (без давления).

- Небольшой вес и мобильность.
- Поддерживает стабильную концентрацию питательного вещества.
- Устойчив к коррозии.

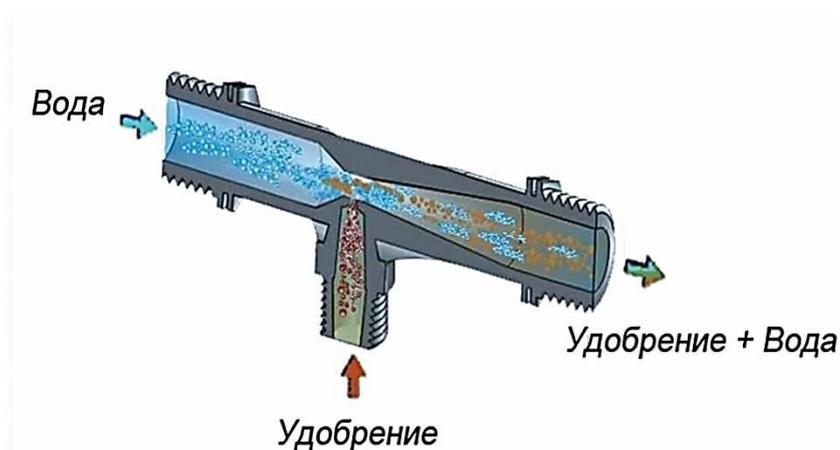


Рисунок 3.3 – Эжектор Вентури

**К недостаткам можно отнести:**

- Значительные потери давления. У многих моделей потери превышают треть входного напора.

**Применение трубки Вентури предпочтительнее только при выполнении следующих пунктов:**

- Давление обязано быть достаточно значительным, чтобы можно было разрешить неизбежные потери.

- Должно быть обеспечено постоянство напора.

- Трубка Вентури изготавливается из химически инертных материалов, таких как медь, пластмасса, нержавеющая сталь.

**Для подбора модели необходимо учитывать:**

- Диапазон давлений на входе.

- Потери давления. Перепад давлений на входе и на выходе ( $p_1 - p_3$ ) выражается в процентах от входного давления. Для каждой модели существует определенный перепад давлений, при котором начинается всасывание (рис. 3.4).

Для большинства моделей он составляет 1/3 входного давления, однако для некоторых моделей потери составляют 50 %. Вновь разработанные модели

(двухфазные) имеют потери 10 %. Потери изменяются в зависимости от входного давления и интенсивности всасывания.

-Интенсивность всасывания. Интенсивность всасывания раствора удобрений выражается в литрах в час. Она зависит от входного давления, потерь, размера канала, и может регулироваться с помощью различных приспособлений (дросселей).

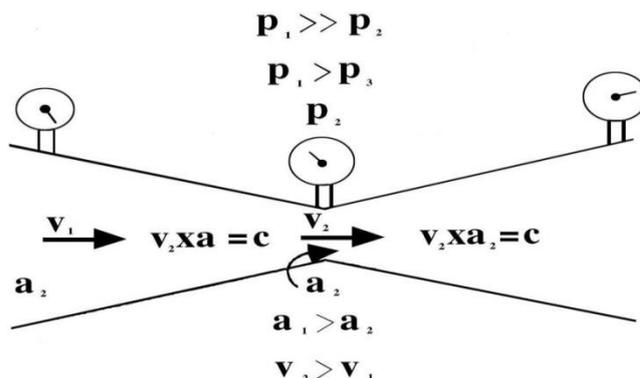


Рисунок 3.4 - Принцип действия эжектора Вентури

Существуют различные модели с широким диапазоном скоростей всасывания от 2 до 2000 л/час. Для нормального функционирования каждая трубка Вентури имеет определенную минимальную пропускную способность – в пределах от 14 до 98 м<sup>3</sup>/ч.

**Простая трубка Вентури** включает только устройство сужения без дополнительных приспособлений, рис. 3.5.

Трубка от резервуара с химикатами к трубке Вентури должна содержать автоматический запорный клапан, препятствующий обратному потоку в бак с химикатами, рис. 3.6.



Рисунок 3.5 Простая трубка Вентури

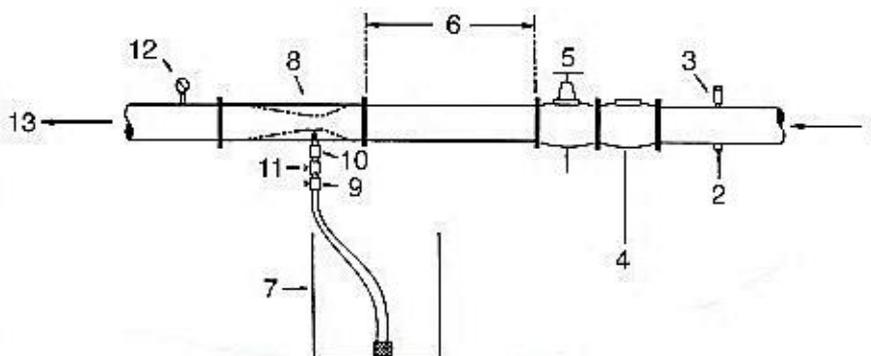


Рисунок 3.6 - Установка эжектора Вентури непосредственно в в оросительной системе: 1-подключение к насосу; 2-спускное отверстие; 3-предохранительный клапан; 4-обратный клапан; 5-задвижка; 6 –минимальный шаг трубы; 7 –бак химикатов; 8 –трубка Вентури; 9 –запорный клапан; 10 –затвор; 11- дозирующий клапан; 12-манометр; 13 –трубопровод подвода

В системах с обводной линией, рис. 3.7, может быть использовано другое конструктивное решение. Можно запорный клапан расположить в обводной трубке непосредственно перед входом эжектора. А за выходом установить клапан с электромагнитным или гидравлическим управлением.

Для повышения давления в обводной линии системы орошения можно установить дополнительный насос. Этот насос должен быть синхронизирован с системой блокировки: он автоматически выключается, когда останавливается основной насос магистрального трубопровода.

Такая схема незаменима в двух случаях: во-первых, если основной насос отсутствует; во-вторых, если давление в магистральном трубопроводе падает ниже допустимого уровня, что может привести к сбоям в подаче воды и химикатов. Система с дополнительным насосом особенно полезна в теплицах и системах гидропоники, где стабильное давление воды критически важно для нормального роста растений.

Дополнительный насос обеспечивает резервное давление и бесперебойную работу системы орошения даже при неисправности или недостаточной производительности основного насоса. Он работает как резервный источник,

автоматически включаясь при необходимости и выключаясь, когда основной насос функционирует нормально.

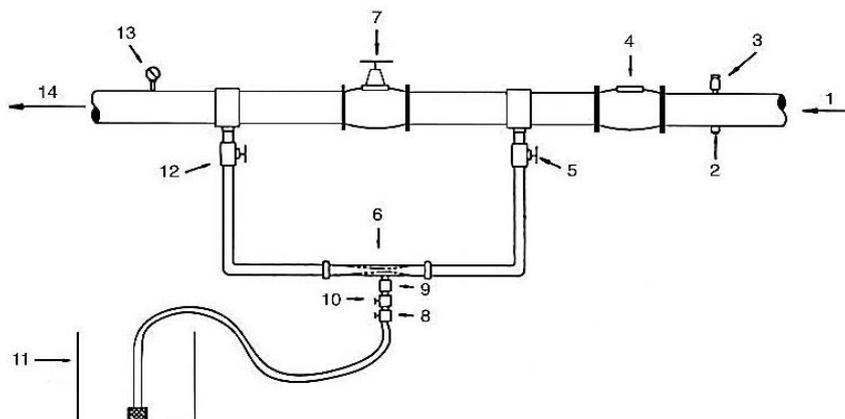


Рисунок 3.7 - Эжектор Вентури с обводной линией: 1-подключение к насосу; 2-спускное отверстие; 3-предохранительный клапан; 4-обратный клапан; 5-задвижка; 6 –трубка Вентури; 7 –запорный клапан; 8 –затвор; 9 – обратный клапан; 10 –дозировующий клапан; 11- бак химмикатов; 12-запорный клапан; 13 –манометр; 14 –подающий в систему трубопровод

## УСТРОЙСТВА ПОДАЧИ ПИТАТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ПОМОЩИ НАСОСОВ

Система фертигации невозможна без эффективной системы подачи питательных растворов. Сердцем этой системы является устройство подачи химикатов, которое может быть различных типов, размеров и изготавливаться из разных материалов. Все эти устройства делятся на две основные категории: активные и пассивные.

«Активные устройства» требуют внешнего источника питания (электричества) для работы. К ним относятся различные типы насосов: диафрагменные, поршневые, роликовые и другие насосы с приводом от внешнего двигателя. Они обеспечивают подачу раствора с необходимой силой и давлением.

«Пассивные устройства», в отличие от активных, не нуждаются в электричестве. Они используют энергию самого потока воды в системе

фертигации для перемещения питательных веществ. Наиболее распространённый тип пассивных устройств – это устройства, основанные на принципе Вентури.

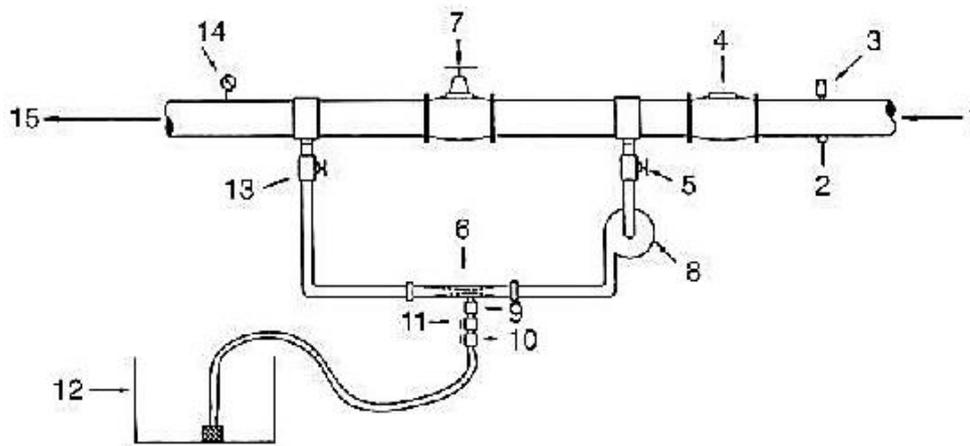


Рисунок 3.8 – Эжектор Вентури в обводной петле магистрального трубопровода: 1-подключение к насосу; 2-спускное отверстие; 3-предохранительный клапан; 4-обратный клапан; 5-редукционный клапан; 6 – трубка Вентури; 7 –запорный клапан; 8 –насос; 9 –запорный клапан; 10 – обратный клапан; 11- дозирующий клапан; 12-бак химикатов; 13 –запорный клапан; 14 –манометр; 15 -подающий в систему трубопровод

**Принцип действия.** Для внесения химикатов в систему полива используется насос, который забирает раствор из резервуара и создает давление, превышающее давление в ирригационной сети. Это позволяет впрыскивать раствор в систему. Насосы, предназначенные для этой цели, должны быть прочными и устойчивыми к химическому воздействию, поэтому их внутренние и внешние детали изготавливаются из специальных некорродирующих материалов.

Существуют различные типы насосов для подачи химикатов, включая диафрагменные, поршневые, роторные и шестеренные.

Поршневые и диафрагменные насосы наиболее популярны в фертигации благодаря своей надежности, точности и простоте интеграции с автоматическими системами управления. Роторные насосы обеспечивают более

высокую точность, но более уязвимы к загрязнениям и агрессивным химическим веществам.

Центробежные насосы, напротив, менее чувствительны к загрязнениям и более доступны по цене, что делает их подходящими для ситуаций, требующих больших объемов подачи удобрений, хотя они менее точны при малых дозах.

#### **Основные преимущества:**

- Точное и стабильное дозирование. Насосы обеспечивают поддержание заданной концентрации химикатов в воде для полива, что критически важно для равномерного внесения удобрений и других веществ.

- Полный контроль и автоматизация. Процесс внесения химикатов полностью контролируется, включая время и объём, что позволяет автоматизировать систему и снизить трудозатраты.

- Централизованное управление. Внесение удобрений и других химикатов можно контролировать из единого центра, упрощая управление системой полива.

- Отсутствие потерь давления. Использование насосов не приводит к снижению давления в системе орошения.

#### **Основные недостатки:**

- Управление оборудованием представляет собой значительную сложность.

- Стоимость значительно выше по сравнению с предыдущими моделями, такими как дозирующие баки и трубки Вентури.

- Использование удобрений возможно исключительно в растворенном виде.

- Электрические насосы нуждаются в внешних источниках энергии для функционирования.

- В ситуациях, когда поток воды останавливается, подача химических веществ продолжается, за исключением случаев, когда насос работает на энергии водного потока.

## **ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ НАСОСЫ**

Поршневые насосы данного вида приводятся в движение энергией водного

потока,двигающего турбину или поршень. Скорость подачи реагентов точно регулируется. Многие модели позволяют установить интенсивность подачи пропорциональной течению и давлению в магистральном трубопроводе. Насос функционирует в диапазоне давлений, определяемом изготовителем. Производительность зависит от давления воды, но может регулироваться. Если течение воды прекращается, подача останавливается мгновенно. Эти насосы обычно применяются в водораспределительном блоке орошения. Являются одними из самых распространенных.

### **Диафрагменные насосы**

Пример диафрагменного насоса для внесения удобрений представлен на рисунке 3.9.

**Принцип функционирования.** Насос состоит из двух диафрагм объединенных центральным вертикальным штоком. При перемещении "вверх" вода из магистрального трубопровода подается распределительным клапаном в камеру под диафрагмами, заставляя их подниматься. В конце этого перемещения и при движении "вниз" распределительный клапан перекрывает входной канал для раствора удобрений, открывая канал для выталкивания раствора.

Вода в обеих камерах, под диафрагмами, выталкивается. В конце перемещения вниз, распределительный клапан перекрывает выходной канал для слива воды, открывая путь для протекания воды, создающей усилие для следующего перемещения вверх. Управляющий клапан регулирует работу распределительного клапана. Одновременно с опусканием вниз верхней диафрагмы происходит всасывание раствора удобрений через впускной клапан и наполнение напорной камеры. При этом блокирующий затвор предотвращает обратное течение воды из магистрального трубопровода в напорную камеру. При движении вверх верхняя диафрагма выталкивает раствор из напорной камеры в оросительный канал через нагнетательный клапан. Блокирующий затвор препятствует обратному течению раствора из напорной камеры в бак. При завершении орошения, когда в трубопроводе нет более избыточного

давления, нагнетательный клапан играет роль блокирующего, препятствуя вытеканию удобрений из бака.

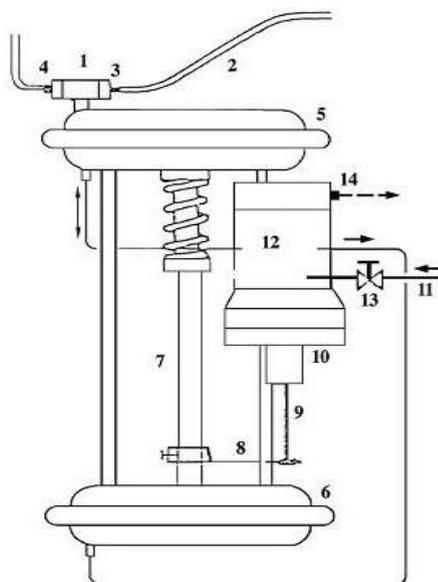


Рисунок 3.9 - Диафрагменный насос для внесения удобрений: 1– Клапан подачи удобрений; 2– Отводная трубка; 3– Возвратный клапан для отвода удобрений; 4- Возвратный клапан для впрыскивания удобрений; 5 -Корпус верхней диафрагмы; 6– Корпус нижней диафрагмы; 7– Центральный стержень, 8– Датчик; 9– Контрольный стержень; 10- Регулирующий клапан; 11— Канал для поступления воды; 12– Водораспределяющий клапан; 13– Управляющий клапан; 14– Дренажная линия

### **Преимущества.**

- небольшое количество движущихся деталей;
- коррозионному действию химикатов подвергаются не все элементы системы;
- легко регулируется расход подаваемых растворов.

В настоящее время широкий диапазон выпускаемых моделей нас от 3 до 1000 л/час и рабочим диапазоном давлений от 0,1до 0,8 МПа. Регулирующий клапан контролирует количество пульсаций в минуту, а, следовательно, и концентрацию удобрений в воде.

## **Поршневые впрыскивающие насосы**

Поршневые насосы имеют одну или две впрыскивающие головки и широкий диапазон возможностей. Объем воды, выбрасываемой из поршня, обычно превосходит в три раза объем впрыскиваемого раствора.

**Описание работы.** Устройство представляет собой поршневой двигатель с двумя поршнями и управляемый главной задвижкой. Насос, подключенный к двигателю, перекачивает химический раствор из резервуара в трубопровод. Запуск и остановка насоса контролируется кнопкой, интегрированной в автоматическую систему отключения. Эта система автоматически прекращает работу насоса при снижении уровня химического раствора ниже уровня всасывающей головки.

Для предотвращения обратного потока и загрязнения системы, на линиях подачи и забора химикатов установлены клапаны. Два клапана на линии подачи препятствуют попаданию воды из трубопровода в резервуар с химикатами, а клапан на линии забора предотвращает возврат химикатов в резервуар. Предусмотрен ручной предохранительный клапан для удаления воздуха из системы. В случае падения давления в трубопроводе из-за засорения, шарик в предохранительном клапане автоматически открывает выпускное отверстие, сбрасывая давление в атмосферу. Эта мера безопасности предотвращает попадание химикатов в трубопровод.

## **Гидравлические насосы без сброса воды**

Существуют гидравлические насосы, работающие без слива воды. Эти насосы используют гидравлический мотор, поршень и переключающий клапан для создания возвратно-поступательного движения поршня. Гидравлическое давление, попеременно подаваемое на поршень, заставляет его двигаться вперед и назад. Скорость работы насоса (частота движения поршня) напрямую зависит от потока воды, приводящего в действие гидравлический мотор. Конструкция насоса позволяет регулировать объем перекачиваемой жидкости за счет изменения хода поршня, что достигается за счет соединения нижней части поршня с клапаном на стороне всасывания. Это позволяет точно

дозировать раствор, поступающий в камеру смешивания. Конструкция клапана позволяет регулировать ход поршня, что, в свою очередь, определяет объем раствора, поступающего в камеру смешивания при каждом движении поршня.

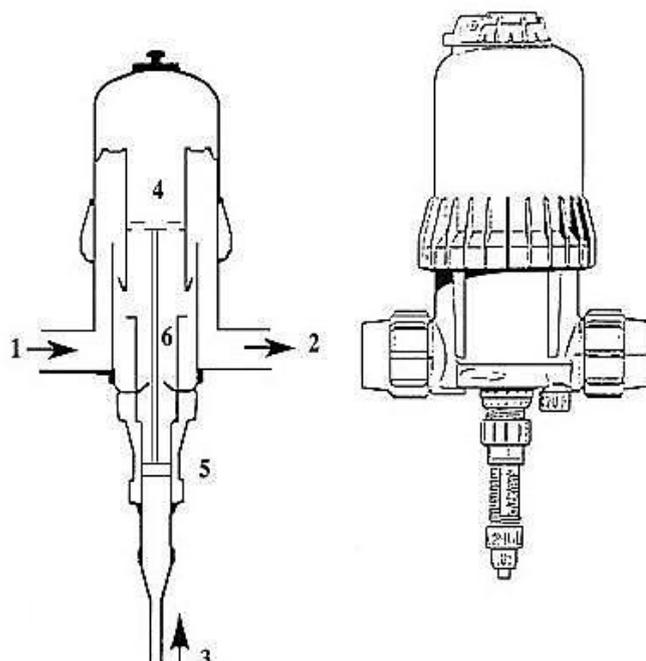


Рисунок 3.10 - Схематическое изображение насоса: 1- входной канал, 2- выходной канал; 3-входной канал химикатов; 4-водяной насос; 5-регулируемая камера всасывания; 6-камера смешения.

Установка насоса производится так, что весь поток жидкости проходит по трубе и, как следствие, наблюдается полная связь между потоком в трубе и скоростью мотора; впрыск раствора пропорционален потоку воды, проходящей сквозь насос, который, в свою очередь, можно регулировать. Поскольку вся вода протекает через насос, отсутствует слив воды. Поэтому становится возможным непрерывный и соразмерный впрыск. Благодаря камере смешивания, где без всяких электронных устройств смешиваются химикаты и оросительная вода, всё осуществляется гидравлически. В этом состоит основное преимущество такой системы.

**Насос можно установить тремя методами:**

-Прямо в трубопровод. В такой ситуации расход в системе должен быть в разрешенных рамках для насоса этой модели.

-Параллельная установка двух насосов. Это делается в той ситуации, когда два различных раствора удобрений обязаны вноситься разом.

-Установка в обводной канал. Это альтернативный вариант, когда расход в магистральном трубопроводе превышает допустимый предел для насоса. Чтобы направить часть воды через насос, применяется дроссельная задвижка. В этом случае теряется важное достоинство.

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОМПЫ**

Применение помп для внесения удобрений становится проще при использовании источников электроэнергии в поле. Электрические помпы недороги и практичны. Они обходятся дешевле в эксплуатации и без труда сочетаются с автоматическим оборудованием.

Существует немало моделей и видов, от небольших диафрагменных помп, могущих подавать всего несколько литров, до крупных помп, присоединяемых к кранам с высокой скоростью подачи. Так как, в данном случае необходим источник электроэнергии, эти помпы монтируются стационарно в теплицах или вблизи водоемов (скважин).

### **Диафрагменные дозирующие насосы**

Насос запускается синхронным электродвигателем (с предохранением от перегрузки). Вращение мотора трансформируется в периодическое движение диафрагмы при помощи высокоточного механизма с эксцентриком-толкателем и пружиной. Этот механизм присоединен к редуктору. Таким образом, заданный объем (объем одного хода) дозируемого вещества поступает через всасывающий клапан в дозирующую головку и перемещается через нагнетательный клапан в линию дозирования.

Всасывающий и нагнетательный клапаны – это шаровые клапаны. Объем одной дозы регулируется линейно изменением величины хода посредством ручки настройки перемещений в соотношении 1:10.

### **Поршневые насосы**

Насосы данного образца весьма точны и в большей степени автономны от давления, нежели мембранные. В отличие от мембранных насосов,

продуктивность насосов такого типа изменяется пропорционально длине хода поршня и способна управляться, вплоть до достижения минимальных заданных объемов.

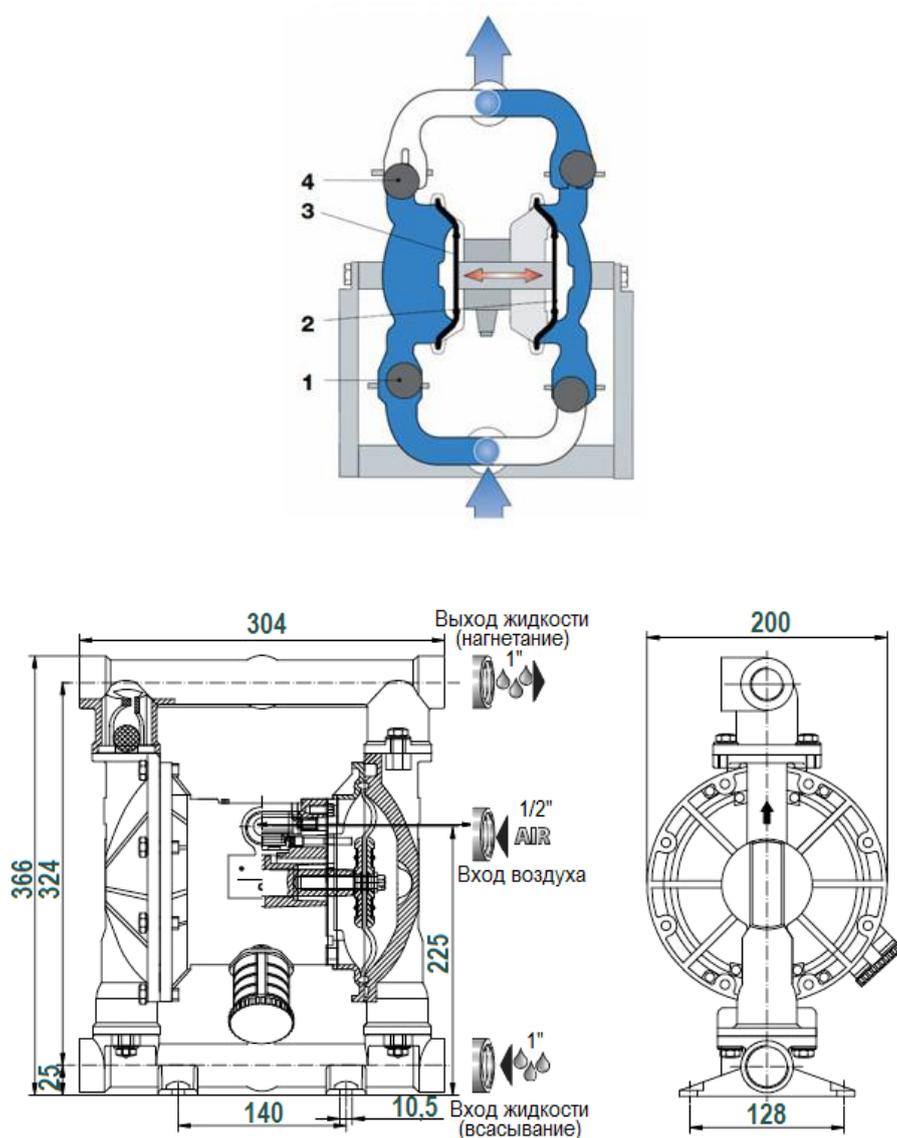


Рисунок 3.11- Диафрагменный насос: 1- клапан, открывающийся в момент всасывания, 2- диафрагма; 3- качающая диафрагма, 4-закрывающий клапан

Для внесения смесей удобрений в тех случаях, когда требуются точно отмеренные стабильные пропорции разных веществ, особенно подходящими являются двухплунжерные или даже многоплунжерные насосы.

При использовании насосов с регулируемой скоростью можно, сохраняя постоянной концентрацию, варьировать расходы в ирригационной системе.

#### 4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФЕРТИГАЦИИ

Для того, чтобы химигация /фертигация была эффективной, требуется верно применять технологию орошения. Правильное время и объем должны выбираться при научном планировании ирригационного процесса. Подведение большего количества воды, чем способна поглотить корневая система растений, является не только нерациональным использованием воды, но и ведет к вымыванию подвижных химикатов и питательных веществ из зоны корневой системы. Следствием этого являются два отрицательных эффекта: потеря ценных химикатов и, как указано выше, возможное увеличение загрязненности грунтовых вод.

Внесение химических веществ должно планироваться в соответствии с планом ирригации, а не наоборот. Подача воды должна производиться во время, определяемое потребностями растений, а не в соответствии с неким намеченным планом внесения химикатов. Знание потребности в поливочной воде и длительности процесса орошения является основной информацией для корректной настройки и эксплуатации оборудования внесения химикатов.

Рекомендации о том, как и в каких объемах должны быть внесены удобрения, фермер извлекает в разной форме: в виде таблиц, результатов лабораторных испытаний грунта, исследований листьев и иных частей растений, а еще в виде советов специалистов. Информация предоставляется в различной форме: масса или объем удобрений, число питательных веществ, которые следует внести, концентрация питательных веществ в поливной воде, соотношения удобрение – вода и т.д.

Для того, чтобы уметь выполнить рекомендации, необходимо преобразовать их в конкретные действия с учетом того оборудования, которое применяется в данном хозяйстве. Следовательно, требуется соответствующая настройка.

Наладка системы химигации довольно проста, но требует времени, оснащения и точных расчетов для достижения оптимальной интенсивности внесения химикатов.

**Настройка включает в себя несколько ключевых этапов:**

1. Определение площади орошения (внесения удобрений) в гектарах или иных единицах площади.

2. Определение необходимого количества удобрений на единицу площади.

Если рекомендации даны в килограммах питательных веществ на гектар:

$$F_w = 100 N_w / N_c, \quad (4.1)$$

$F_w$  - доза внесения удобрения (по весу), кг/га,

$N_w$  - интенсивность внесения питательных веществ (по весу), кг/га,

$N_c$  - концентрация питательных веществ в удобрении, %.

Например, рекомендуемая доза азота составляет 210 кг/га, в качестве удобрения выбран сульфат аммония, содержащий 21 % азота.

$$F_w = 100 \cdot 210 / 21 = 1000 \text{ кг/ч.}$$

Определение объема удобрений, который необходимо внести на единицу площади:

$$F_v = F_w / S_w, \quad (4.2)$$

$F_v$  - объем удобрений, л/га,

$F_w$  - вес удобрений, кг/га,

$S_w$  - удельный вес, кг/л.

**Пример.** Рекомендуется 60 кг/ га жидкого нитрата аммония. Удельный вес нитрата аммония составляет 1.3 кг/л. Тогда объем удобрений составит:

$$F_v = 60 / 1.3 = 46,15 \text{ л/ч.}$$

Определение общего количества удобрений, необходимых для одного цикла. Когда определенное количество удобрений должно быть внесено в течение одного цикла орошения, вне зависимости от времени внесения и коэффициента разведения имеем:

$$F_t = F_d \cdot A, \quad (4.3)$$

$$F_t = F_w \cdot A, \quad (4.4)$$

$$F_t = F_v \cdot A, \quad (4.5)$$

$F_t$  - количество удобрения для одного цикла, литры или кг,

$F_d$  - доза внесения удобрений (по весу), кг/га,

$A$  – площадь, га.

**Пример.**  $A = 1.5$  га, доза удобрений = 100 л/ га,

$F_t = 100 \cdot 1.5 = 150$  литров за цикл

Когда удобрения подаются через резервуар либо через обычную трубку Вентури,  $F_t$  – это как раз тот объем удобрений, который следует поместить в бак. Эти цифры настраиваются на устройствах пульта управления при автоматическом регулировании насосами, когда дозировка производится в литрах. При использовании импульсных инжекторных насосов нужно пересчитать объем раствора удобрений в импульсы. Объем одного импульса определяется изготовителем или по количеству импульсов при определенных условиях.

Для того, чтобы ввести в систему разведенные удобрения из резервуара, нужно пропустить через него объем воды, равный четырем объемам бака. Таким образом:

$$q = 4 \cdot T_v/t, \quad (4.6)$$

$q$  - скорость истечения (расход) из бака, л/ч ,

$T_v$  - объем бака, литры,

$t$  - продолжительность внесения удобрений, ч.

**Пример.** Объем бака 130 литров и продолжительность внесения удобрений 30 минут. Количество воды, необходимое для внесения удобрений:

$30 \text{ мин} / 60 \text{ мин/ч} = 0.5 \text{ ч}$

$q = 4 \cdot 130 \text{ л} / 0,5 \text{ ч} = 1040 \text{ л/ч} = 1,04 \text{ м}^3/\text{ч}.$

Производительность насоса (гидравлического или электрического):

$$q = Fc(v) \cdot Q, \quad (4.7)$$

$q$  - производительность насоса, л/ч,

$Fc(v)$  - концентрация удобрения (по объему), л/ м<sup>3</sup>

$Q$  - расход ирригационной системы, м<sup>3</sup>/ч.

**Пример.** На каждый кубический метр воды требуется два литра раствора; расход оросительной системы 20 м<sup>3</sup> / ч, тогда производительность насоса:

$$q = 2 \text{ л/м}^3 \text{ воды} \cdot 20 \text{ м}^3/\text{ч} = 40 \text{ л/ч.}$$

Требуемая производительность насоса:

$$q = Ft / t, \quad (4.8)$$

$q$  - производительность насоса, л/ч,

$Ft$  - объем раствора удобрений за оросительный цикл, литры,

$t$  - продолжительность внесения удобрений, час.

**Пример.** На поле площадью 10 га вносится 120 л/га.

$$Ft = Fv A = 10 \cdot 120 = 1200 \text{ литров.}$$

Чистое время внесения удобрений 6 часов, без учета смачивания и промывки. Тогда производительность насоса будет:

$$q = 1200 \text{ (л)} / 6 \text{ (ч)} = 200 \text{ л/ч.}$$

Вес удобрений на кубический метр воды для орошения

$$Fc(w) = 100 \cdot Nc(w) / Nc(\%)$$

$Fc(w)$  - концентрация удобрений, г / м<sup>3</sup>.

$Nc(w)$  - концентрация питательных веществ в орошающей воде, ppm

$Nc$  - концентрация питательных веществ в удобрениях, %.

**Пример.** Рекомендуются концентрация азота 70 ppm, используется сульфат аммония 21 %. Вес удобрений на один куб. м. воды для орошения будет:

$$Fc(w) = 100 \cdot 70 \text{ (ppm / 21 \%)} = 333 \text{ г/ м}^3 = 0,333 \text{ кг/ м}^3$$

Объем раствора удобрений на один кубический метр воды для орошения:

$$F_c(v) = 100 \cdot N_c(w) / (N_c(\%) \cdot S_w), \quad (4.9)$$

$F_c(v)$  - концентрация удобрения (по объему), л/м<sup>3</sup>;

$N_c(w)$  - концентрация питательного элемента в воде, ppm;

$N_c(\%)$  - концентрация питательного элемента в удобрении, %;

$S_w$  - удельный вес раствора удобрения, г/см<sup>3</sup>;

Например, если вносится жидкий нитрат аммония с концентрацией азота 21 %, то  $F_c(v) = 100 \cdot 70 \text{ (г/м}^3\text{)} / (21 \text{ \%}) \cdot 1.3 \text{ (г/см}^3\text{)} = 256,4 \text{ (см}^3\text{/л)} = 0.25 \text{ л/м}^3\text{}$ .

Когда расход оросительной системы и производительность насоса постоянны, соотношения концентраций равно:

$$Q_r = q / Q, \quad (4.10)$$

$Q_r$  - расход системы, л/м<sup>3</sup>;

$q$  - скорость работы насоса, л/ч;

$Q$  - расход системы, м<sup>3</sup>/ч.

**Пример.** Расход системы составляет 14 м<sup>3</sup>/ч ( $Q$ ), а скорость работы насоса 20 л/ч ( $q$ ). Концентрация раствора удобрения в ирригационной воде будет:

$$Q_r = 20 \text{ л удобрения/ч} / 14 \text{ м}^3 \text{ воды/ч} = 1.43 \text{ л удобрения/м}^3 \text{ воды}$$

Относительное разбавление раствора удобрений:

$$D(\%) = 100 \cdot F_c(v) / Q_r, \quad (4.11)$$

$D(\%)$  - процент разведения, %

$F_c(v)$  - концентрация удобрения (по объему), л/м<sup>3</sup>;

$Q_r$  - расход системы, л/м<sup>3</sup>.

**Пример.** Рекомендуемая концентрация азота в ирригационной воде  $N_c(w)$  составляет 60 ppm. Используется жидкий нитрат аммония с концентрацией азота 21%  $N_c(\%)$  плотностью 1.3 г/см<sup>3</sup> ( $S_w$ ). Расход системы ( $Q$ ) составляет 105 м<sup>3</sup>/ч, производительность насоса ( $q$ ) 150 л/ч.

Расчет процента разведения  $D(\%)$ :

Прежде всего, рассчитаем необходимую концентрацию удобрения в оросительной воде:

$F_c(v) = 100 \cdot N_c(w) / (N_c(\%) \cdot S_w) = 100 \cdot 60 \text{ ppm} / (21 \% \cdot 1,3 \text{ г/сс}) = 220 \text{ сс/м} = 0,220 \text{ л удобрения / м}^3 \text{ воды.}$

Далее рассчитаем расход системы ( $Q_r$ ):

$Q_r = q / Q = 150 \text{ л удобрения /ч} / 105 \text{ м}^3 \text{ воды/ч} = 1.43 \text{ л удобрения/ м}^3 \text{ воды}$

Следовательно, для получения процента разведения ( $D_r$ )

$D(\%) = 100 \cdot F_c(v) / Q_r = 100 \cdot 0.220 \text{ л удобрения / м}^3 \text{ воды} / 1,43 \text{ л удобрения / м}^3 \text{ воды} = 15,4 \%$ .

### **Объем удобрений в баке для химикатов (литры)**

Для расчета объема удобрения на оросительный цикл используется:

$$F_t = T_v \cdot D(\%) / 100, \quad (4.12)$$

$F_t$  - количество удобрения на цикл орошения, л или кг;

$T_v$  - объем бака, л;

$D(\%)$  - процент разведения.

**Пример.** Объем бака для химикатов 200 литров с относительным разбавлением 12,5 %

$F_t = 200 \text{ л} \cdot 12,5\% / 100 = 25 \text{ литров удобрений.}$

Следовательно, в бак для химикатов емкостью 200 литров необходимо добавить 175 литров воды с 25 литрами удобрений, поскольку  $200 \text{ л} - 25 \text{ л} = 175 \text{ л}$

### **Подготовка смеси удобрений**

Для получения в орошающей воде определенной концентрации основных питательных веществ, можно смешать как простые удобрения, так и сложные. Требуемое количество удобрений подсчитывается при помощи следующего уравнения:

$$R_w = C_r \cdot 100 / C_n, \quad (4.13)$$

$F_w$  - вес удобрений, г / м<sup>3</sup>,

$C$  - рекомендуемая концентрация, ppm,

$C_n$  - концентрация питательных веществ в удобрении, %.

**Пример.** Рекомендуемая концентрация 60 ppm азота и 40 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Для получения этих концентраций необходим жидкий фосфат аммония и жидкий нитрат аммония. Поскольку концентрация фосфора в коммерческих удобрениях выражается как P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, нужно превратить P в P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Первоначально нужно преобразовать единицы удобрения:

$$P_2O_5 = 2,29 \cdot P$$

Таким образом: 220 ppm P равняются  $20 \cdot 2,29 = 45,8$  ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Рассчитаем необходимую концентрацию фосфора:

$$F_c(w) = 100 \cdot N_c(w) / N_c(\%) = 100 \cdot 45,8 \text{ ppm } P_2O_5 / 24\% P_2O_5 = 191 \text{ г/м}^3$$

Таким образом, для производства каждого кубометра оросительной воды нужно 191 г фосфата аммония.

$$F_v = F_w / S_w = 191 \text{ г/м}^3 / 1,3 \text{ г/см}^3 = 147 \text{ см}^3 / \text{м}^3, \text{ или } 0,147 \text{ л/ м}^3$$

Рассчитаем концентрацию азота, содержащегося в жидком фосфате аммония:

$$F_c(w) = 100 \cdot N_c(w) / N_c(\%), \text{ откуда}$$

$$N_c(w) = F_c(w) \cdot N_c(\%) / 100 = 191 \text{ г/м}^3 \times 8\% / 100 = 15,28 \text{ г/м}^3 = 15,28 \text{ ppm}$$

Для дополнения необходимой концентрации азота (60 ppm) нужно:  $60 - 15 = 45$  ppm =  $45 \text{ г/м}^3$

Этот объем будет получен из жидкого нитрата аммония по формуле 11:

$$F_c(w) = 100 \cdot N_c(w) / N_c(\%) = 100 \cdot 45 \text{ ppm} / 21\% = 214,29 \text{ г/м}^3$$

Для приведения веса к объему:

$$F_c(v) = 100 \cdot N_c(w) / (N_c(\%) \cdot S_w) = 100 \cdot 45 \text{ г/м}^3 / (21\% \cdot 1,3 \text{ г/см}^3) = 165 \text{ см}^3 / \text{м}^3 = 0,165 \text{ л/м}^3$$

На каждый кубический метр орошающей воды потребуется 147 см<sup>3</sup> жидкого фосфата аммония и 165 см<sup>3</sup> жидкого нитрата аммония.

## **5 ТРЕБОВАНИЯ К УДОБРЕНИЯМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ФЕРТИГАЦИИ**

### **Химические свойства и агрегатные состояния**

Для фертигации применяют удобрения, которые могут быть либо растворимыми твердыми веществами, либо уже готовыми растворами.

#### **Жидкие удобрения.**

Жидкие удобрения представляют собой растворы, разработанные для непосредственного использования в системах фертигации. Они бывают двух типов: простые и сложные. Простые удобрения содержат одно химическое соединение (например, азотную или фосфорную кислоту), хотя иногда могут включать и несколько питательных веществ. Сложные удобрения содержат комбинацию азота, фосфора и калия.

#### **Твердые удобрения.**

Твердые удобрения, подобно жидким, могут быть представлены в виде гранул или порошков и должны полностью растворяться в воде. Они также делятся на простые и сложные. Простые удобрения состоят из одного химического компонента, например, мочевины. Сложные удобрения могут быть как многокомпонентными (содержащими азот, фосфор и калий,), так и однокомпонентными. Многокомпонентные удобрения иногда обогащают магнием и микроэлементами. Однокомпонентные удобрения содержат только один или два из основных элементов, таких как моноаммонийфосфат (МАР) или монокалийфосфат (МКР).

### **Растворимость**

Температура воды оказывает влияние на то, как хорошо в ней растворяются химические вещества. Как правило, нагревание воды способствует лучшему растворению. Для фертигации подходят только те удобрения, которые полностью растворяются в воде. Удобрения с низкой растворимостью для этой цели непригодны.

В таблице 5.1 приведено несколько примеров зависимости растворимости удобрения от температуры.

Таблица 5.1- Влияние температуры на растворимость удобрений (граммов удобрения на 1 л дистиллированной воды)

Температура	0°С	5°С	10°С	20°С	25°С	30°С
Удобрение	Растворимость в дистиллированной воде (г/л)					
Сульфат аммония	700	715	730	750	770	780
Мочевина	680	780	850	1060	1200	1330
Хлорид калия	280	300	310	340	355	370
Сульфат калия	70	80	90	110	120	130
Нитрат калия	130	170	210	320	370	460
Фосфат моноаммония	227	255	295	374	410	464
Фосфат монокалия	90	110	180	230	250	300

В таблице 5.1 представлены данные о предельной растворимости различных удобрений в зависимости от температуры. Зимой часто наблюдается выпадение осадка в жидких удобрениях, что свидетельствует о перенасыщении раствора и кристаллизации избытка солей. Для предотвращения этого явления рекомендуется превентивное разбавление удобрения примерно на 20% перед наступлением низких температур. В связи со снижением концентрации питательных веществ, необходимо пропорционально увеличить норму внесения удобрения.

### **Взаимодействие вносимых химикатов с орошающей водой**

Необходимо провести оценку всех химических веществ, которые будут добавлены в орошающую воду, чтобы выявить возможные химические реакции.

- Это касается как кислот и биокислот, так и таких веществ, как хлор, которые используются для поддержания систем микроиригации.

- В микроиригации хлор обычно поступает из окисляющих агентов, что может привести к повышению рН воды. Это, в свою очередь, может вызвать осаждение кальциевых и магниевых карбонатов, а также оксидов железа (ржавчины) и других веществ.

- Не рекомендуется смешивать хелаты в растворах с рН ниже 3.5, так как при такой высокой кислотности хелаты распадаются, и их металлические ионы становятся свободными.

- Удобрения, содержащие полифосфаты, реагируют с металлами, что приводит к образованию малорастворимых соединений, выпадающих в осадок. В такой форме металлические ионы не усваиваются растениями.

- Полифосфатсодержащие удобрения также взаимодействуют с ионами кальция и магния, что может привести к образованию осадка, который засоряет фильтры и эмиттеры.

- В воде, богатой кальцием, сульфатные удобрения могут вызывать осаждение гипса. Поскольку растворимость гипса снижается с повышением температуры, эта проблема становится более актуальной в летний период.

- Щелочные растворы, такие как мочевины, способствуют осаждению извести из воды, содержащей ионы кальция и бикарбоната. В таких случаях рекомендуется добавлять кислоты, чтобы предотвратить или хотя бы уменьшить образование осадка, который может забивать эмиттеры.

- В некоторых регионах с высокой влажностью вода для орошения может содержать тяжелые металлы и органические вещества, которые, взаимодействуя с удобрениями, приводят к образованию осадков в системах орошения.

-Учитывая эти факторы, все вносимые химикаты (а также планируемые смеси) должны быть протестированы в орошающей воде как при начальной температуре источника, так и при температурах, которые могут возникать в боковых ветвях оросительной системы. Это особенно важно для подземных полиэтиленовых трубопроводов. Исходные растворы химикатов смешиваются в соответствии с планом.

-Оросительные системы и системы внесения удобрений и химикатов могут серьезно пострадать от коррозии. Большинство применяемых химикатов, как жидких, так и твердых, агрессивно воздействуют на материалы, из которых изготовлены компоненты этих систем. Для минимизации коррозии все детали, соприкасающиеся с химикатами или растворами, должны быть выполнены из коррозионно-стойких материалов. Это особенно важно для тех частей

оборудования, которые находятся в непосредственном контакте с рабочими жидкостями.

-После использования любых химикатов (за исключением кислот и хлора), системы внесения удобрений и ирригации необходимо тщательно промыть. Промывка удаляет остатки химических веществ, предотвращая их дальнейшее воздействие на материалы и, как следствие, коррозию. Несоблюдение этого правила может привести к преждевременному износу и поломке оборудования, что повлечёт за собой дополнительные расходы на ремонт и замену комплектующих. Выбор правильных материалов и регулярная промывка — ключевые факторы долговечности и эффективной работы всей системы.

### **Кислотность удобрений**

Все жидкие удобрения имеют определенный показатель кислотности среды рН (таблица 5.2). Те удобрения, которые имеют рН в интервале между 6.5 и 7, считаются нейтральными; с рН в интервале 3.5 – 6.5 – слабые кислоты, а с рН ниже 3.5 – сильные кислоты. Значение рН твердых удобрений измеряется в растворах, приготовленных путем растворения 1 грамма удобрения в одном литре дистиллированной воды. Значения рН твердых удобрений используются для сравнения удобрений разных типов.

Таблица 5.2. Значения рН и ЭП некоторых удобрений (при концентрации 1 г/л дистиллированной воды).

<b>Удобрение</b>	<b>рН</b>	<b>ЕС</b>
Хлорид калия	6.5	1.67
Сульфат аммония	5.4	1.06
Мочевина	8.0	0.001
Жидкий нитрат аммония	6.6	0.87
Нитрат калия	8.5	1.0
Моноаммониевый фосфат (МАР)	4.0	1.0
Монокалийный фосфат (МКР)	4.5-5.0	0.75

## 6 КАЧЕСТВО ВОДЫ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ХИМИГАЦИЮ

Типичные лабораторные анализы качества воды, предназначенной для орошения, должны включать измерение электрической проводимости, общего содержания растворенных твердых веществ, а также концентрации различных катионов и анионов, таких как кальций, магний, марганец, натрий, карбонат, бикарбонат, нитрат, хлор, железо и сульфат. Также необходимо определить уровень концентрации бора, рН воды и соотношение поглощенного натрия, с учетом его корректировки.

При оценке качества воды для систем микроиригации следует учитывать уровни физического, химического и биологического загрязнения, способствующего засорению каналов. В таблице 6.1 приведено краткое описание воды для орошения в контексте их потенциала к засорению.

Таблица 6.1 - Описание воды для орошения в микроиригации с точки зрения их возможности вызывать засорение

Степень выраженности проблемы	Небольшая	Некоторая	Тяжелая
<b>Физическая</b>			
Твердые вещества в виде суспензии (ppm)	<50	50-100	>100
<b>Химическая</b>			
рН	<7.0	7.0-8.0	>8.0
Растворенные твердые вещества (ppm)	<500	500-2000	>2000
Марганец (ppm)	<0.1	0.1-1.5	>1.5
Железо (ppm)	<0.1	0.1-1.5	>1.5
Сульфид водорода (ppm)	<0.5	0.5-2.0	>2.0
<b>Биологическая</b>			
Популяция бактерий (максимальное число на 1 мл.)	<10000	10000-50000	>50000

### Корректировка рН воды для полива посредством подкисления

Зачастую, добавление кислот для удержания рН поливной воды в пределах 5.5-6.5, что препятствует выпадению в осадок карбонатов кальция и магния,

является эффективным способом предотвращения засорения ирригационной системы. Кислотная обработка нейтрализует часть бикарбонатов посредством химической реакции. Это также способствует растворению уже образовавшихся отложений в системе, таких как карбонаты, гидроксиды и фосфаты.

Допустимо использование различных технических минеральных кислот, при условии их чистоты и отсутствия твердых примесей, таких как гипс. В Израиле наиболее распространенным выбором является соляная кислота (HCl, 33%) из-за ее доступности. Также приемлемо применение фосфорной, серной и азотной кислот. Однако, серная кислота, обладая высокой агрессивностью и коррозионными свойствами, требует специализированного оборудования для дозирования и повышенных мер предосторожности при работе.

Работа с кислотами требует строгого соблюдения техники безопасности, направленной на минимизацию риска разбрызгивания и прямого контакта кислоты с кожей и слизистыми. Обязательно использование защитных перчаток, а также защиты для лица и всего тела.

В целях безопасности, вначале наполните бак водой, и только после этого аккуратно добавляйте кислоту. Не допускайте прямого добавления кислоты в пустой бак!

В обычных обстоятельствах рекомендуется поддерживать концентрацию кислоты в поливной воде на уровне 0.6%. В ситуациях с повышенной жесткостью воды (значительное содержание карбоната кальция и магния) концентрацию увеличивают до 1%. Ввод кислоты следует осуществлять постепенно, в течение примерно 10 минут. После завершения добавления кислоты, продолжайте полив в течение получаса, чтобы полностью промыть систему от остатков кислоты.

Внесение кислоты возможно с использованием инжектора, насоса или из специальной емкости. При использовании емкости важно обеспечить тщательное перемешивание поливной воды с кислотой, так как из-за своей плотности кислота склонна скапливаться на дне.

## 7 ФЕРТИГАЦИЯ ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ

**Фертигация дождевальными машинами** — это совмещение полива с внесением растворённых удобрений, микроэлементов, регуляторов роста и средств защиты растений.

### **Некоторые преимущества такого подхода:**

- точная дозировка питательных веществ в соответствии с фазой развития культуры;
- повышение коэффициента использования удобрений растениями;
- снижение потерь питательных веществ при вымывании;
- ускорение и упрощение процесса внесения удобрений, снижение трудозатрат.

Для проведения фертигации совместно с дождевальными машинами используют специальное оборудование — гидроподкормщики. Они предназначены для введения в поливную воду растворов удобрений и препаратов.

**Фертигационный узел** может быть стационарным или мобильным, может перемещаться в кузове транспортного средства или быть установлен на площадке. Он обеспечивает растворение сухих концентратов и однородное перемешивание жидких концентратов в водном растворе. Приготовленный рабочий раствор затем перекачивается в оросительную сеть или напрямую в дождевальную машину.

**Фертигация требует качественной воды**, чёткой настройки дозаторов, а также постоянного контроля состава питательного раствора. При грамотном подходе этот метод повышает урожайность и улучшает качество продукции без ущерба для окружающей среды

Гидроподкормщики — это специальные дополнительные устройства к дождевальным машинам или установкам, а также самостоятельное оборудование для приготовления концентрированных удобрительных растворов и дозирования их в поток поливной воды через всасывающую линию насоса или напорную магистраль оросительной системы.

В зависимости от марки дождевальных машин используются различные конструкции гидроподкормщиков (рисунки 7.1 и 7.2).

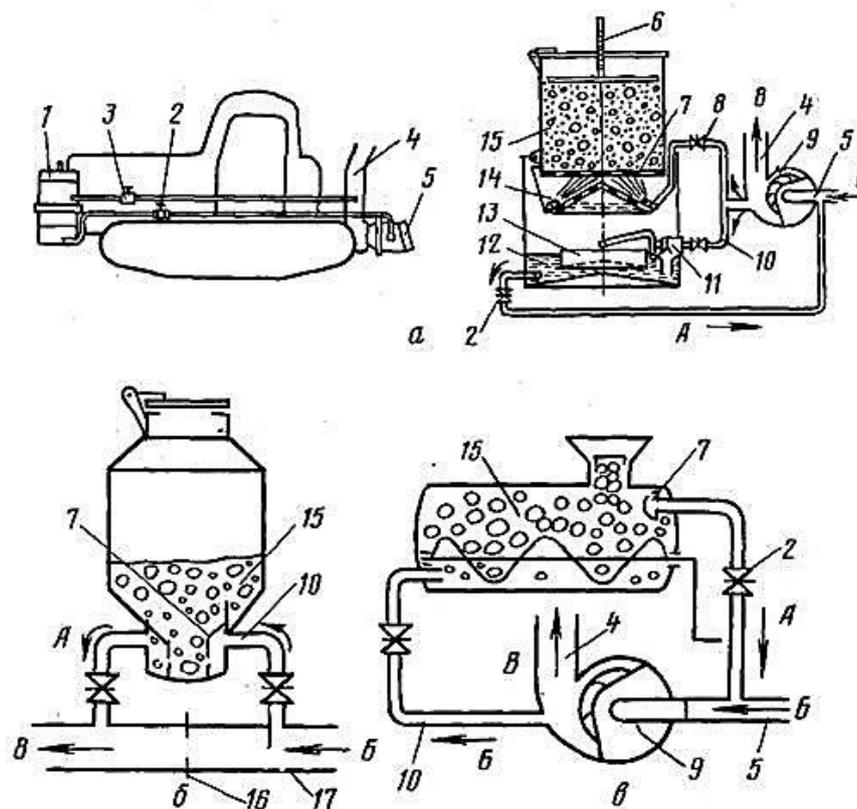


Рисунок 7.1 Гидроподкормщики к дождевальным машинам и установкам: а - к двухконсольному дождевальному агрегату (ДДА -100М); б - к поливным трубопроводам (КИ-50 «Радуга», ДКШ-64 «Волжанка»); в - к дальнеструйным дождевальным агрегатам (ДДН-70, ДДН-100);

1 - гидроподкормщик; 2 - вентиль на трубопроводе маточного раствора; 3 - вентиль регулирования подачи воды в подкормщик; 4 и 5 - напорная и всасывающая линии; 6 - указатель уровня удобрений; 7 - сетка; 8 - линия подачи воды для размыва удобрений; 9 - насос; 10 - трубопровод; 11 - запорный клапан; 12 - смесительный бак; 13 - поплавок; 14 - распылитель; 15 - удобрения; 16 - диафрагма; 17 - поливной трубопровод; А - маточный раствор; В - вода; В - раствор на полив.

Гидроподкормщики для двухконсольных агрегатов ДДА-100М (рисунок 7.1 а) устанавливают на трактор в передней части с левой стороны по ходу.

Основные части гидроподкормщика: верхний бак 1, в который через загрузочное окно засыпают удобрения, сетка 7, дозатор с краном, нижний смесительный бак 12, подводящие патрубки 8 и 10, нижний отводящий патрубок, указатель уровня удобрений в баке 6. Из напорной линии агрегата 4 через подводящий трубопровод и дозирующий кран 8 вода под давлением подается к четырем насадкам-распылителям. Выходящие из них струи направлены в прорези сетки 7, на которой находятся удобрения. Вода размывает и частично растворяет удобрения.

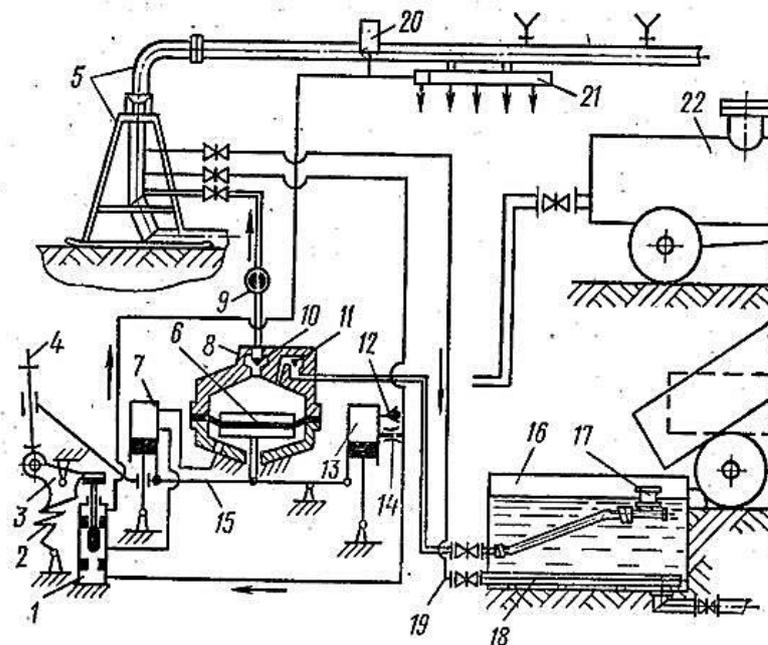


Рисунок 7.2 Технологическая схема гидроподкормщика машин

ДМУ «Фрегат» и ДФ-120 «Днепр»: 1 - клапан-распределитель; 2 - курковая пружина; 3 - рычаг переключателя; 4 - тяга; 5 - дождевальная машина; 6 - мембрана; 7 - силовой гидроцилиндр; 8 - диафрагмовый насос-дозатор; 9 - кран-задатчик производительности; 10 - нагнетательный клапан; 11 - всасывающий клапан; 12 - обратный клапан; 13 - возвратный гидроцилиндр; 14 - дроссельная шайба; 15 - силовой рычаг; 16 - стационарная растворонакопительная емкость; 17 - поплавковое устройство; 18 - барборатор; 19 - запорное устройство; 20 - емкость поплавкового переключателя; 21 - сливной трубопровод; 22 - передвижная емкость с концентрированным раствором.

Раствор большой концентрации сливается в нижний смесительный бак 12, где перемешивается с водой, поступившей непосредственно из напорной линии по трубе 10. Для лучшего перемешивания подводящее сопло здесь расположено по касательной к стенке бака. Количество воды в нижнем баке автоматически регулируется поплавком 13 и запорным клапаном 11. Отсюда по трубопроводу с вентилем 2 вода с растворенными в ней удобрениями (маточный раствор) поступает во всасывающую линию 5 агрегата. Проходя через насос 9 и трубопроводы, раствор перемешивается с водой, предназначенной для полива. Расход удобрений регулируют количеством воды, подаваемой в бак.

**Гидроподкормщик к дождевальным машинам типа КИ-50 «Радуга» и ДКШ-64 «Волжанка»** (рисунок 7.1 б) имеет бак, установленный на подставке. Подводящие и отводящие рукава подсоединяются к патрубку, внутри которого помещена диафрагма 16. Перед диафрагмой давление несколько выше, а за ней снижается. Под действием возникающего перепада давлений образуется ток воды по напорному рукаву 10 в бак гидроподкормщика.

Там вода растворяет находящиеся удобрения, и по отводящему рукаву маточный раствор удобрений направляется в зону меньшего давления основного трубопровода, где смешивается с поливной водой. Удобрения, загруженные через верхнюю крышку в бак, поступают под действием собственной массы к сетке 7 и пополняют расход растворенного вещества. Расход воды, проходящий через бак подкормщика, а следовательно и концентрацию раствора удобрений изменяют вентилями, установленных на подводящих и отводящих рукавах.

**Дальнеструйные дождевальные машины ДДН-70 и ДДН-100** укомплектованы гидроподкормщиками проточного действия (рисунок 7.1 в). Бак с горловиной и заглушкой оборудован подводящей и отводящей 10 трубами с вентилями. Внутри бака помещен шнековый смеситель. Минеральные удобрения засыпают через горловину в бак, затем закрывают ее заглушкой, при работающем дождевателе открывают вентиль 8 на

подводящей линии и наполняют бак водой. Шнековым смесителем вручную за рукоятку в течение 5 - 6 мин перемешивают содержимое бака. После растворения удобрений открывают вентиль на отводящей трубе, и образовавшийся раствор отводится во всасывающую линию центробежного насоса машины. В насосе 9 он перемешивается с водой и распределяется по поливаемой площади. Расход поступающей в бак воды и отводимого из него раствора регулируют вентилями.

**Гидроподкормщики для широкозахватных дождевальных машин «Фрегат», «Днепр»** работают под напором воды в трубопроводе машины и не требуют дополнительного источника энергии.

**Устройство.** Гидроподкормщик состоит из диафрагмового насоса-дозатора 8 (рисунок 7.2) с гидроприводом и технологического оборудования: растворонакопительной емкости 16 для приготовления концентрированного раствора, поплавкового устройства 17 с фильтром, коллектора-смесителя (барборатора) 18 и соединительных трубопроводов с запорной арматурой.

Диафрагмовый насос 8 подкормщика внутри разделен гибкой мембраной 6 на камеру нагнетания и подмембранную гидравлическую полость. Последняя соединена с рабочей камерой силового гидроцилиндра 7. Рабочая полость цилиндра 7 через распределительное устройство сообщается резиноканальным рукавом с основным трубопроводом машины. Это устройство состоит из клапана-распределителя 1, рычага переключателя 3 с курковой пружиной 2 и тяги 4. Мембрана насоса 6 соединена штоком с качающимся силовым рычагом 15, на разноплечих концах которого шарнирно закреплены силовой 7 и возвратный 13 гидроцилиндры. Возвратный гидроцилиндр постоянно сообщен с трубопроводом дождевальной машины.

В магистрали подсоединения возвратного гидроцилиндра к трубопроводу машины установлены параллельно включенные обратный клапан 12 и дроссельная шайба 14, совмещенные в одном узле. Силовой рычаг 15 соединен подвижно с тягой 4 распределительного устройства. Отработавшая вода из гидропривода агрегата сливается через перфорированный полиэтиленовый

трубопровод 21, соединенный с гидроприводом подкормщика рукавом. Камера нагнетания насоса через всасывающий клапан 11 и подсоединительный трубопровод сообщается с расходной емкостью, а через нагнетательный клапан 10 и рукав — с трубопроводом машины 5.

**Работа подкормщика.** Доставленные к дождевальная машина удобрения стружают в емкость 16, представляющую собой бак сварной конструкции (из листовой стали) вместимостью 7-10 м<sup>3</sup> или бетонированную емкость. Одновременно по трубопроводу (с вентилем) подается вода для их растворения из напорного водопровода. Приготовленный раствор удобрений впрыскивается насосом-дозатором в трубопровод дождевальной машины при рабочем давлении 0,47-0,75 МПа.

Во время нагнетания вода из трубопровода через клапан-распределитель 1 поступает в рабочую полость силового гидроцилиндра 7 и подмембранную гидроприводную камеру насоса. Усилением силового гидроцилиндра 7 качающийся рычаг 15 движется вверх. Мембрана 6 насоса под действием рычага 15 и давления воды в подмембранной полости перемещается в верхнее положение и выталкивает порцию раствора в трубопровод машины. При этом силовой гидроцилиндр преодолевает также усилие возвратного гидроцилиндра, который постоянно находится под напором воды. Это становится возможным из-за разности плеч действия этих гидроцилиндров на рычаг 15. Находящаяся в возвратном гидроцилиндре вода выталкивается в напорный водопровод через обратный клапан 12 и дроссельную шайбу 14. В конце хода нагнетания силовой рычаг 15, взаимодействуя с верхним штифтом тяги 4, переключает распределительное устройство. В результате этого перекрывается доступ воды в силовой гидроцилиндр и подмембранную полость насоса. Под действием усилия возвратного цилиндра 13 качающийся рычаг 15 вместе со штоком насоса перемещается в обратном направлении, в результате чего в камере нагнетания насоса создается разрежение, и раствор всасывается из емкости.

Для снижения скорости движения мембраны в возвратный гидроцилиндр установлена дроссельная шайба 14. При ходе всасывания насоса рабочая полость возвратного гидроцилиндра сообщается с трубопроводом машины только через дроссельную шайбу. Раствор удобрений всасывается мембранным насосом по подсоединительному трубопроводу через фильтр и нагнетается в трубопровод машины через кран-задатчик производительности 9 и подсоединительный рукав. Расход дозатора в пределах 25 - 450 л/ч регулируют числом двойных ходов гидроцилиндра в единицу времени.

Возможно использование предварительно приготовленного раствора из передвижной емкости, например автоцистерны 22.

### **Гидроподкормщики дождевальных систем**

Гидроподкормщики предназначены для приготовления растворов минеральных удобрений и внесения их на поля одновременно с поливом.

**Гидроподкормщик ГПД-50.** Гидроподкормщик ГПД-50 с проточно-напорной системой включают в магистраль распределительного трубопровода 9 при помощи трубы 1 (рис. 7.3, а) с диафрагмой 7. Трубу соединяют с баком 4, подводящим 5 и отводящим 3 рукавами, перекрываемыми регулировочными вентилями 2 и 6. Удобрения засыпают в бак 4 через горловину, закрываемую крышкой. Вода по рукаву 5 поступает в бак и растворяет удобрения. Раствор из бака выходит по отводящему рукаву 3 в распределительный трубопровод и смешивается с водой. Подачу раствора регулируют вентилями 2 и 6. Вместимость бака 65 л. Масса загружаемых удобрений 70 кг. Гидроподкормщик используют с дождевальными установками КИ-25, КИ-50 и ДКШ-64 «Волжанка».

### **Гидроподкормщик с всасывающе-нагнетательной системой**

Гидроподкормщик с всасывающе-нагнетательной системой (рис. 7.3, б) используют с дальнеструйными дождевателями. Из нагнетательной магистрали часть потока воды по рукаву 5 поступает в бак 4. Вода растворяет удобрения, засыпанные в бак, и образует маточный раствор. По отводному рукаву 3 раствор поступает в насос 8, смешивается с основным потоком воды, а

затем дождевальными аппаратами распределяется по орошаемой площади. Вместимость бака 107 л.

**Гидроподкормщик с размывателем.** Гидроподкормщик с размывателем (рис. 7.3, в) устанавливают на дождевальных агрегатах ДДА-100МА. Удобрения засыпают в верхний бак 4 с сетчатым дном 11. Вода под давлением поступает по рукаву 5 к распылителям 9 и размывает нижний слой удобрений. Образующийся раствор стекает в нижний бак-смеситель 12, смешивается с чистой водой и по рукаву 3 поступает во всасывающую магистраль насоса 8. Здесь раствор дополнительно смешивается с водой и подается в напорную магистраль агрегата. Уровень воды в нижнем баке-смесителе 12 поддерживает поплавок 10 с запорным клапаном. Вместимость бака 120л.

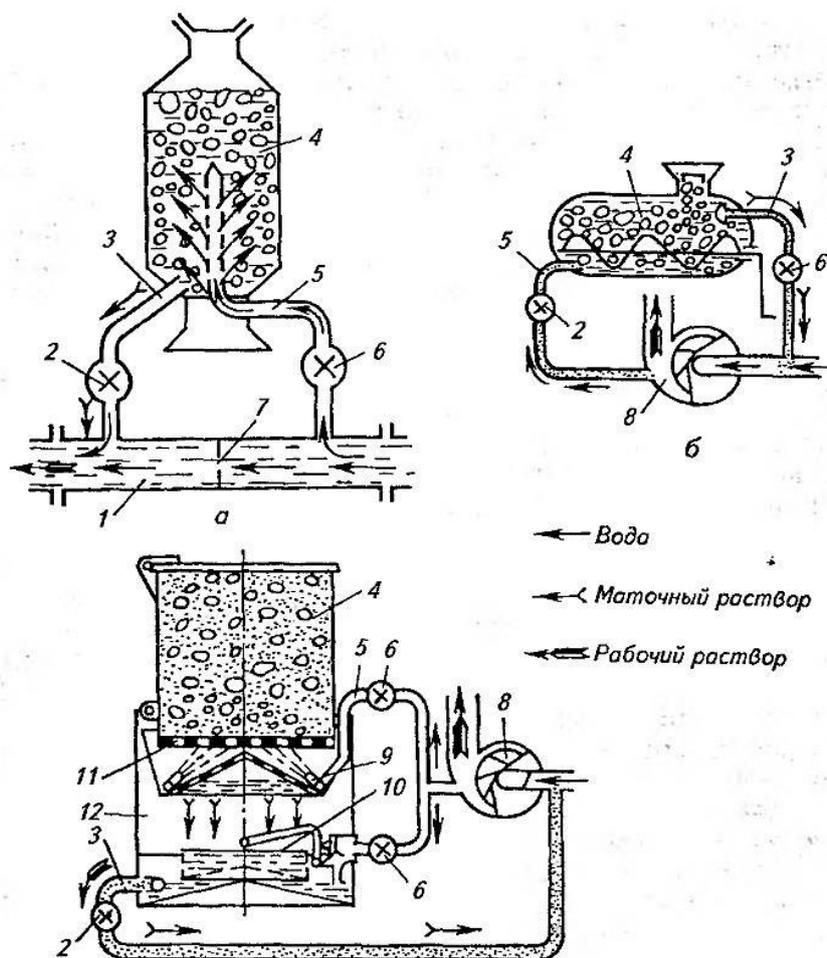


Рисунок 7.3 - Виды гидроподкормщиков

## **8 ИССЛЕДОВАНИЯ РАВНОМЕРНОСТИ ПОЛИВА ШИРОКОЗАХВАТНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ФЕРТИГАЦИИ**

Жидкая карбамидо-аммиачная селитра является наиболее распространенным источником азота, добавляемого в воду для орошения. Она поддерживает постоянную концентрацию без перемешивания, ее легко транспортировать и хранить. Такой способ внесения азота называется азотной фертигацией.

Внесение части необходимого для сельскохозяйственных культур азота (N) в поливную воду является признанной наилучшей практикой. Тем не менее применять удобрения подобного типа с оросительной водой следует только в системах, которые могут обеспечить равномерное распределение воды.

Исследования равномерности полива без внесения удобрений, а также равномерности внесения удобрений проводились с 2017–2024 гг. в УНПО «Поволжье» Вавиловский университет (с. Степное Энгельсского района), УНПК Агроцентр, Вавиловский университет; ООО «Наше дело» (Саратовская область, Марковский район), КФХ Саратовская область, ОМП «Дубна», РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, на широкозахватных ДМ Кубань-ЛК1М «Каскад», «КАСКАД», «Фрегат», ДМ Reinke.

Экспериментальные исследования выполнялись в соответствии с требованиями СТО АИСТ 001–2010.

Стенд для измерения качественных характеристик дождевателей дождевальных машин представляет собой стойку с гибко регулируемой опускной трубой, на которой закреплена испытываемый дождеватель. Подача воды осуществляется центробежным насосом через водосчетчик (рис. 8.1).

Полный напор измерялся с помощью трубки Пито. Дождеватель был снабжен заборной крышкой, через которую вода поступала в измерительную емкость.



Рисунок 8.1 – Стенд для испытаний

Время заполнения которой измерялось секундомером. Расход воды определялся по уравнению:

$$Q = V_{\text{МБ}} / t, \quad (8.1)$$

где  $V_{\text{МБ}}$  - объем мерной емкости, л;

$t$  - время, с.

Средняя фактическая интенсивность  $\rho_{\text{ср}}$ , мм/мин, определялась как отношение расхода воды  $Q_{\text{Н}}$  к мгновенной орошаемой площади:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{60Q_{\text{Н}}}{\pi R'^2}, \quad (8.2)$$

где  $Q_{\text{Н}}$  - расход, л/с;

$R'$  - радиус распыливания дождя, м.

Диаметр дождевых капель измеряли с использованием бумажных фильтров по 100-150 капель, измеряемых в начале, середине и конце распыливаемого потока.

Равномерность орошения оценивалась коэффициентом эффективности полива и коэффициентом неравномерности орошения.

По методике Кристиансена определялся коэффициент равномерности орошения:

$$\sigma_0 = 100 \left( 1 - \frac{\sum |h_i - h|}{h \cdot n_{\text{ИЗМ}}} \right), \quad (8.3)$$

где  $h$  - средний слой осадков, мм;

$|h_i - h|$  - абсолютное значение отклонения от среднего слоя, мм;

$n_{\text{ИЗМ}}$  - количество измерений.

Фактическое среднее значение нормы полива определялась по следующей формуле, м<sup>3</sup>/га:

$$m_{\text{Ф}} = 10 \cdot h, \quad (8.4)$$

где  $h$  - средний слой осадков, мм.



Рисунок 8.2 - Сходящийся поток для разных форм дефлектора

При проведении полевых исследований вдоль трубопровода дождевальными машинами устанавливались дождеприемники. Объем воды в дождеприемниках измерялся мензуркой, а время полива дождем и продолжительность эксперимента - секундомером и часами.

Распределение слоя дождя по участкам поля:

$$h = \frac{10 \cdot V_d}{S_d}, \quad (8.5)$$

$h$  - слой дождя, мм;

$V_d$  - объем воды в дождеприемнике, мл;

$S_d$  - площадь приемника дождемера, см<sup>2</sup>.

Значения потерь от дождя и ветрового сноса определялись по уравнениям:

$$E_{ис} = \frac{m_p - m_\phi}{m_\phi} \cdot 100\%, \quad (8.6)$$

где  $m_p$ ,  $m_\phi$  - теоретическая и экспериментальная поливная норма.

Влажность почвы измерялась трех-пятикратно с интервалом 10 см в слое 0-100 см до и после полива и рассчитывалась по уравнению:

$$B_{п} = \frac{100 \cdot m_B}{m_{СП}} = 100 \frac{m_{1С} - m_{0С}}{m_{0С} - m_C}, \quad (8.7)$$

где  $m_B$  - масса испарившейся воды, г;

$B_{п}$  - полевая влажность, %;

$m_C$  - масса тары, г;

$m_{СП}$  - масса сухой почвы, г;

$m_{0С}$  - масса высушенной почвы, г;

$m_{1С}$  - масса влажной почвы с тарой, г.

Для определения содержания влаги образцы почвы массой 15-50 г собирались квартованием, взвешивались, помещались в пронумерованные стаканчики и закрывались крышками. Почву высушивали при температуре  $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение 5 ч до постоянной массы (рис. 8.3).

Определение величины стока проводилось по общепринятой методике с использованием делянок площадью 1000 см<sup>2</sup>.

При выборе экспериментальных площадок ориентировались на однородность почвы, рельефа местности.



Рисунок 8.3- Определение влажности почвы



Рисунок 8.4 – Расстановка дождемеров

Таблица 8.1 - Техническая характеристика Reinke

Характеристика	Показатель
Длина пролета, м	35,97; 36,58; 41,76; 47,55; 53,34; 54,87; 56,91; 64,93
Норма орошения	2-40 мм
Давление на выходе оросительной системы, атм.	2,5-3
Максимальный угол склона	15%

Таблица 8.2 - Техническая характеристика ДМ «Каскад65Т»

Параметр	Значение
Площадь орошения	10-102 га
Радиус захвата дождем	179-569 м
Рабочее давление на входе в машину	0,2-0,43 МПа
Максимальный расход воды	65 л/с (234 м <sup>3</sup> /ч)
Выдаваемая среднесуточная норма	5,5-15 мм/сут

полива	
Длина пролета, м	59,5 м; 65,25 м; 71,05 м
Длина консоли, м	6; 12; 18; 24; 30; 31
Общий уклон поля вдоль трубопровода машины	До 0,05-0,07
Максимально допустимый местный уклон поля	До 0,05-0,12

Таблица 8.3 - Параметры водопроводящего пояса ДМ «Каскад65Т»

Трубопровод	Максимальный расход воды, при скорости потока 3,54 м/с	
Ø 102 х 3 мм	25,6	92,3
Ø133 х 3 мм	44,8	161,5
Ø159 х 3 мм	65,1	234,4
Ø 219 х 3 мм	126,2	454,4

Таблица 8.4 - Максимальная площадь орошения и предельный радиус захвата дождем в зависимости от интенсивности полива для трубопровода Ø159 х3 мм

Выдаваемая среднесуточная норма полива, мм	Гидромодуль подачи, л/с га	Максимальная площадь орошения, га	Предельный радиус захвата дождем, м
5,53	0,64	101,8	569,2
6,05	0,70	93,0	544,1
6,57	0,76	85,7	522,3
7,00	0,81	80,4	505,9
8,04	0,93	70,0	472,0
8,64	1,00	65,1	455,3
9,07	1,05	62,0	444,2

10,02	1,16	56,1	422,6
11,06	1,28	50,1	399,4
12,01	1,39	46,9	386,4
13,05	1,51	43,1	370,4
14,00	1,62	40,2	357,7
15,03	1,74	37,4	345,0

Таблица 8.5 - Концевые дальнеструйные аппараты и дождеватели

Наименование, общий вид	Технические характеристики
 <p>R55</p>	<p>Расход 1,16-6,55 л/с  Давление 1-4 атм  Радиус 12,2-16,9 м</p>
 <p>P85A</p>	<p>Расход 0,83-3,77 л/с  Давление 1,5-4,1 атм  Радиус 15-24 м</p>
 <p>SR75</p>	<p>Расход 1,94-6,38 л/с  Давление 1,75-4 атм  Радиус 21-28м</p>
 <p>R25S</p>	<p>Расход 1,47-10,8 л/с  Давление 2-6 атм  Радиус 18-39,5 м.</p>

Таблица 8.6 - Установки процентного таймера при требуемой поливной норме кратной 50 м<sup>3</sup>/га (на примере МДЭК-416-61-64)

Требуемая норма, м <sup>3</sup> /га	Установка таймера, %	Режим работы, с		Время полного оборота, ч	Норма полива за проход, м <sup>3</sup> /га
		Импульс	Пауза		
Max 735	9	5,4	54,6	194,50	735,21
650	10	6	54	175,05	661,69
600	11	6,6	53,4	159,14	601,53
550	12	7,2	52,8	145,87	551,41
500	13	7,8	52,2	134,65	508,99
450	14	8,4	51,6	125,04	472,63
400	16	9,6	50,4	109,41	413,56
350	19	11,4	48,6	92,13	348,26
300	22	13,2	46,8	79,57	300,77
250	26	15,6	44,4	67,33	254,5
200	33	19,8	40,2	53,05	200,51
150	44	26,4	33,6	39,78	150,38
100	66	39,6	20,4	26,52	100,26
Min 66	100			17,5	66,17

Краткая характеристика условий проведения исследований фертигации сведены в таблицу 8.7-8.8 .

Таблица 8.7 - Технические характеристики для выбранных полевых испытаний.

Опыт	Время	Расход ДМ, л/с	Давление МПа	Концевой пистолет	Культура
1	июнь	56	0,48	да	Кукуруза и соя

2	июнь	56	0,48	да	Кукуруза и соя
3	июнь	48	0,19	нет	кукуруза
4	июль	60	0,28	нет	кукуруза
5	июль	46	0,44	да	Кукуруза и соя
6	июль	63	0,43	да	кукуруза
7	август	59	0,4	да	кукуруза
8	Август/ сентябрь	31	0,2	нет	Кукуруза и соя
9	Август/ сентябрь	32	0,22	нет	Кукуруза и соя
10	Август/ сентябрь	40	0,27	да	Кукуруза и соя

Таблица 8.8 - Краткое описание результатов

№	Среднее значение слоя дождя в мм	Комментарии
1	18	Скорость ветра с порывами до 4,9м/с
2	11,5	Скорость ветра меньше 2,2 м/с
3	15,2	Скорость ветра меньше 2,2 м/с
4	12	Скорость ветра меньше 2,2 м/с
5	14,2	Допустимая скорость ветра
6	13,4	Допустимая скорость ветра
7	17,7	Скорость ветра до 9 м/с
8	8,1	Допустимая скорость ветра
9	13,9	Допустимая скорость ветра
10	12,7	Допустимая скорость ветра

Распределение слоя дождя по длине машин для опытов с 1 по 10 представлены на рисунках 8.5-8.12.

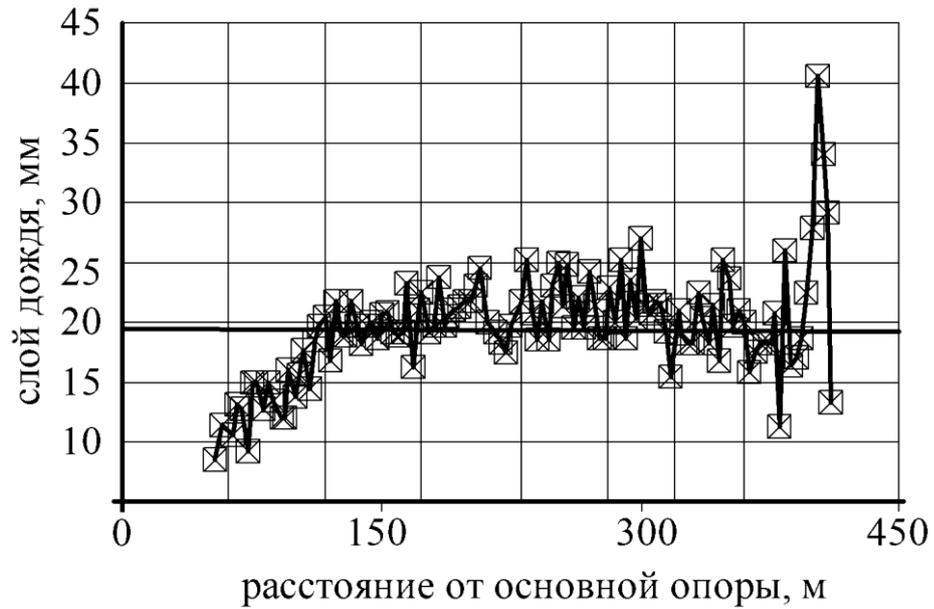


Рисунок 8.5- Распределение воды в опыте 1 (18 мм при 100% равномерности распределения)

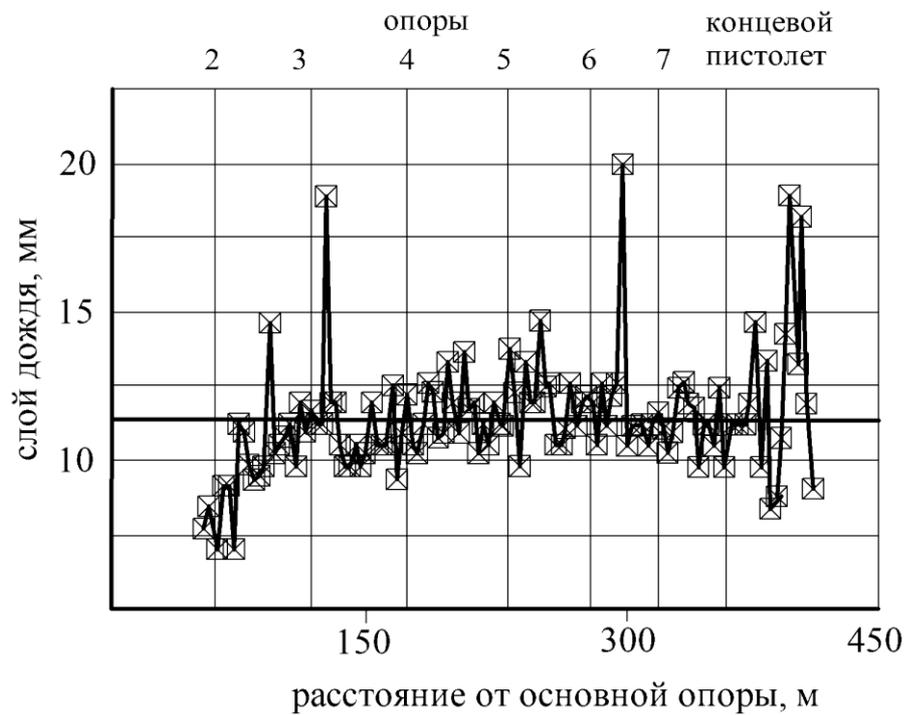


Рисунок 8.6- Распределение воды в опыте 2 (11,5 мм при 100% равномерности распределения)

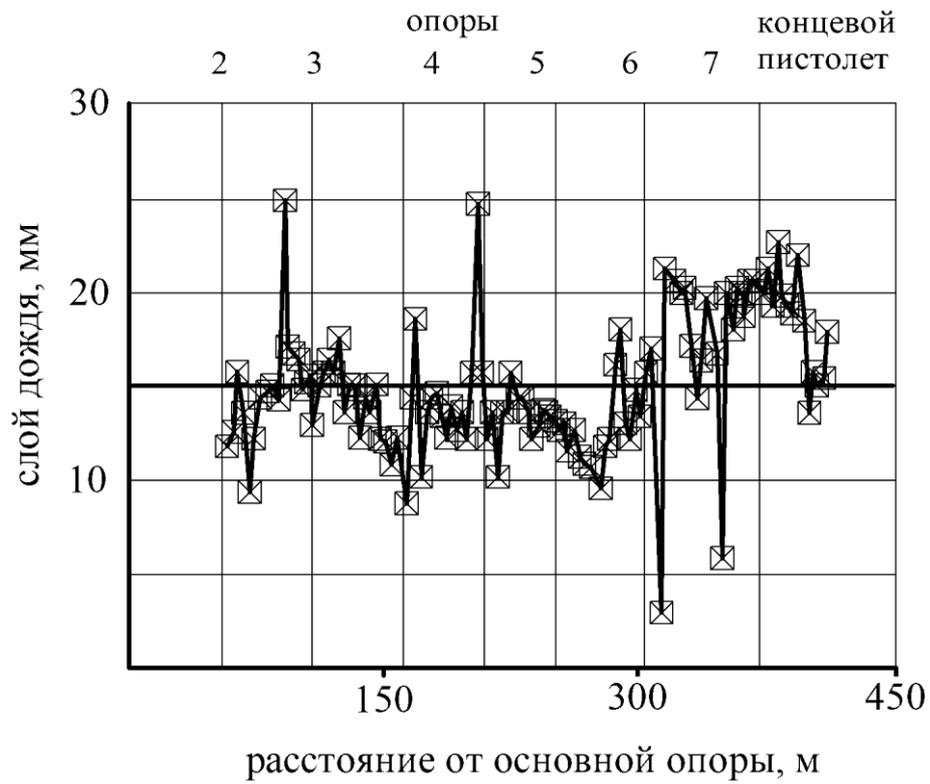


Рисунок 8.7- Распределение воды в опыте 3 (15,2 мм при 100% равномерности распределения)

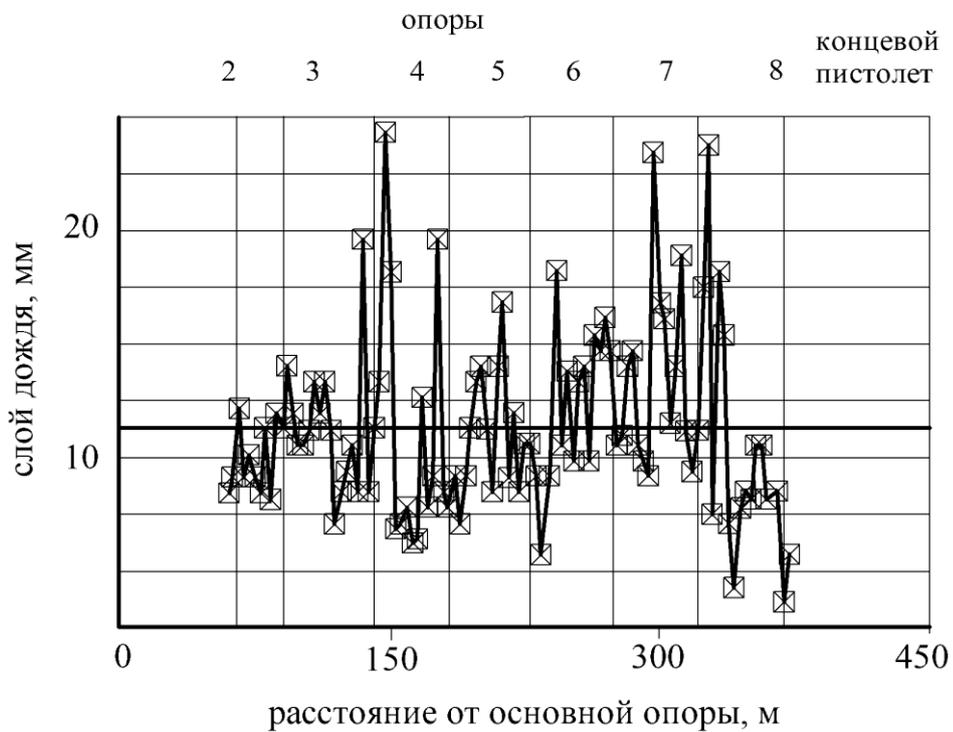


Рисунок 8.8- Распределение воды в опыте 4 (12 мм при 100% равномерности распределения)

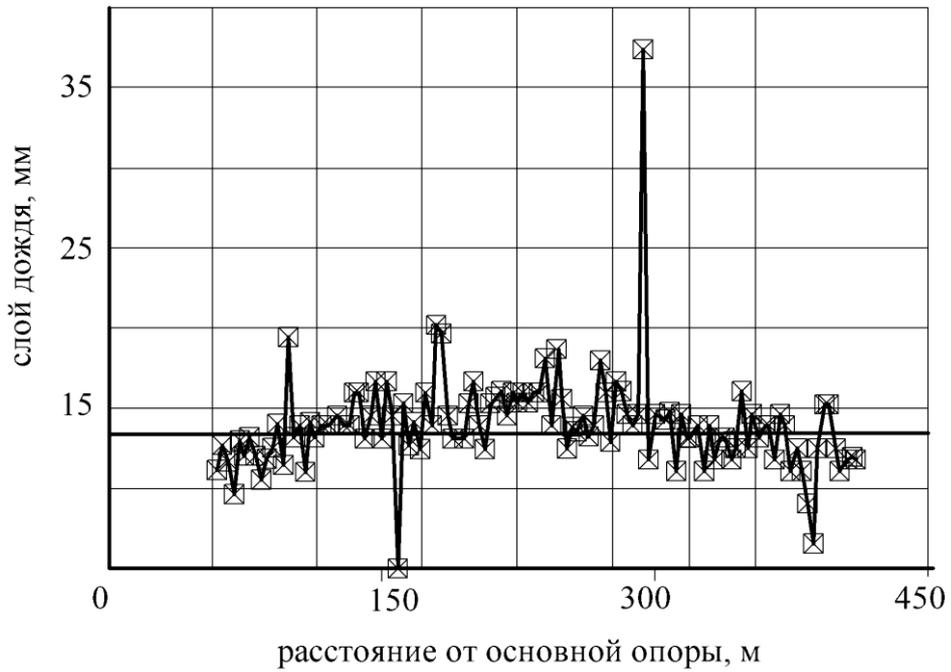


Рисунок 8.9- Распределение воды в опыте 5 (14,2 мм при 100% равномерности распределения)



Рисунок 8.10- Распределение воды в опыте 6 (13,4 мм при 100% равномерности распределения)



Рисунок 8.11- Распределение воды в опыте 7 (17,7 мм при 100% равномерности распределения)

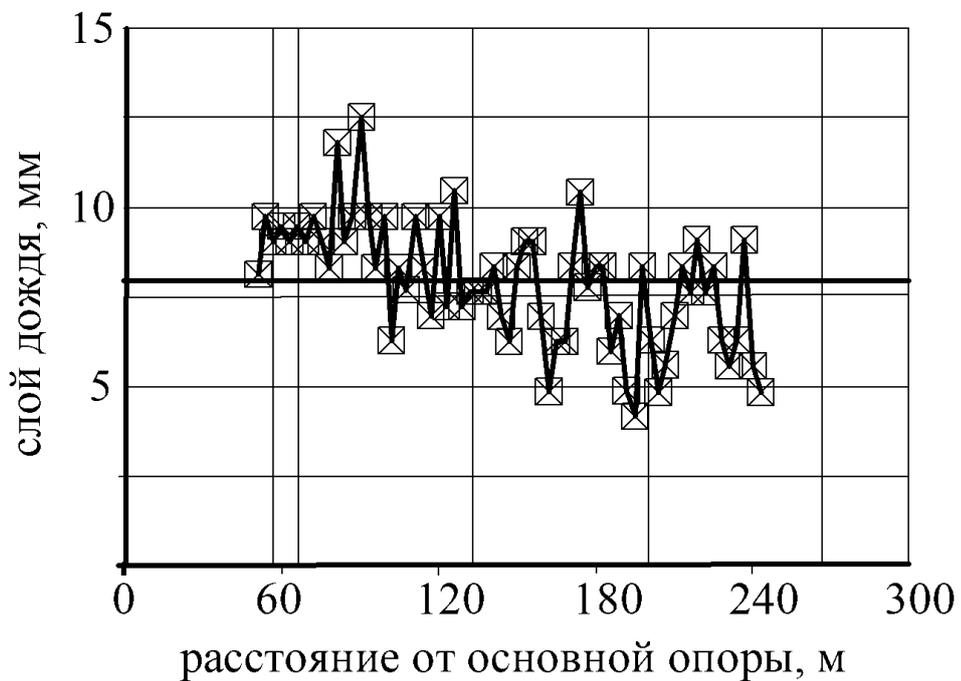


Рисунок 8.12- Распределение воды в опыте 8 (8,1 мм при 100% равномерности распределения)

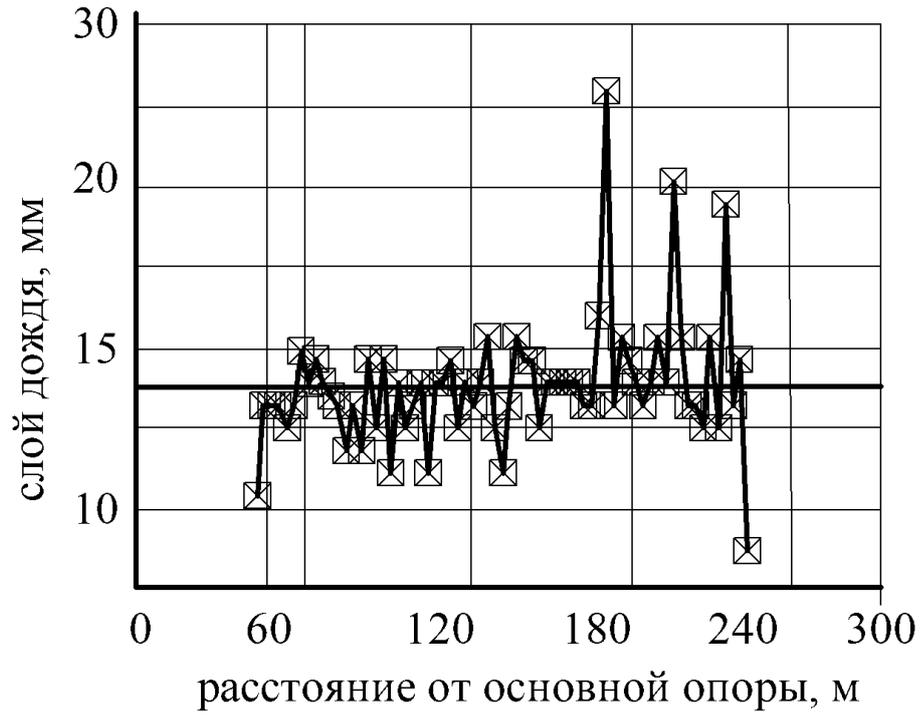


Рисунок 8.13- Распределение воды в опыте 9 (13,9 мм при 100% равномерности распределения)

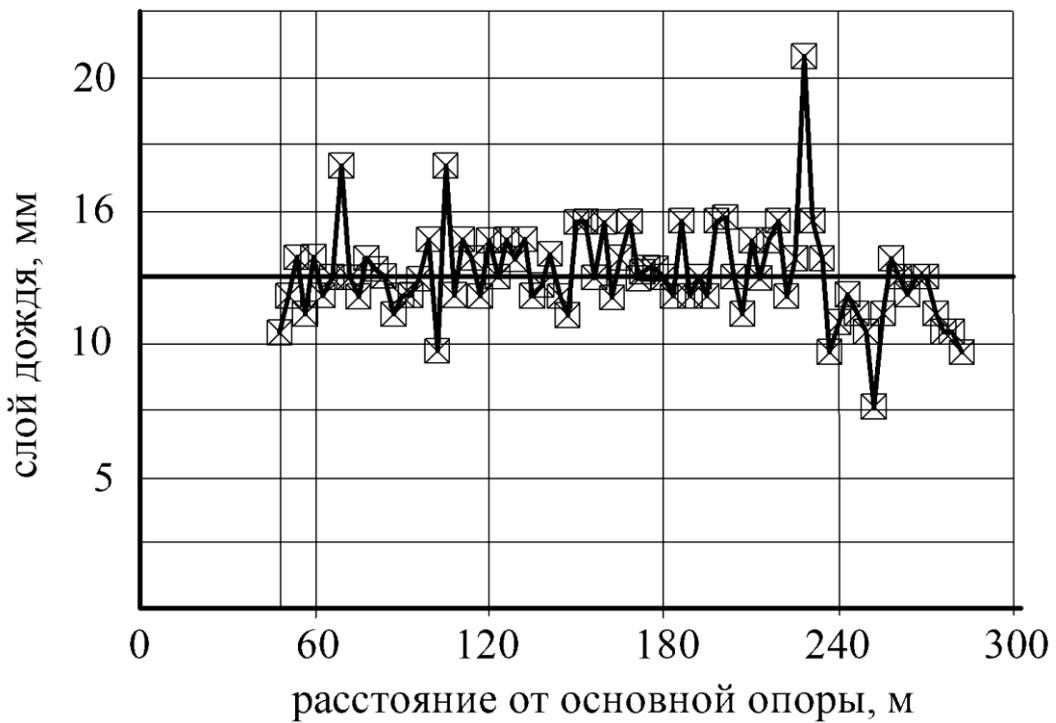


Рисунок 8.14- Распределение воды в опыте 10 (12,7 мм при 100% равномерности распределения)

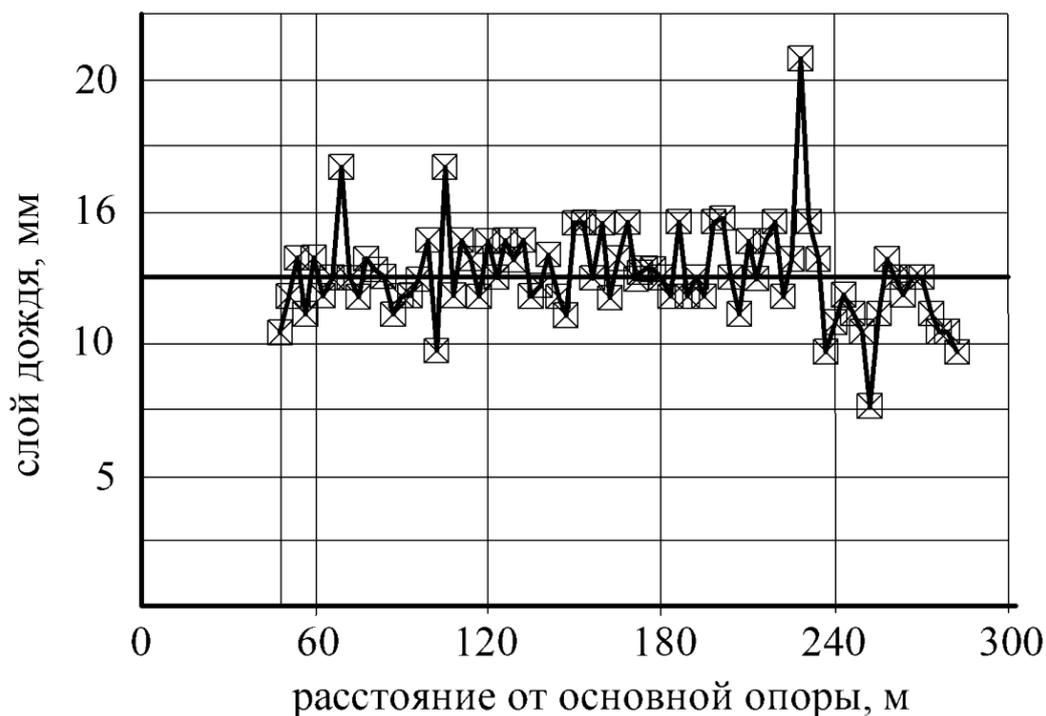


Рисунок 8.15- Распределение 12 кг/га азотных удобрений при фертигации

Типы дождевателей и рабочее давление в значительной степени влияют на равномерность распределения дождя. Например, в опытах 4 и 7 установлены не дождеватели со статическим дефлектором. Равномерность распределения дождя составляла 0,74 и 0,79% соответственно. Для опытов 2 и 5 составляют 88 и 87% .

Дождеватели с вращающимся дефлектором обеспечивают более равномерное распределение по площади орошения и низкую мгновенную норму расхода.

Высокая мгновенная норма полива с высокой скоростью и крупностью капель разрушает почвоагрегаты, вызывает уплотнение порового пространства почвы и отрицательно влияет на агрокультуры.

В опыте 6 равномерность полива составила 0,83 (меньше допустимого значения 0,85%), что частично было обусловлено нависающим пологом листьев кукурузы.

Дождеватели с вращающимся дефлектором могут обеспечивать более высокую равномерность, чем со стационарным, даже в ветреную погоду, как показано в опытах 1, 7 и 8 (0,82, 0,79 и 0,81 соответственно).

Испытания 8, 9 и 10 проводились после осеннего сбора урожая.

В испытаниях 1 и 8 при одинаковых погодных условиях коэффициенты однородности практически одинаковы (82 и 81%) соответственно, что говорит о высоком влиянии скорости ветра.

Системы с вращающимися дефлекторами дождевателей имели больший коэффициент равномерности в среднем на 2-8%.

Крона культурных растений, особенно кукурузы, также может влиять на объем воды, улавливаемой стаканчиками при проведении исследований, если стаканчики расположены слишком близко к линии посева.

Объем воды, поданной на участок орошения, также можно определить путем умножения средней глубины полива на площадь орошаемого участка. Разница между расчетными объемами, полученными на основе среднего количества осадков и объемом, полученным по данным расходомера составляет около 3-4%.

Большая разница как правило объясняется испарением и уносом ветром и разница тем больше, чем больше скорость ветра.

### **Результаты и анализ внесения удобрений при поливе**

Как показывают проведенные исследования Опыт 4 показал самые низкие значения равномерности (0,73%).

Предполагая, что машина внесет 90 кг азота в течение всего сезона, используя только фертигацию, на рисунке показано количество азота, которое получит каждый участок.

Низкая равномерность в системе дождевания оказывает негативное влияние на внесение удобрений. Участки получают больше/ меньше воды и, соответственно, больше/ меньше азота. Рост агрокультур и урожайность будут неравномерными и низкими при недостаточной однородности.

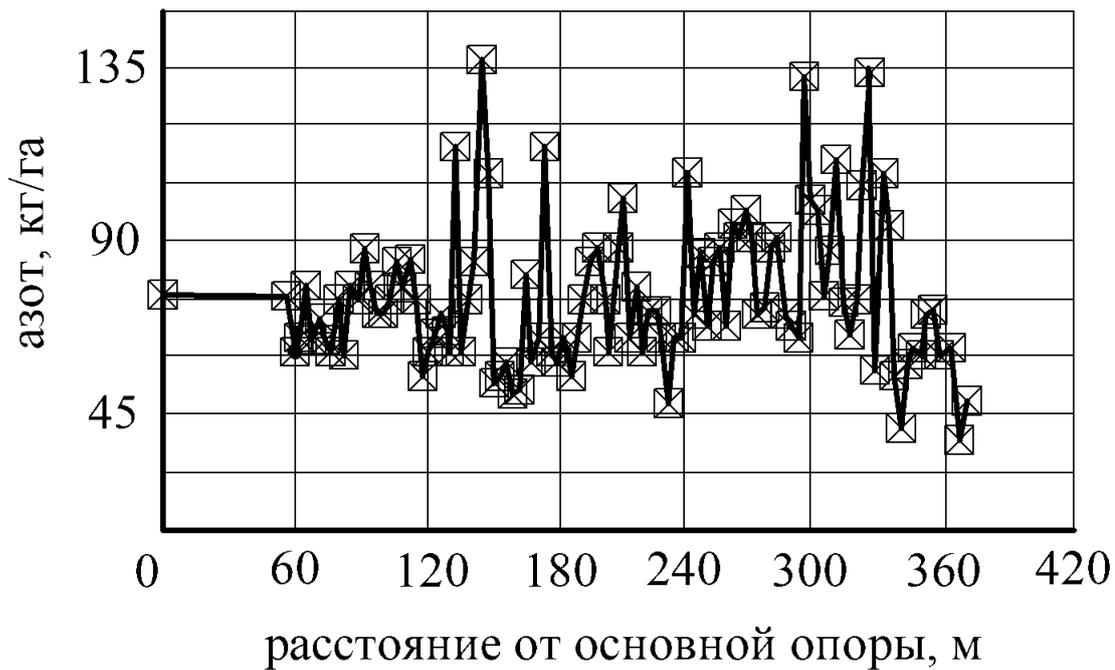


Рисунок 8.16- Распределение азота в опыте 4. (90 кг азота)

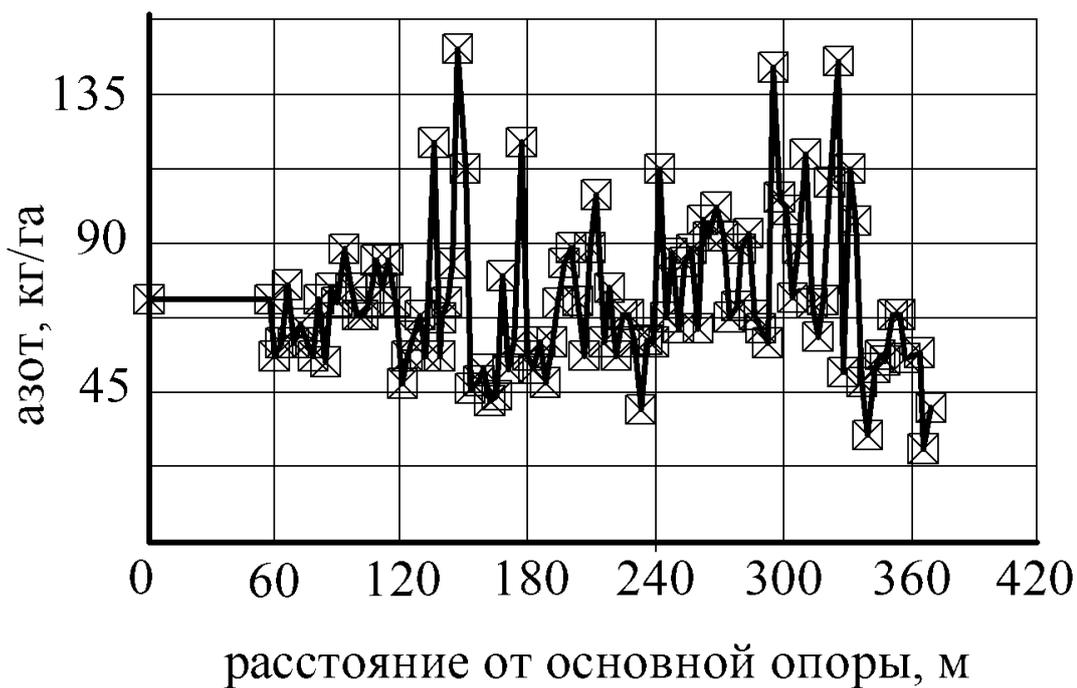


Рисунок 8.17 - Распределение азота в опыте 4 при условии внесения 12 кг/га в течение сезона.



Рисунок 8.18- График внесения 90 кг азота в течение сезона с помощью фертигации в тесте 4 (фактическое применение азота по сравнению со 100%-ной однородностью)

На рисунке 8.18 показано количество азота на основе данных дождемеров и если бы однородность была на уровне 100%.

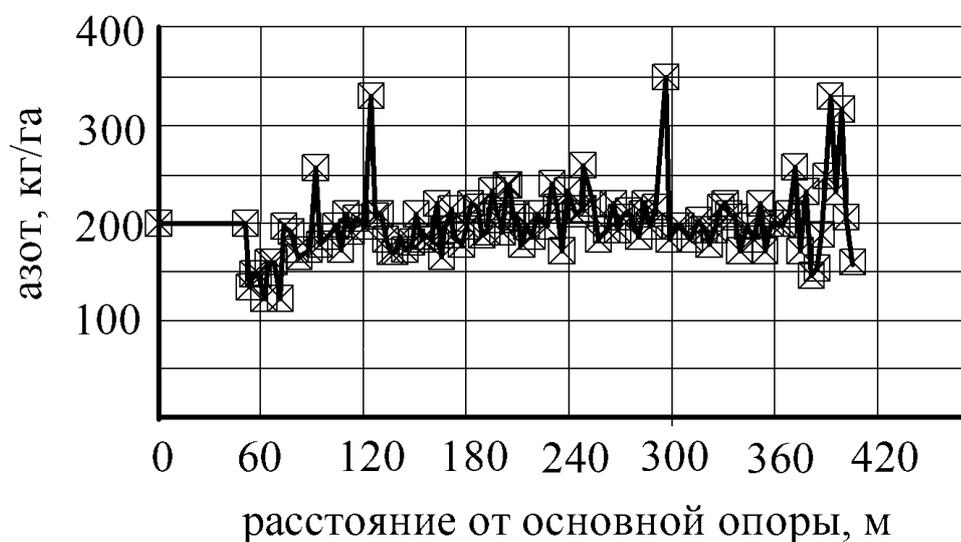


Рисунок 8.19 - Внесение азота с оценкой однородности (0,89) (Опыт 2, 90 кг азота)

Весь азот вносился с помощью фертигации (90 кг в течение сезона).

В опытах 2 и 4 каждая точка сравнивалась со средним количеством внесенного азота в кг на гектар, чтобы получить отклонение.

Опыт 2 – равномерность 0,89%, отклонение по азоту (10%).

Опыт 4 – равномерность 0,73%, отклонение по азоту (20%)

На рисунке показано, что на некоторых участках поля количество азота может достигать пиков, в то время как области, расположенные рядом с концевым аппаратом (которые также охватывают большую площадь), получают меньшее количество удобрений.

Более высокая норма внесения на этих участках может привести к просачиванию грунтовых вод и скоплению в стоках.

Таким образом, равномерность внесения может в несколько раз уменьшить затраты фермера, если использовать фертигацию в системе с низкой равномерностью.

#### **В качестве рекомендаций:**

Оценочный опыт всегда следует проводить на открытой местности, а дождемеры должны находиться вдали от крон растений.

В соответствии со с инструкциями по эксплуатации рекомендуется проводить фертигацию при слабом ветре, предпочтительно менее 3 м/с.

Для поддержания эффективной работы системы необходимо регулярное техническое обслуживание, для исключения подтеканий системы.

Следует учитывать расположение дождевальной машины в соответствии с рельефом местности.

Рекомендуется регулярно измерять расход в системе с помощью точного и современного расходомера.

Рекомендуется использовать дождеватели с вращающимися дефлекторами. Они обеспечивают максимальную дальность распыления, максимально приближены к скорости инфильтрации почвы и уменьшают поверхностный сток воды.

## 9 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ НА 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.

Настройки таймера и соотношения нормы полива и скорости представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Настройки таймера

Характеристики машины		Настройки таймера в секундах		Настройки таймера в %	
Норма полива, м <sup>3</sup> /га	Скорость, м/мин	ход, с	пауза, с	ход, %	пауза, %
50	1,38	49	11	81	19
<b>150</b>	<b>0,67</b>	<b>24</b>	<b>36</b>	<b>41</b>	<b>59</b>
<b>250</b>	<b>0,35</b>	<b>12</b>	<b>48</b>	<b>20</b>	<b>80</b>
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 м<sup>3</sup>/га.

В процессе проведения эксперимента учитывались и фиксировались метеоусловия (табл. 9.2), а также определялись гидравлические характеристики потока в трубопроводе машины.

Таблица 9.2– Метеоусловия

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 9.3 –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.

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.

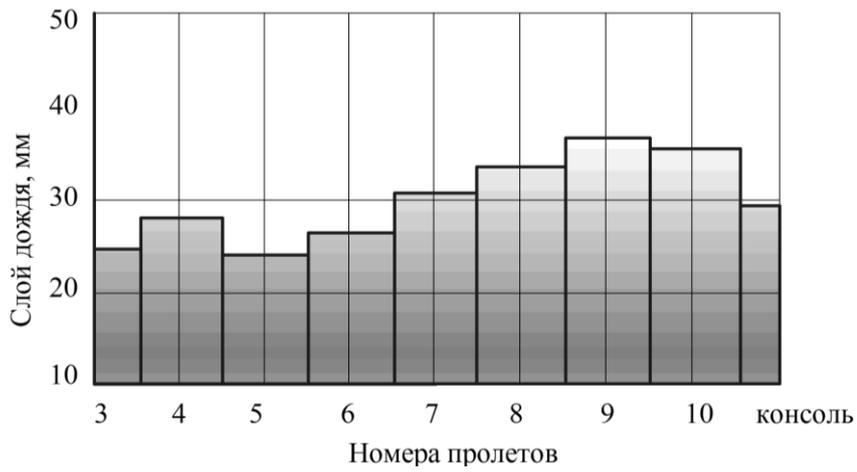
Минимальный слой осадков 25 мм получен в первом секторе полива с положительным уклоном.

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

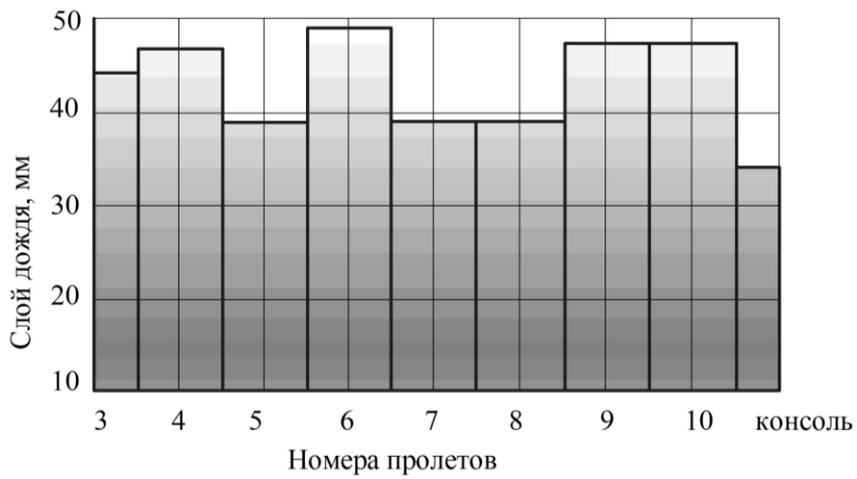
Для оценки качества полива определялись коэффициенты эффективного, недостаточного и избыточного полива в зависимости от уклонов местности и скорости движения машины. Полученные данные представлены в таблице 8.6.

Таблица 9.4 – Коэффициенты эффективного, недостаточного и избыточного полива в зависимости от уклонов местности и скорости движения машины

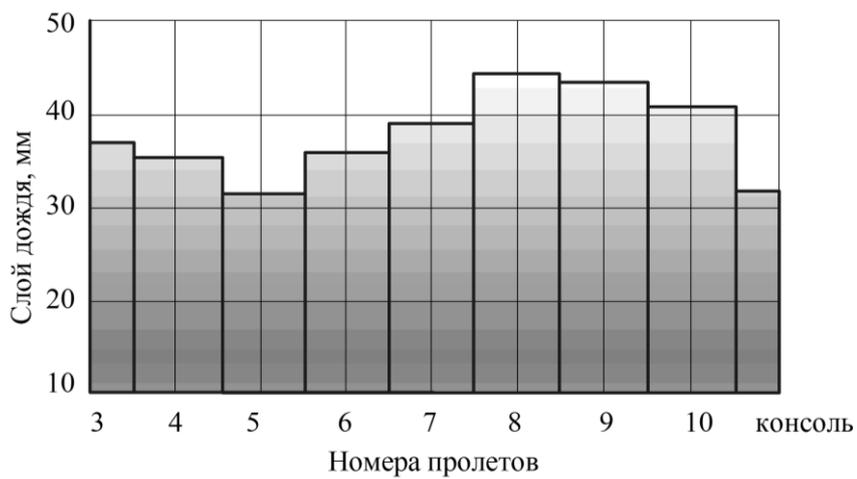
Сектор	Режим движения	Показатели			
		Среднее значение слоя дождя, мм	Коэффициенты		
			Эффективного полива	Недостаточного полива	Избыточного полива
1	41	17	0,70	0,19	0,11
	20	30	0,73	0,15	0,12
2	41	22	0,66	0,19	0,15
	20	42	0,74	0,17	0,09
3	41	21	0,75	0,19	0,08
	20	37	0,72	0,20	0,08



а)



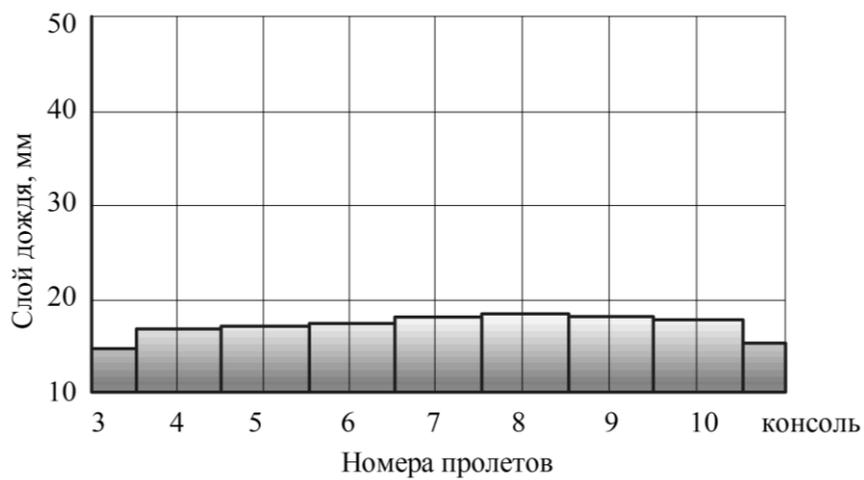
б)



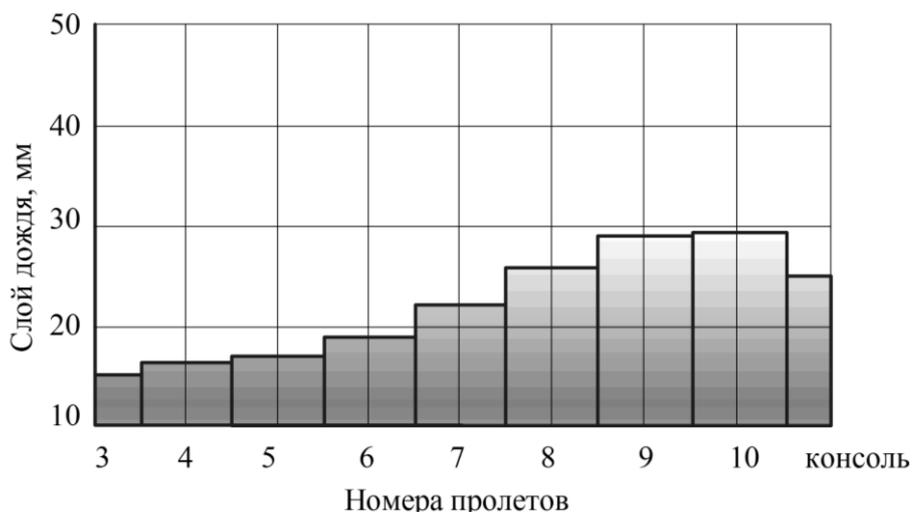
в)

Рисунок 9.1– Распределение слоя дождя при скорости 0,35 м/мин

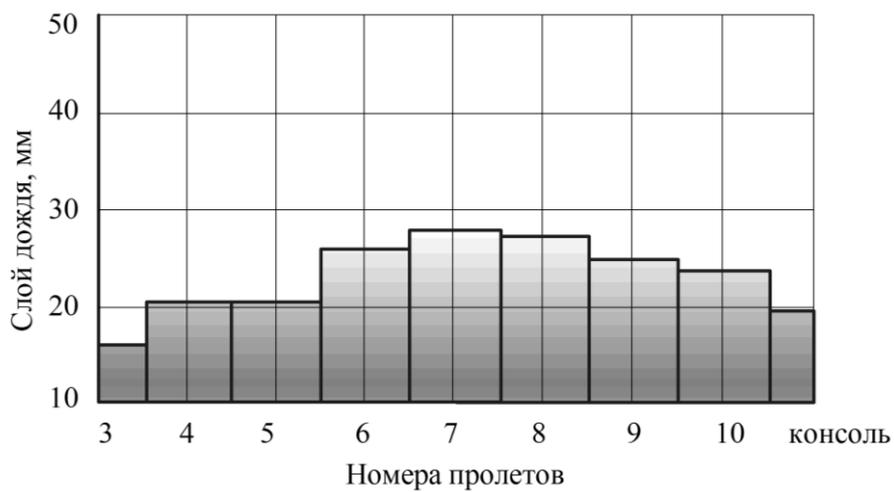
а) 1 сектор; б) 2 сектор; в) 3 сектор.



а)



б)



в)

Рисунок 9.2– 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  $K_{\Sigma}$  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.

В качестве рекомендаций можно отметить: при норме полива более 300 м<sup>3</sup>/га при поливе на участках с уклоном требуется установка регуляторов, либо использование технологических приемов выдачи поливных норм за несколько проходов.

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 9.5 – 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

## 10 ДОЖДЕВАТЕЛИ КРУГОВОГО И СЕКТОРНОГО ПОЛИВА. ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ ПРИМЕНИМОСТИ. ОЦЕНКА РАВНОМЕРНОСТИ ПОЛИВА

На российском рынке дождевальной техники присутствует достаточно много иностранных компаний. Компания Nelson Irrigation предлагает большой ассортимент дождевателей для кругового и секторного полива. Эта компания занимает почти половину рынка дождевателей для широкозахватной дождевальной техники. Для оценки эффективности использования при дифференцированном и в частности прецизионном поливе были проведены экспериментальные исследования нескольких наиболее популярных моделей. Это Nelson Irrigation PC-D3000, Nelson Irrigation LDN UP3, Nelson irrigation PC-S3000, Nelson Irrigation LDN UP3.



Рисунок 10.1 Nelson Irrigation  
PC-D3000



Рисунок 10.2 Nelson Irrigation  
LDN UP3

На рисунке 10.1 модель Nelson Irrigation PC-D3000 со статическим дефлектором и установленной пластиной секторного полива, на рисунке 10.2 - разбрызгиватель модели LDN UP3 от Senninger irrigation также секторного полива. Оба дождевателя со стационарными дефлекторами, обеспечивают радиус распыливания в 170°.

Модель PC-D3000 является наиболее часто популярной моделью со статическим дефлектором и секторным поливом.



Рисунок 10.3 -Nelson irrigation  
PC-S3000



Рисунок 10.4 -Nelson irrigation  
PC-R3000

На рисунке 10.3 показана модель PC-S3000, а на рисунке 10.4 – модель с вращающимся дефлектором Nelson irrigation PC-R3000. Разница между этими двумя моделями заключается только в конструкции дефлектора. Дождеватели с вращающимися дефлекторами предназначены, как правило, для систем, работающих в районах с сильным ветром. Модель PC-S3000 предназначена по заявлениям производителей для создания мягкого дождевого потока.

Для тестирования были выбраны разбрызгиватели моделей PC-D3000 и PC-S3000, в обоих этих устройствах используется система номенклатурного ряда сопел Nelson Irrigation 3TN, которая используется для изменения расхода разбрызгивателя.

PC-D3000.

Рабочее давление: 0,07 – 0,138 МПа.

Угол распыливания: 170 градусов.

PC-S3000.

Рабочее давление: 0,07 – 0,138 МПа.

Угол распыливания: 190 градусов.

Для каждого из дождевателей предусмотрен рекомендуемый диапазон значений расходно-напорных характеристик, в пределах которого следует эксплуатировать.

Дождеватели протестированы по всему рекомендуемому диапазону. Для каждого дождевателя использовано 5 сопел из номенклатурного ряда, которые предназначены для регулирования расхода воды.

Одновременно с испытаниями различными размерами сопел также изменялось рабочее давление, при этом каждое сопло испытывалось при давлениях 0,09 МПа и 0,10 МПа.

Цель проведения испытаний при различных установках давления заключается в том, чтобы определить, насколько изменяются характеристики дождевателя, главным образом равномерность.

Для каждого дождевателя было выбрано пять сопел различного размера. Три сопла с низким и средним расходом испытаны при давлении 0,07 МПа и 0,1 МПа.

Два сопла с высоким расходом испытаны только при давлении 0,07 МПа.

Для каждого дождевателя было проведено в общей сложности восемь испытаний, которые приведены в таблице 10.1.

Размеры сопел дождевателей были выбраны исходя из технических требований производителя, т.е. рекомендовались самое большое и самое маленькое сопло, а также три сопла, выбранные с равными интервалами между двумя крайними значениями.

Таблица 10.1 – Характеристики РС - S3000

№	Номер дождевателя	Диаметр отверстия сопла, мм	Рабочее давление, кПа
1	14	2,7	0,07
2	14	2,7	0,10
3	20	3,9	0,07
4	20	3,9	0,10
5	28	5,5	0,07
6	28	5,5	0,10
7	34	6,7	0,07
8	40	7,9	0,07

Таблица 10.2- Характеристики РС - D3000

№	Номер дождевателя	Диаметр отверстия сопла (мм)	Рабочее давление, кПа
1	09	1,7	0,07
2	09	1,7	0,10
3	20	3,9	0,07
4	20	3,9	0,10
5	30	5,9	0,07
6	30	5,9	0,10
7	40	7,9	0,07
8	50	7,9	0,07



Рисунок 10.5- Сопла, используемые для испытаний (вращающейся дефлектор)



Рисунок 10.6- Сопла, использованные при испытании (статический дефлектор)

## РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ

Таблица 10.3 - Результаты работы дождевателя РС – S3000.

№	Номер	Диаметр отверстия, мм	Рабочее давление, МПа
1	14	2,7	0,07
2	14	2,7	0,10
3	20	3,9	0,07
4	20	3,9	0,10
5	28	5,5	0,06
6	28	5,5	0,10
7	34	6,7	0,07
8	40	7,9	0,07

В первом опыте используется самое маленькое сопло, рекомендованное для дождевателя кругового полива модели РС-S3000, работающего при минимальном рекомендованном давлении 0,07 МПа.

Исследования моделей с минимальным давлением и расходом, обеспечивающие достаточную равномерность необходимы для подбора дождевателей прецизионного орошения, устанавливаемые через минимальные расстояния.

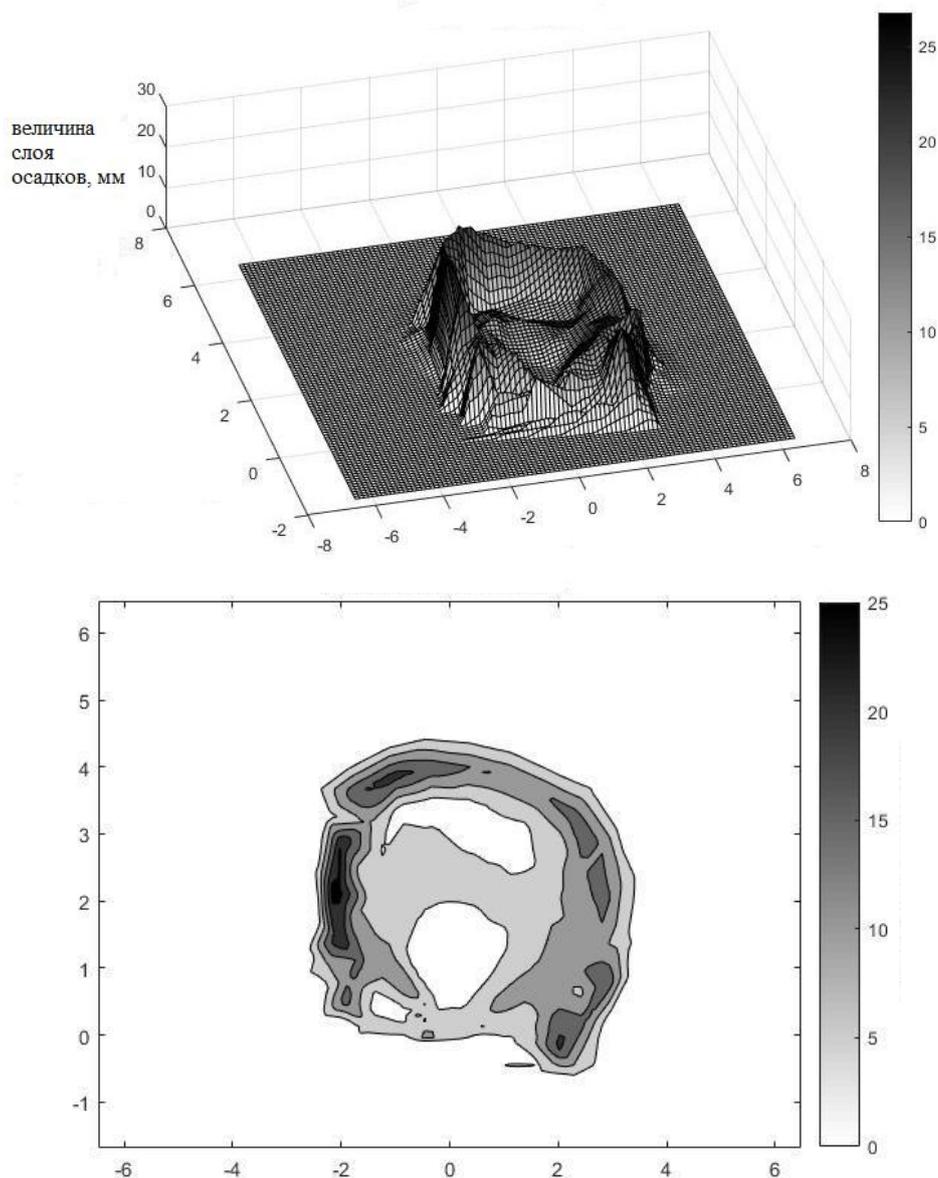


Рисунок 10.7 - Поверхность с наложенным слоем осадков РС-S3000 (№14), давление 0,07 МПа.

В ходе проведенных экспериментов было установлено, что, в отличие от технических характеристик, указанных производителем, область полива (радиус захвата) РС-S3000 шире, чем заявленные. Этот дождеватель также создает полосу со значительным слоем осадков по радиусу, что видно на рисунке 10.7, обозначенном более темными участками.

Как на рисунке 10.8, так и на рисунке 10.9 заметно, что дождеватели не распределяет воду по идеально по окружности.

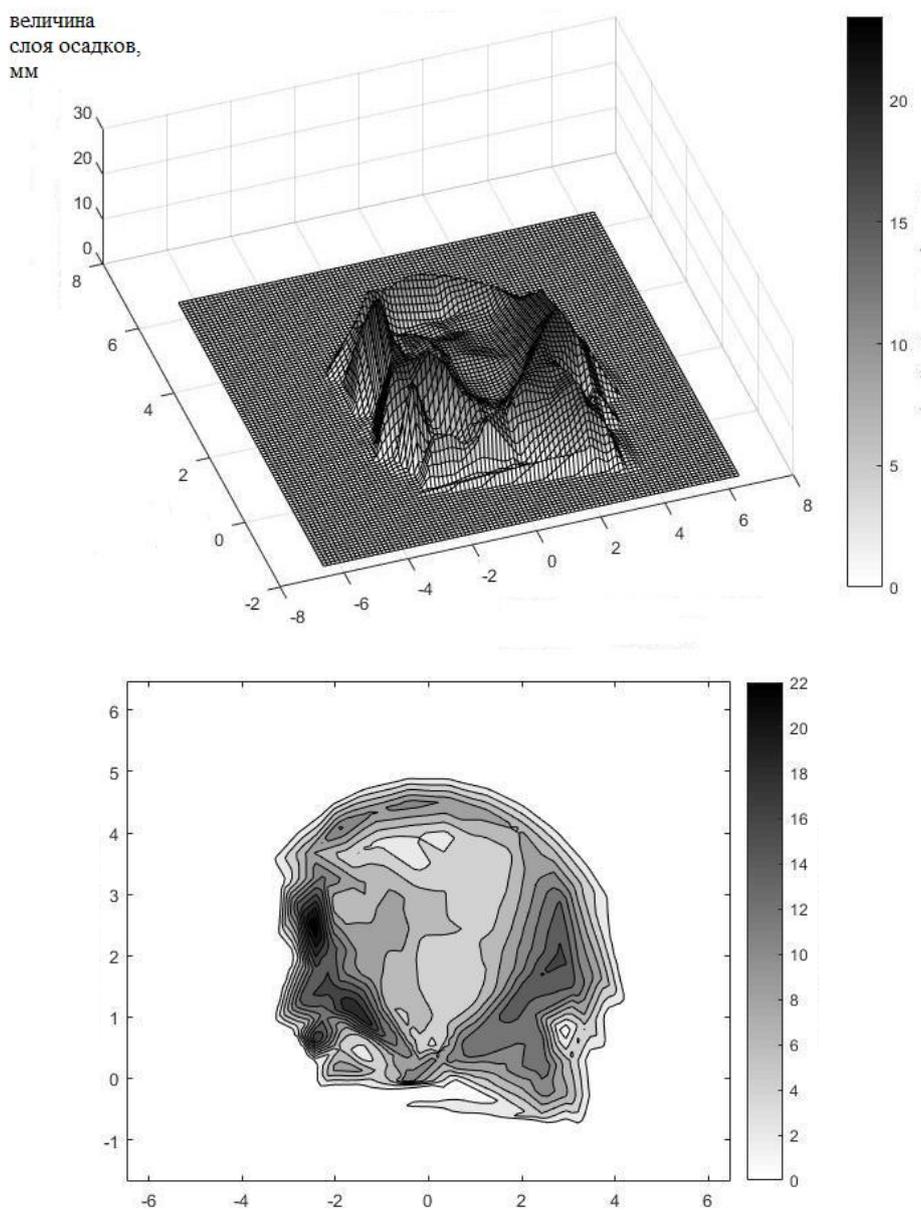


Рисунок 10.8- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-S3000 (№14) давление 0,1 МПа.

Согласно исследованиям, сбоку от дождевателя радиус распыливания уменьшался до 4-4,5 метров с правой стороны и 2,5 – 3 метров с левой стороны, что свидетельствует о несоответствии радиуса распыливания по всему периметру орошаемого участка.

Во втором опыте снова использовалось самое маленькое рекомендованное сопло, хотя испытание проводилось при более высоком давлении – 0,1 МПа.

Отличительной чертой дождевателей секторного полива было то, что угол полива составлял 210°, а не заявленные в технических характеристиках 170-190°.

На всех рисунках видно значительную разницу в количестве осадков, что сказывается на равномерности полива и урожайности.

Увеличение давления также привело к увеличению радиуса распыливания непосредственно перед дождевателем до 5 метров и улучшения качества полива с позиции равномерности. Существует несоответствие между радиусами распыливания на левой и правой сторонах.

Опыт третий - испытание с использованием сопла № 20 при давлении 0,68 МПа.

Увеличенный размер сопла увеличивает расход воды, а, следовательно объем осадков при сохранении низкого давления в 0,07 МПа.

Здесь видны те же характеристики, а также более широкий радиус распыливания. Радиус распыливания перед дождевателем составляет около 5 метров.

Проблемы с непостоянными радиусами с правой и левой стороны не являются проблемой при установки дождевателей с перекрытием позиций, тем не менее это может стать проблемой при использовании удобрений с поливной водой.

Четвертый опыт. Дождеватель с соплом № 20 модели РС-S3000 с вращающимся дождевателем при давлении 0,1 МПа.

Увеличение давления приводит к увеличению радиуса распыливания и, следовательно, площади орошения.

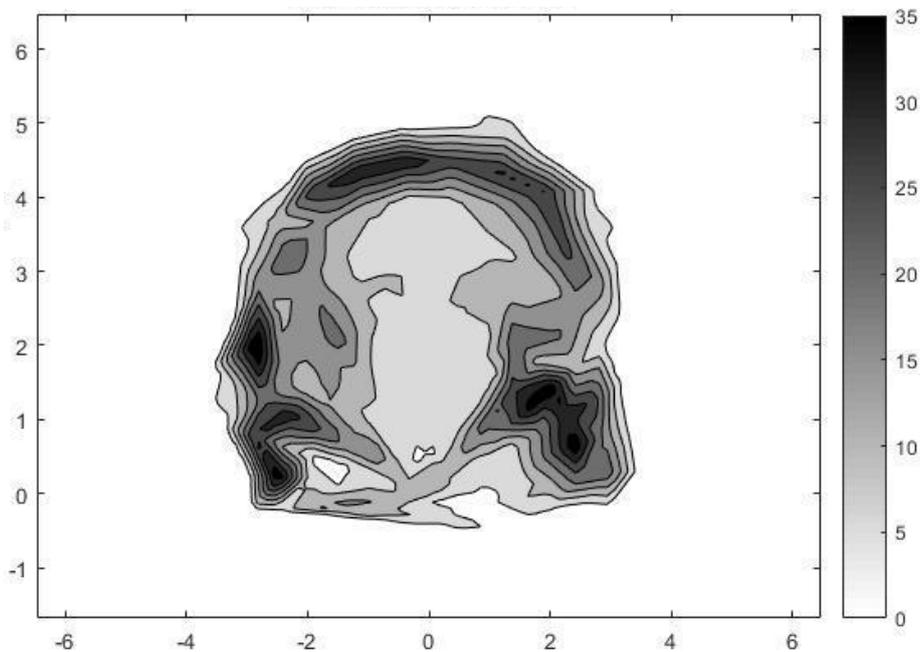
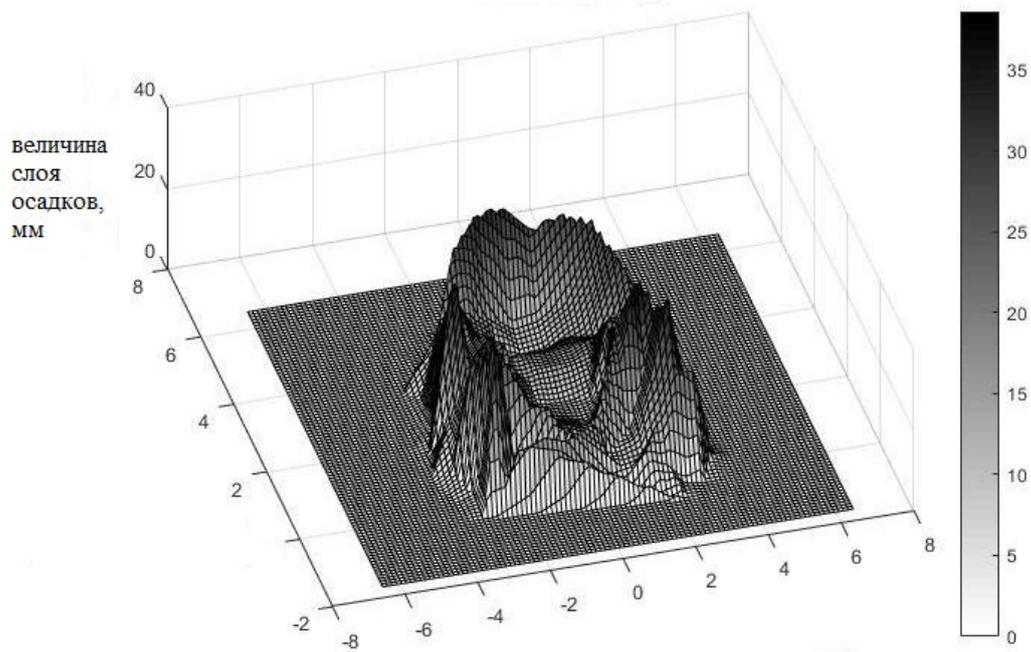


Рисунок 10.9- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-S3000 (№20) давление 0,7 МПа.

Радиус распыливания составляет 6,5 метров непосредственно перед дождевателем и 4-5 метров по бокам. И снова наблюдается несоответствие между радиусами захвата. А также пики количества осадков.

Пятый опыт проводился с использованием сопла № 28 при давлении 0,07 МПа.

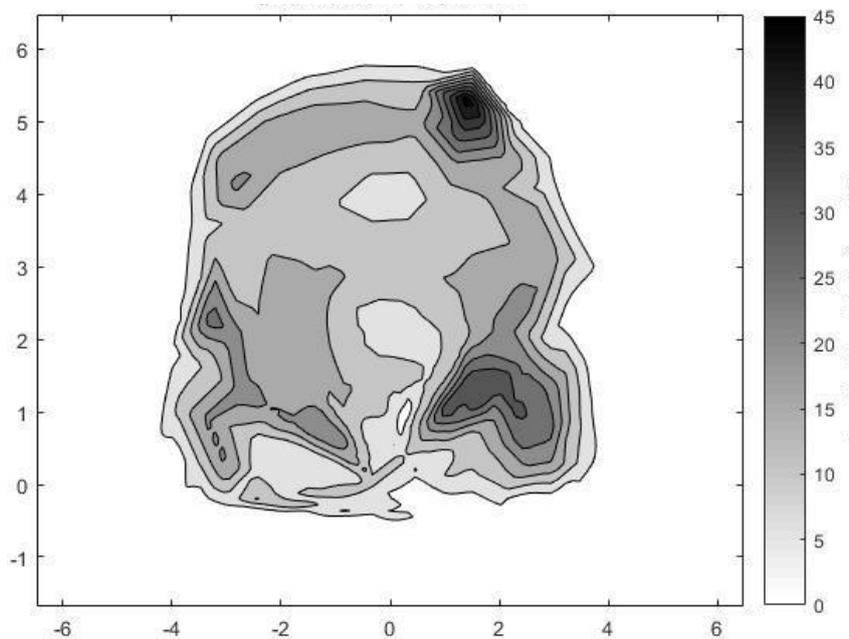
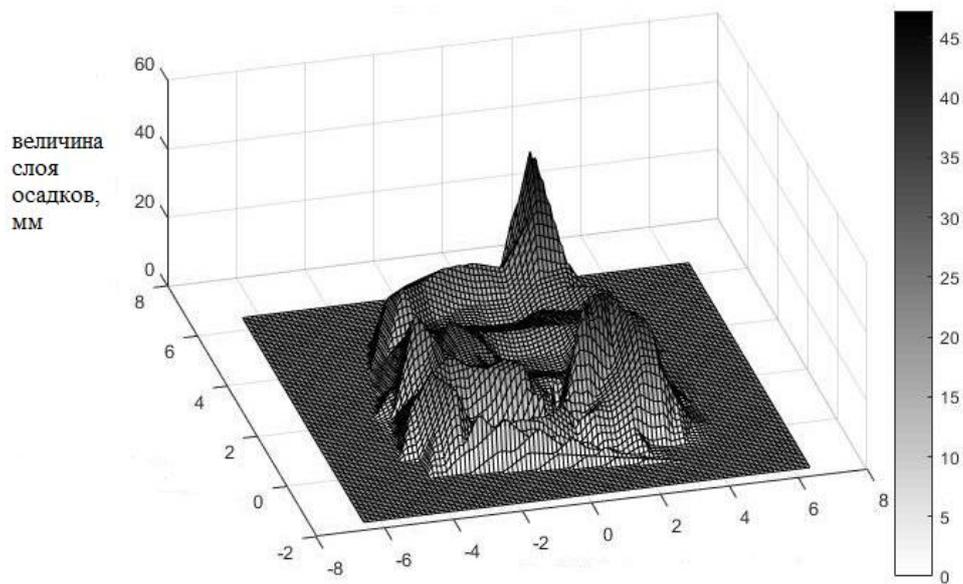


Рисунок 10.10- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-S3000 (№20) давление 0,10 МПа.

Рисунок 10.11 еще раз показывает, что радиус распыливания перед дождевателем увеличен, в данном случае до 5-5,5 метров. На правой стороне отмечены значения до 3,5 – 4 метров, а на левой стороне, напротив, имеется участок с очень низким радиусом.

Опыт при давлении 0,1 МПа, дождеватель РС-S3000 с соплом №28.

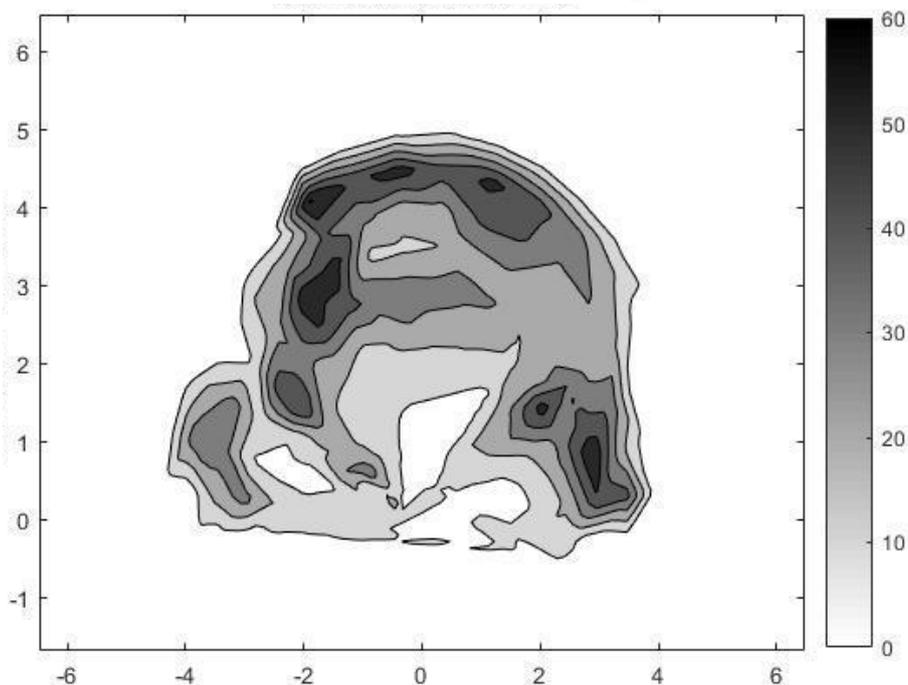
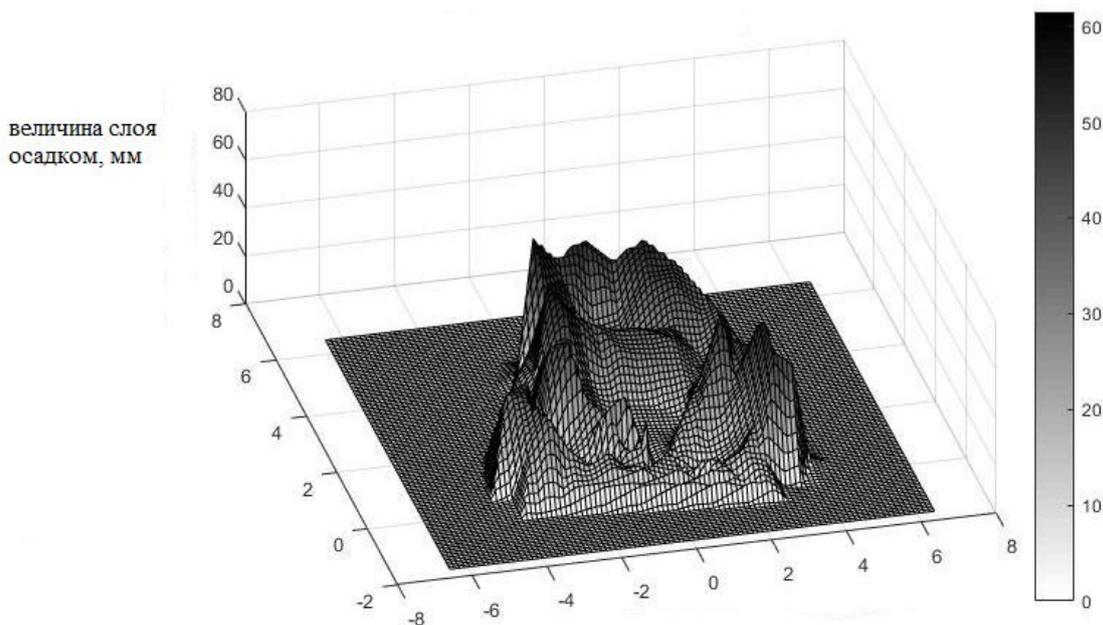


Рисунок 10.11- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-S3000 (№28) давление 0,07 МПа.

Этот опыт подтверждает то, что большие объемы воды, подаваемой через дождеватель, оказывают значительное влияние на равномерность распыливания.

Опыт седьмой с использованием сопла № 34 проводилось при давлении 0,07 МПа.

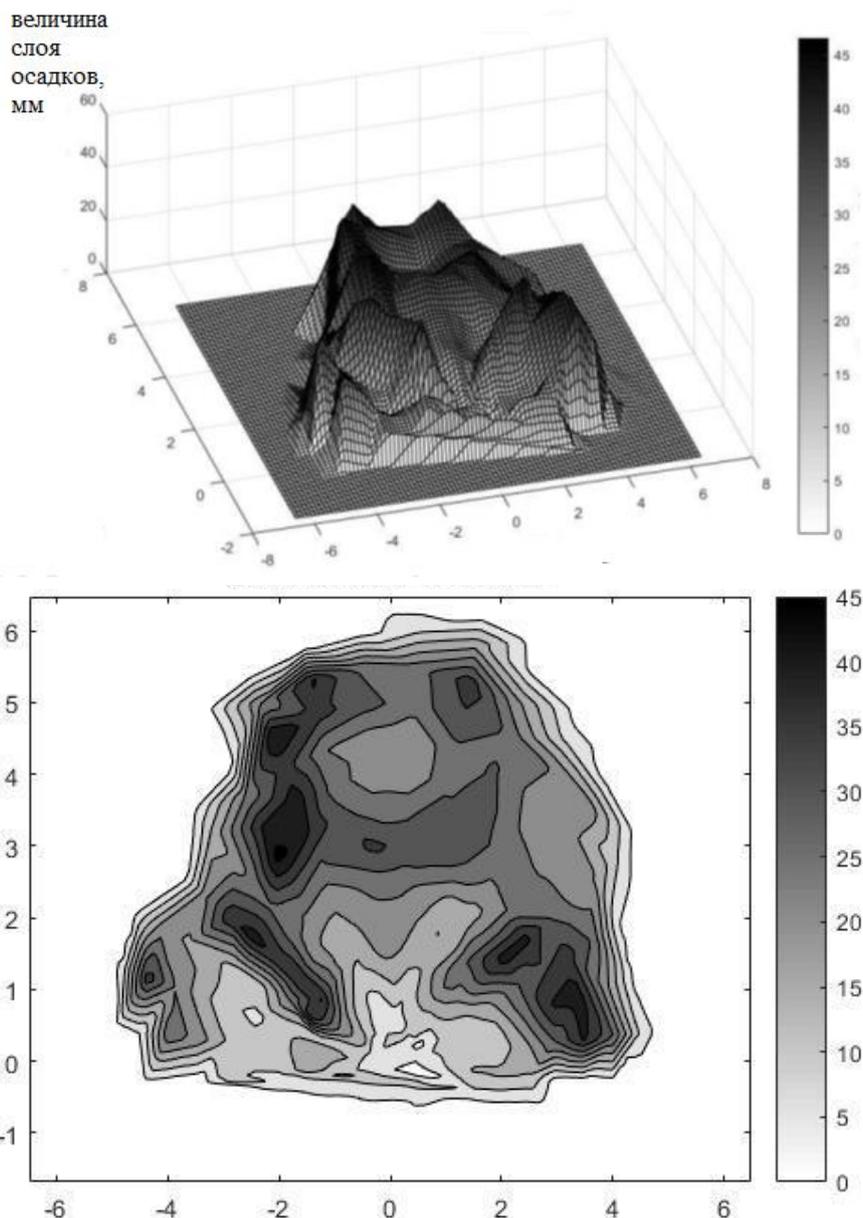


Рисунок 10.12- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-S3000 (№28)  
давление 0,1 МПа.

Наибольший зарегистрированный радиус непосредственно перед дождевателем, составил 5,5 метров, а средний радиус по бокам - 4,5 метра.

В восьмом опыте использовалось сопло № 40, (самый большой размер), рекомендованный производителем, при давлении 0,07 МПа.

На рис. 10.14 показано, что использование дождевателя с наибольшим размером сопла обеспечивает значительно большую норму расхода по всей площади орошения, хотя этого все равно недостаточно для устранения эффекта "подковы".

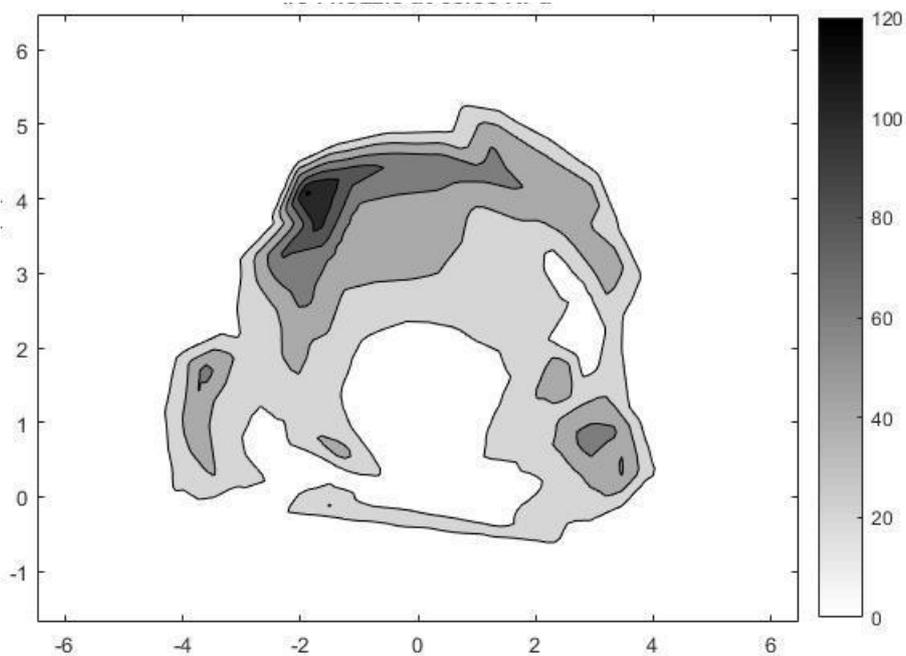
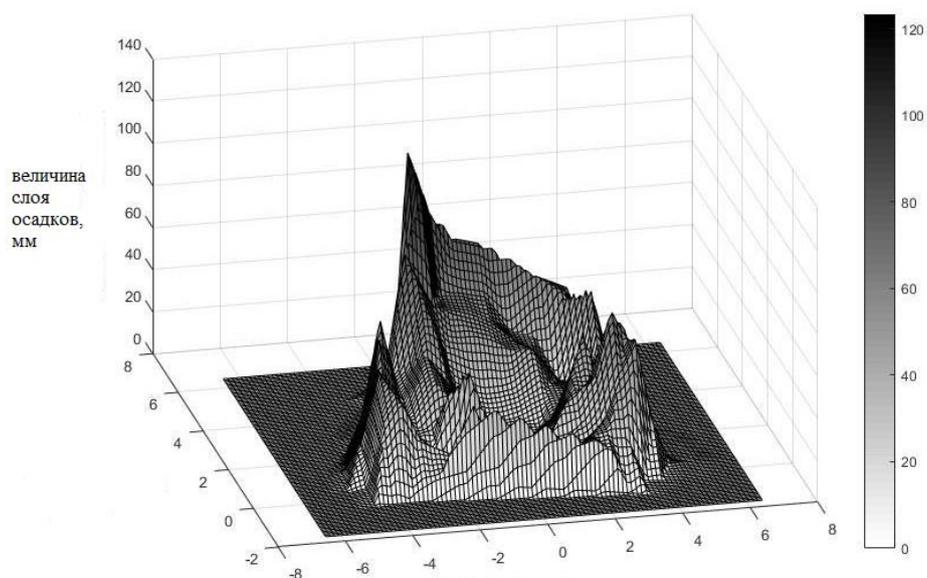


Рисунок 10.13 - Поверхность с наложенным слоем осадков РС-S3000 (№34) давление 0,07 МПа.

В ходе всех восьми испытаний, проведенных с использованием дождевателя РС-S3000 с круговым поливом, было выявлено ряд недостатков.

Во-первых, все тесты показали, что дождеватели создают орошаемое поле в форме "подковы".

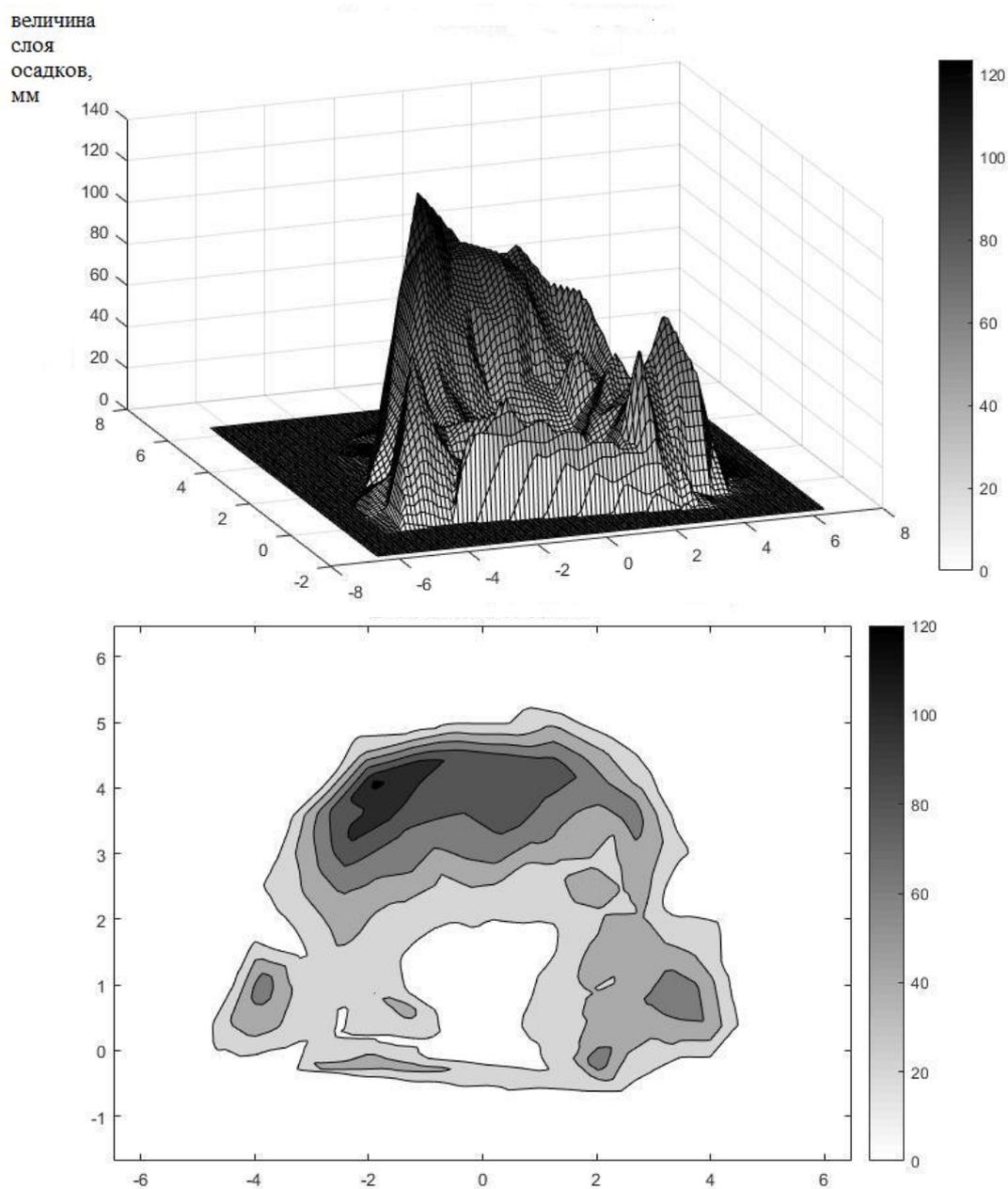


Рисунок 10.14- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-S3000 (№ 40)давление 0,07 МПа.

При проектировании схем размещения дождевателей для точного полива важно, чтобы они были расположены на правильном расстоянии друг от друга и орошали точно определенное поле.

Результаты работы оросителя РС - D3000 с секторным поливом. Дождеватель модели РС – D3000 также прошел 8 испытаний.

Опыт первый.

Как видно из таблицы 10.4, экспериментальные исследования дождевателя со статическим дефлектором РС-D3000 с соплом 09 проводились при давлении 0,07 МПа.

Таблица 10.4- РС - D3000

№	Номер	Диаметр отверстия сопла, мм	Рабочее давление, МПа
1	09	1,79	0,07
2	09	1,79	0,10
3	20	3,97	0,07
4	20	3,97	0,10
5	30	5,95	0,07
6	30	5,95	0,10
7	40	7,94	0,07
8	50	7,94	0,07

Из-за статичности дефлектора дождевателя радиус распыления зависит от расхода и давления потока. Поскольку в данном опыте используется самое маленькое сопло, указанное производителем, с наименьшим давлением, радиус распыления не большой - в пределах 2,5 метров. Конструкция этого устройства позволяла использовать его в радиусе действия всего 1,5 – 2,5 метра.

Во втором опыте также использовалось сопло №09 на дождевателе, работающем при давлении 0,10 МПа.

На рисунке 10.16 показана карта распыливания, имеющая эллиптическую форму, при этом радиус распыливания в центре 3,5 метра, в то время как с левой стороны количество 1-1,5 метра, а с правой стороны – 2-2,5 метра.

Поток разделяется на струйки и направляется по углу захвата 170°, что соответствует технической характеристике.

Третий опыт был проведен при давлении 0,7 МПа с насадкой № 20, рис. 10.17.

Результаты опыта демонстрируют проблему покрытия. В полевых условиях существует большая разница в количестве осадков, что влияет на темпы роста урожая.

В четвертом опыте также использовалось сопло №20 с рабочим давлением 0,1 МПа.

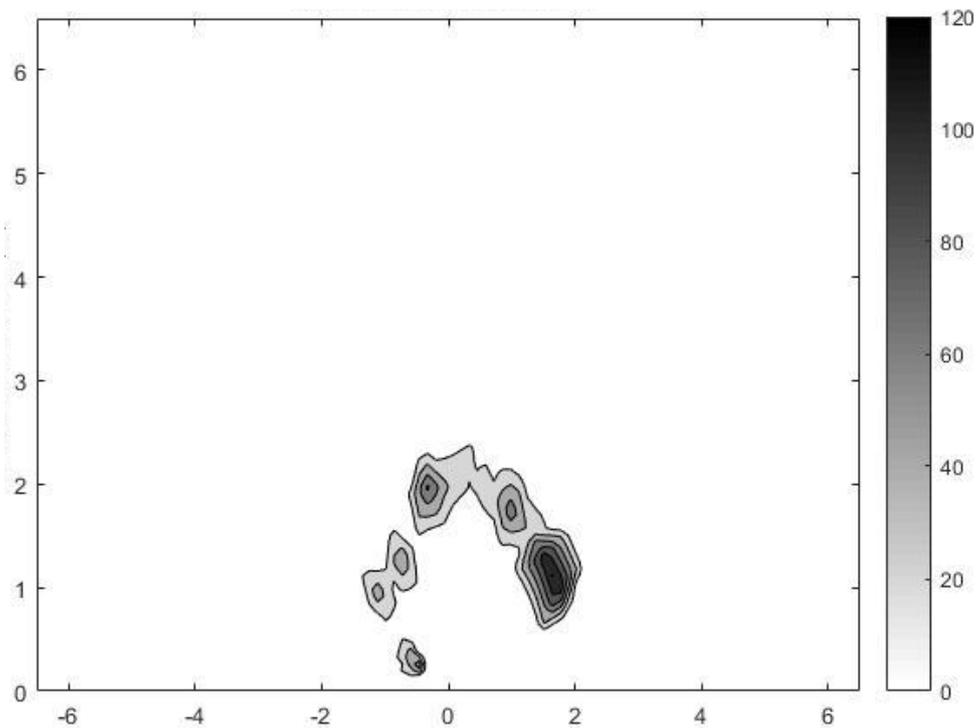
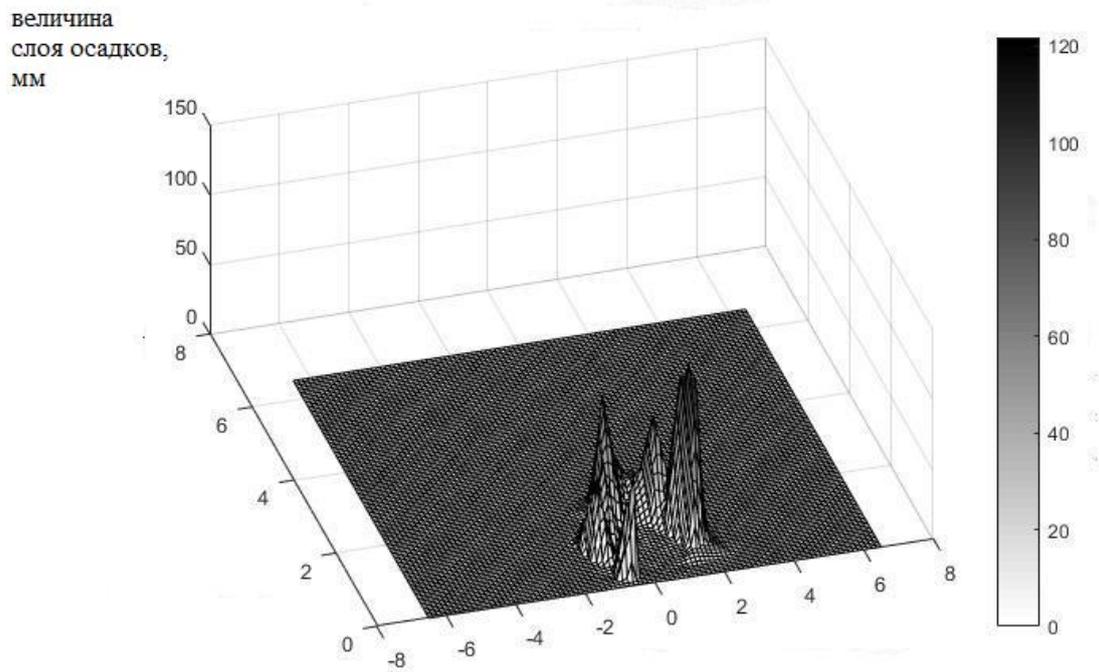


Рисунок 10.15- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-D3000 (№09) давление 0,07 МПа.

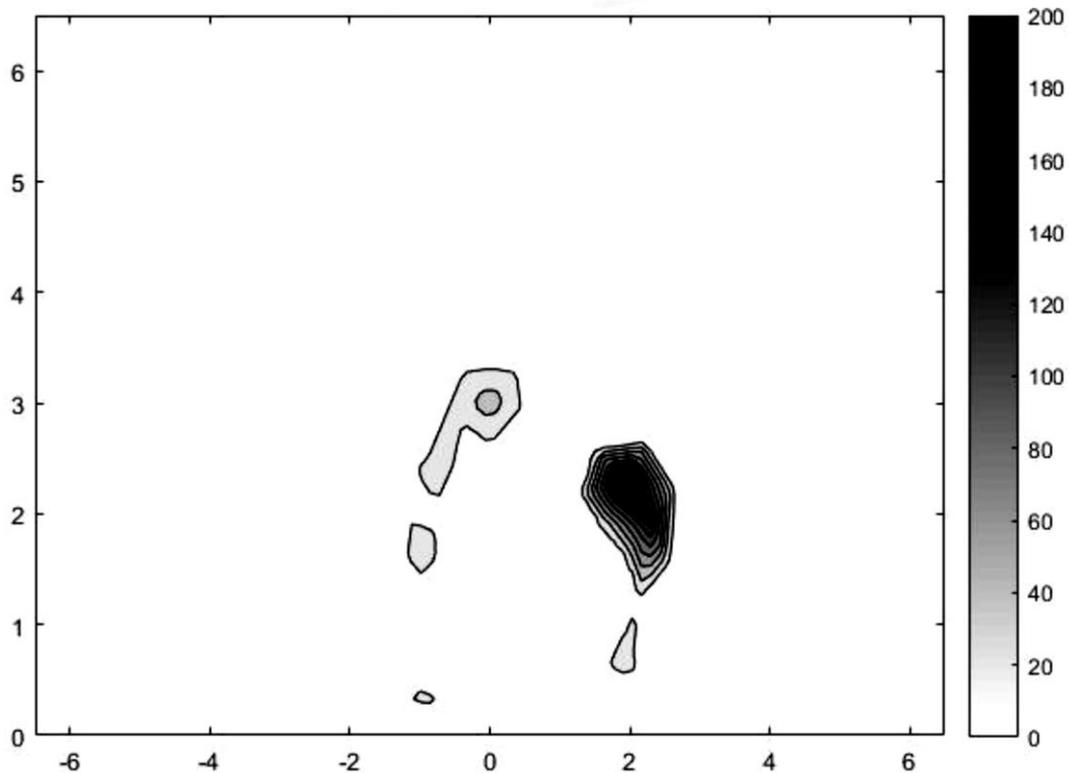
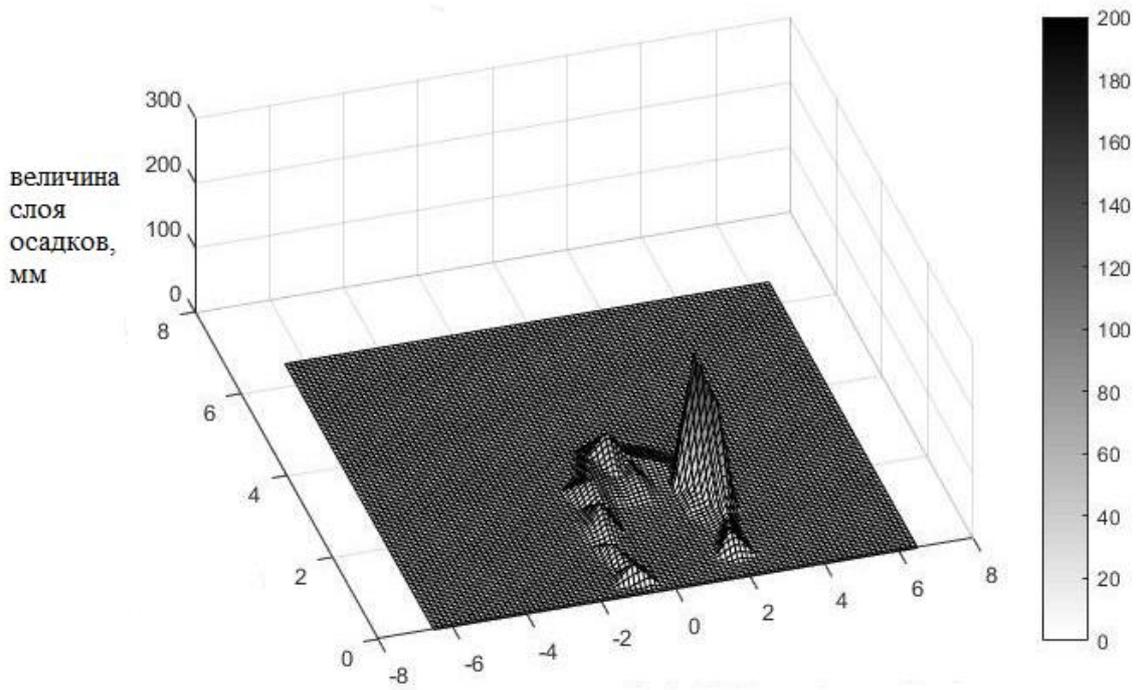


Рисунок 10.16- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-D3000 (№09) давление 0,10 МПа.

На рисунке 10.19 наглядно показано, как работает это устройство, видны четкие линии осадков с максимумами на расстоянии от 4 до 5,5 метров перед дождевателем и ближе к краям.

Эффект покрытия увеличивается с увеличением давления.

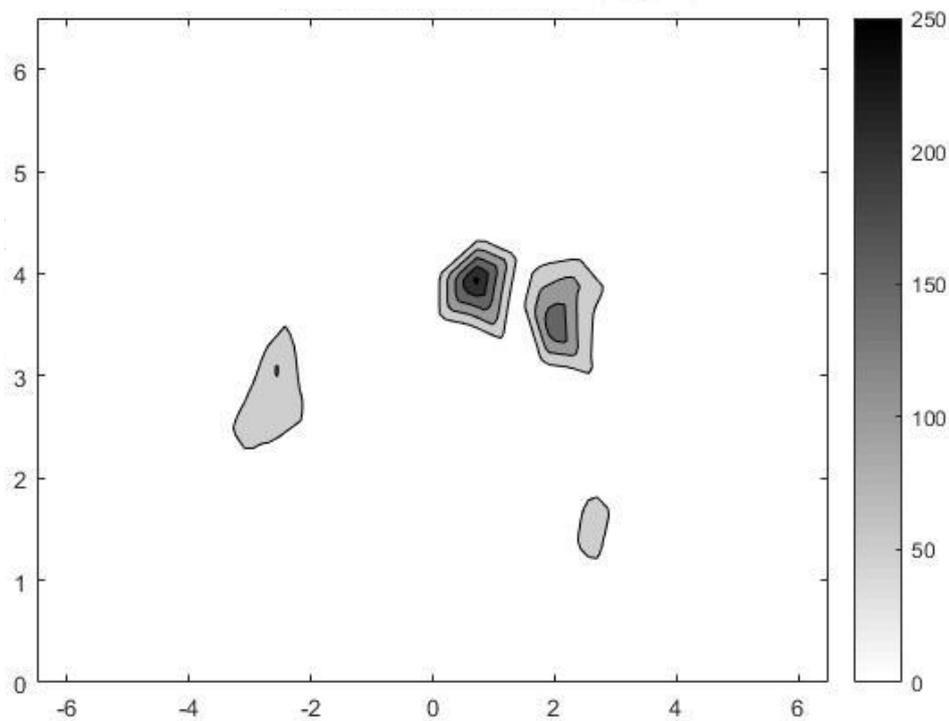
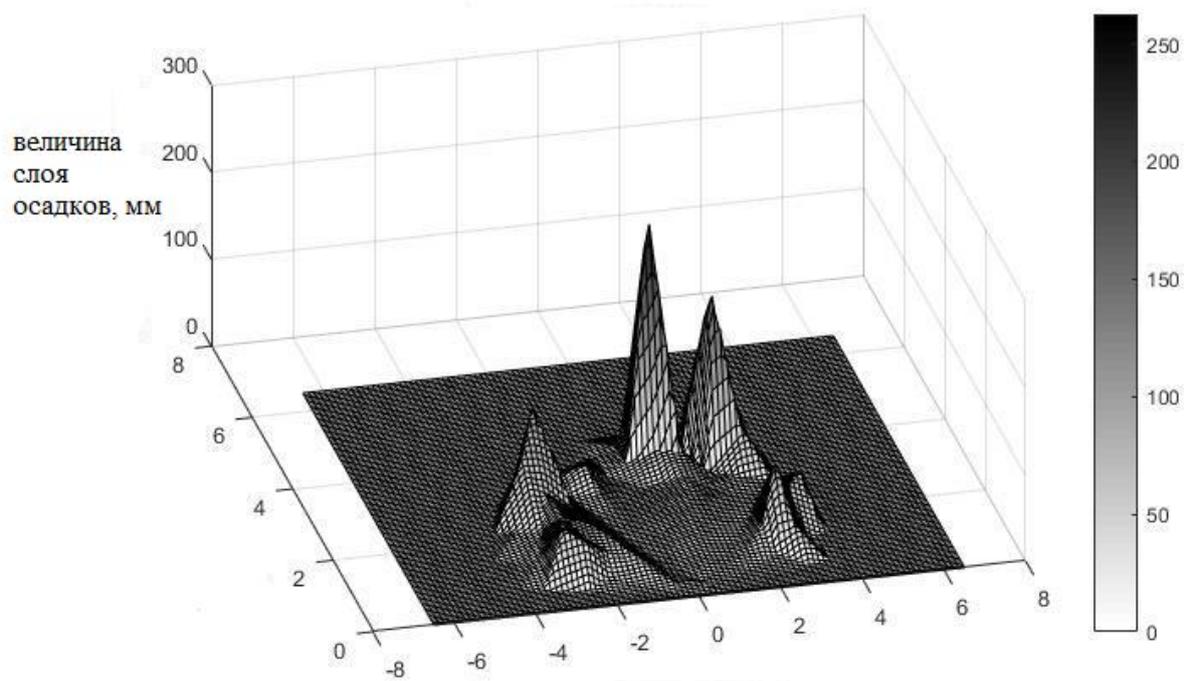


Рисунок 10.17- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-D3000 (№20) давление 0,7 МПа.

Шестой опыт проводился с использованием дождевателя, оборудованного насадкой № 30, работающего под давлением 0,07 МПа.

В седьмом опыте использовалось то же сопло №30, но с более высоким давлением – 0,10 МПа.

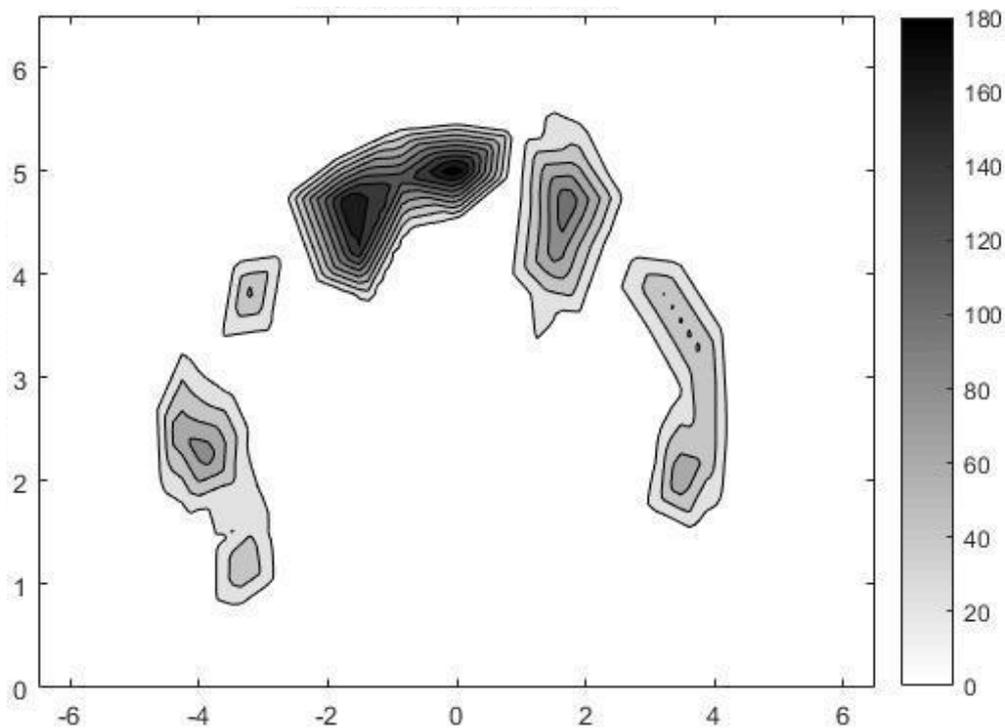
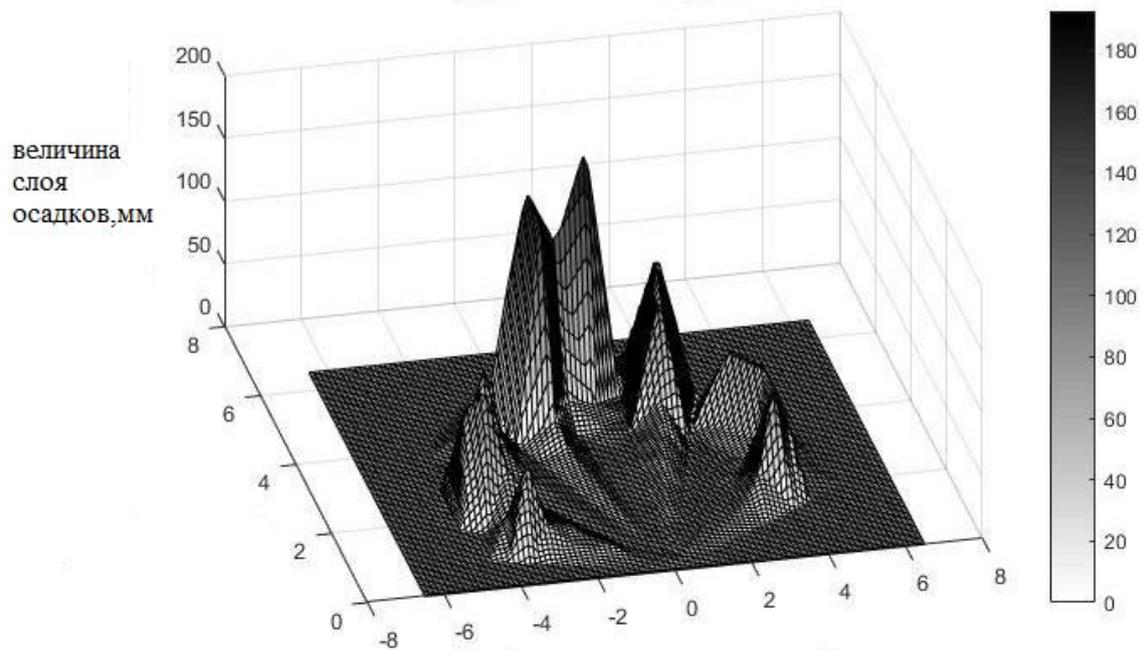


Рисунок 10.18- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-D3000 (№20) давление 0,1 МПа

Как и в случае с предыдущего опыта, можно наблюдать значительную неравномерность осадков, увеличение радиуса до 6 метров непосредственно перед дождевателем, пики в некоторых областях зоны увлажнения.

Следующий опыт проводился при заданном давлении 0,07 МПа с использованием сопла №40.

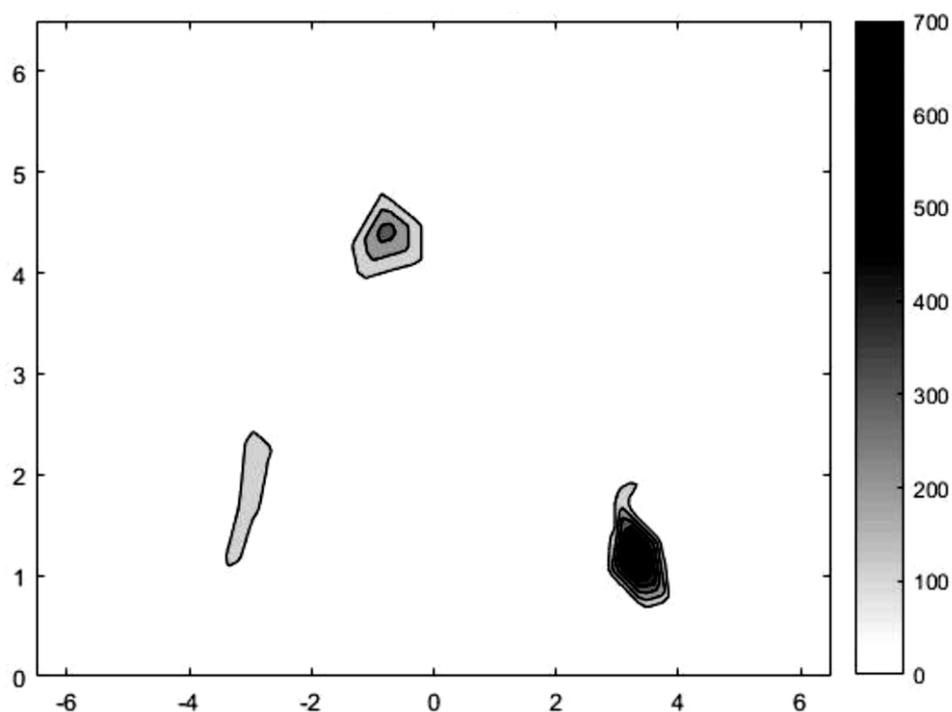
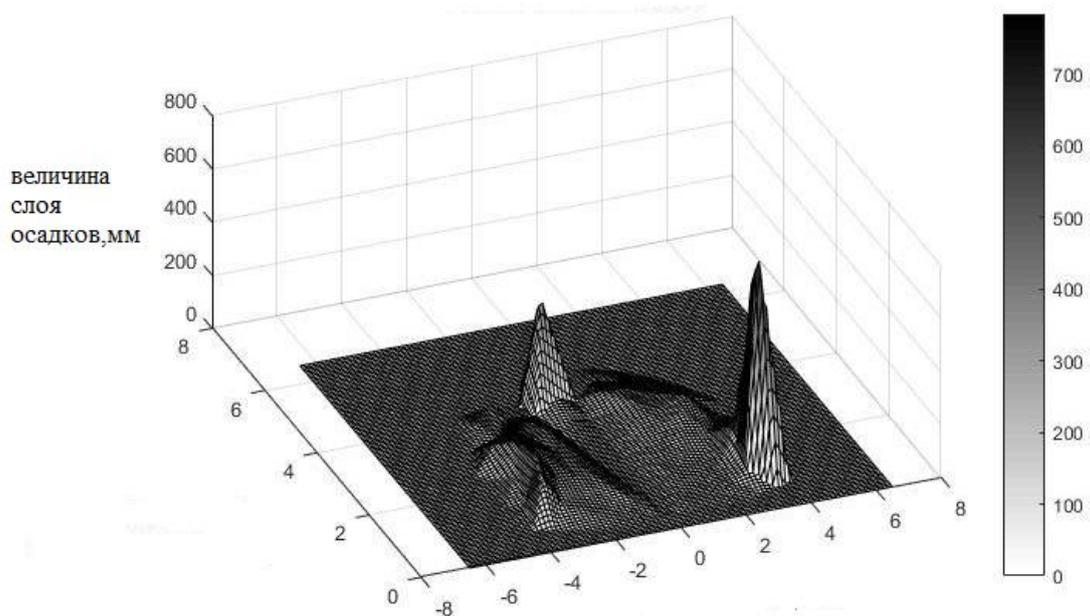


Рисунок 10.19- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-D3000 (№30) давление 0,7 МПа

В исследованиях также были обнаружены участки со значительным превышением количества осадков. При использовании сопел большого расхода слой осадков покрывает всю поверхность распыла.

Следующий опыт проведен с дождевателем РС-D3000 с использованием самой большерасходной из сопел № 50 при давлении 0,7 МПа.

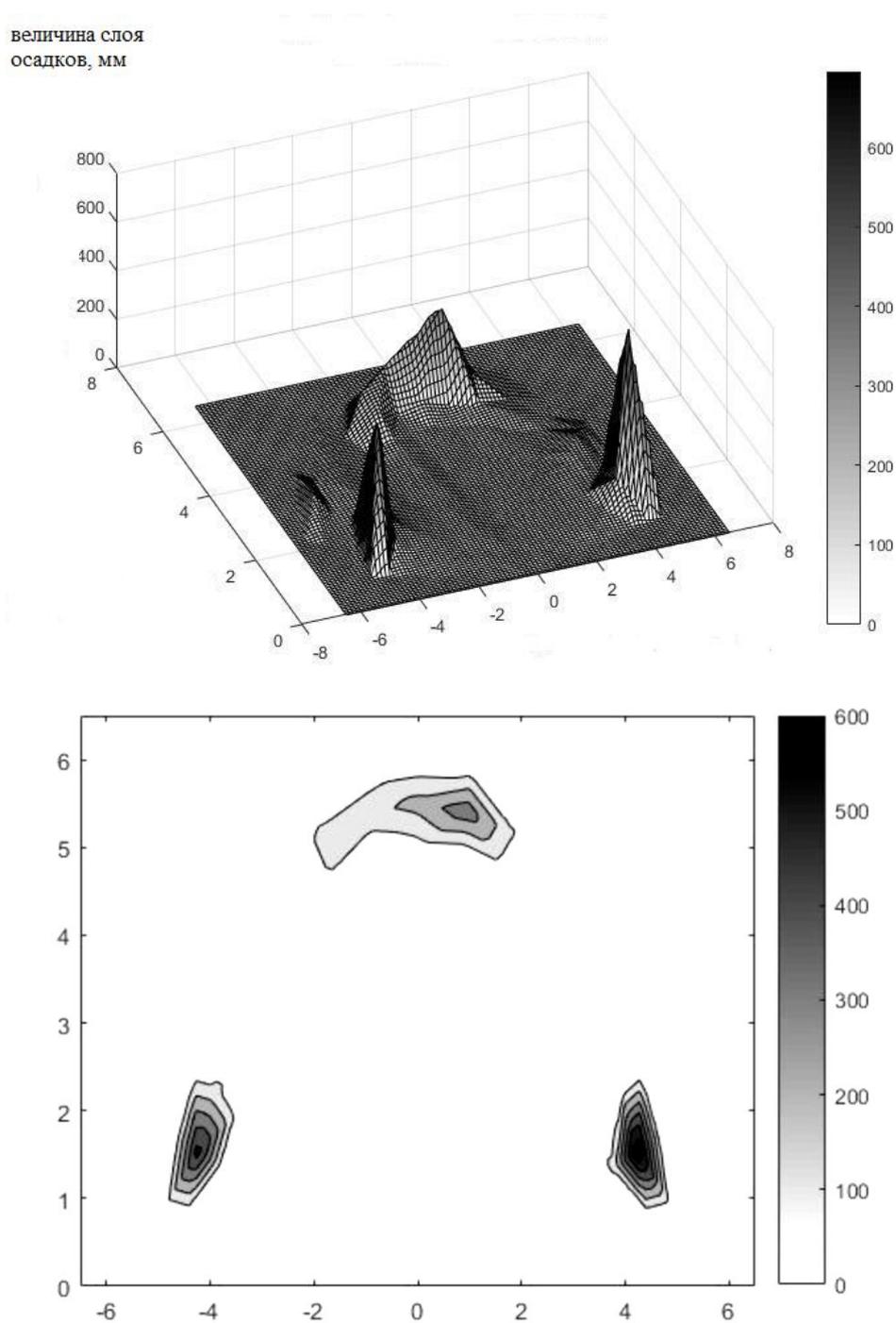


Рисунок 10.20- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-D3000 (№30) давление 0,1 МПа.

Во всех экспериментах замечен эффект пленочного покрытия, который образуется при прохождении через дождеватель средних и больших объемов воды.

Экспериментальные исследования РС – D3000. При эксплуатации этого дождевателя при больших объемах и давлении следует ожидать образования пленки осадков с пиками превышения.

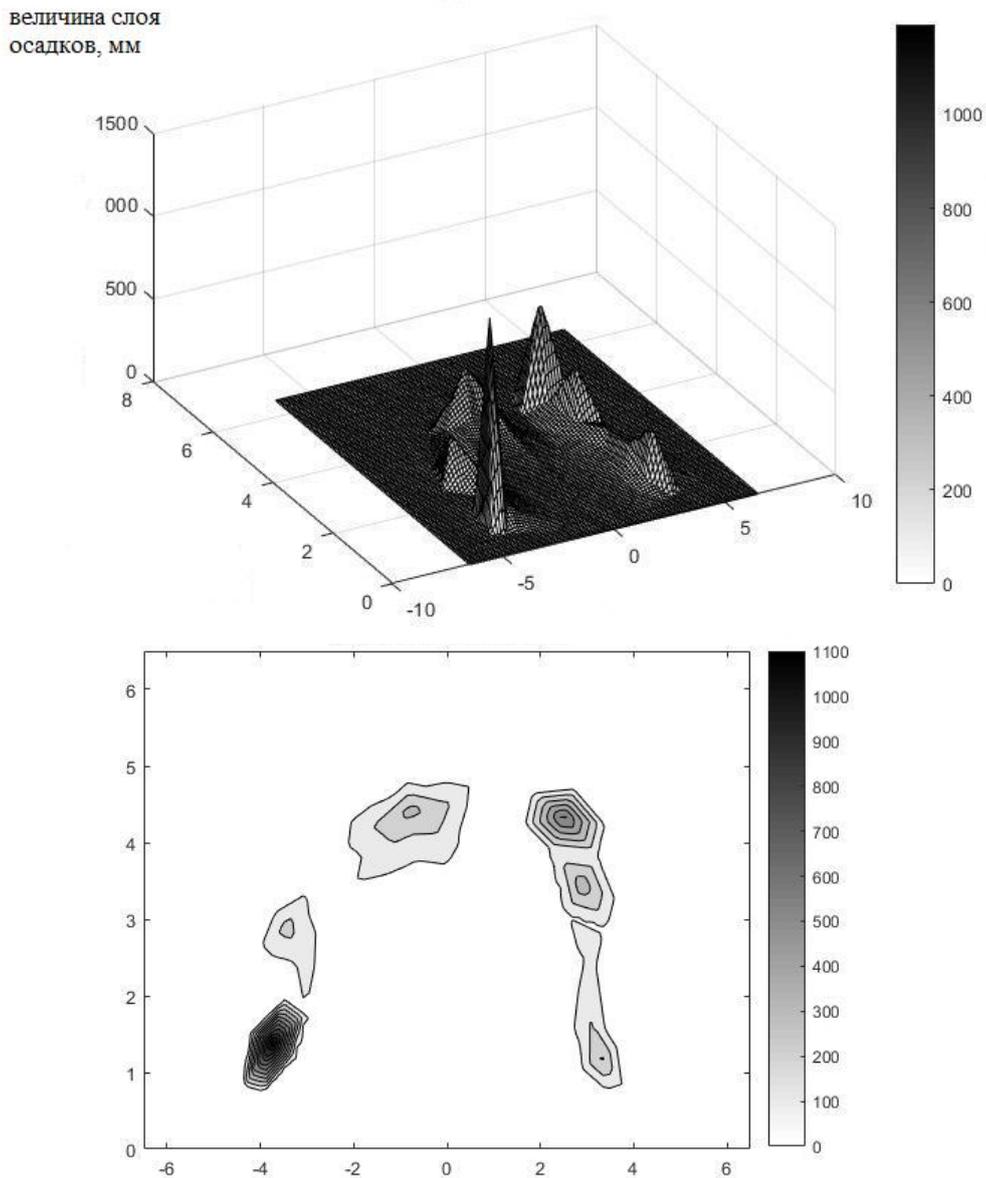


Рисунок 10.21- Поверхность с наложенным слоем осадков РС-D3000 (№40) давление 0,07 МПа

Рассмотрим возможности расположения дождевателей на спускных трубках. На рисунке 10.23 показаны варианты расположение дождевателей секторного полива.

Смоделируем полив при движении машины. Учитывая значительный радиус машины, движение тележек можно принять как прямолинейное. Для определения объема воды, подаваемой дождевателем при прохождении над участком, предполагалась средняя скорость, равная 100 метрам в час.

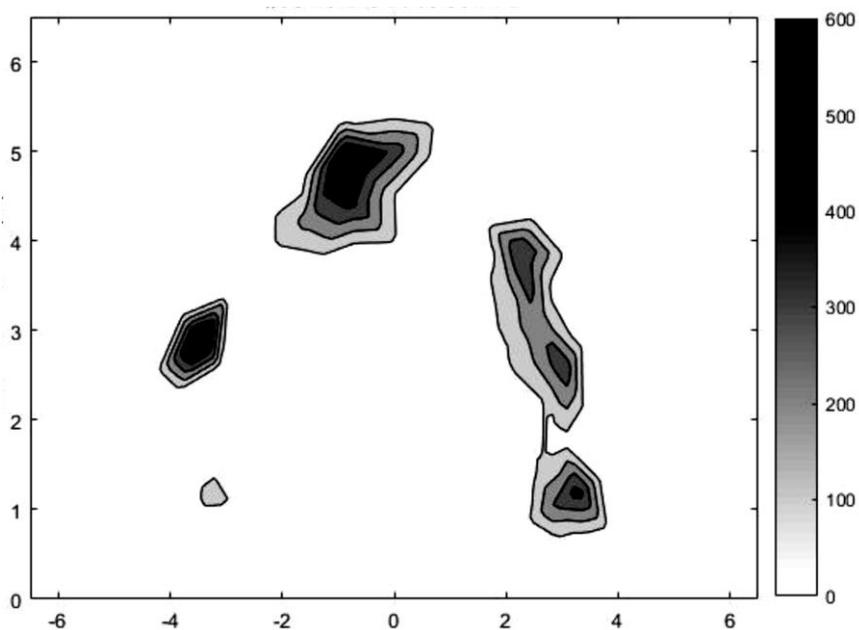
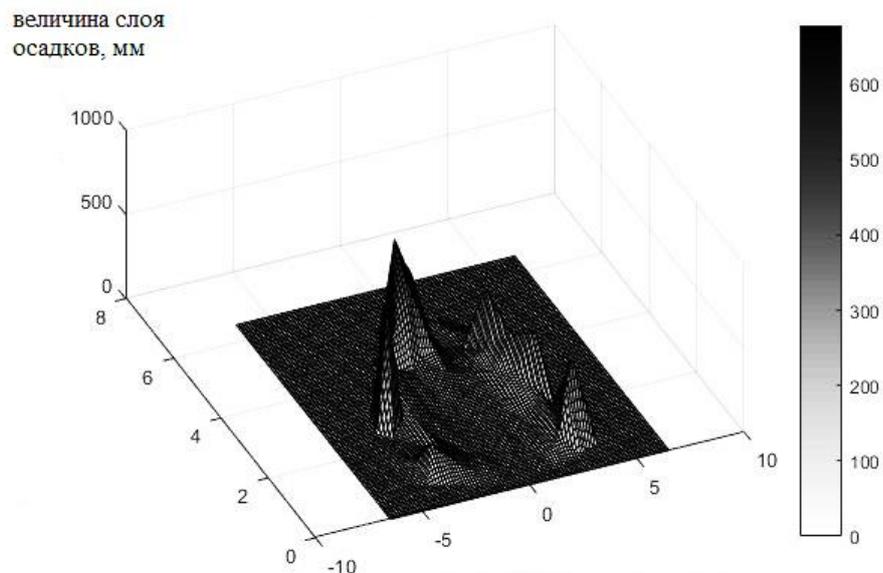


Рисунок 10.22 Поверхность с наложенным слоем осадков РС-D3000 (№50) давление 0,7 МПа.

Затем скорость использовалась для изменения нормы внесения, определенной на основе данных о результатах для каждого дождевателя, что затем давало объем для каждого разбрызгивателя за один проход. Затем полученный объем суммировался в направлении движения, как показано стрелкой на рисунке 10.23. Когда примененные объемы были суммированы, получился график, подобный рисунку 10.24.

Модель была протестирована для всех испытаний, проведенных на расстоянии 1 метр с шагом от 1 до 5 метров, в то же время был проверен поворот дождевателя в диапазоне от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  с шагом  $22,5^\circ$ .

Затем эти данные были нанесены на график для получения сравнительных таблиц. Сравнительные таблицы позволяют легко определить оптимальные характеристики расстояния и ориентации для рассматриваемой комбинации.

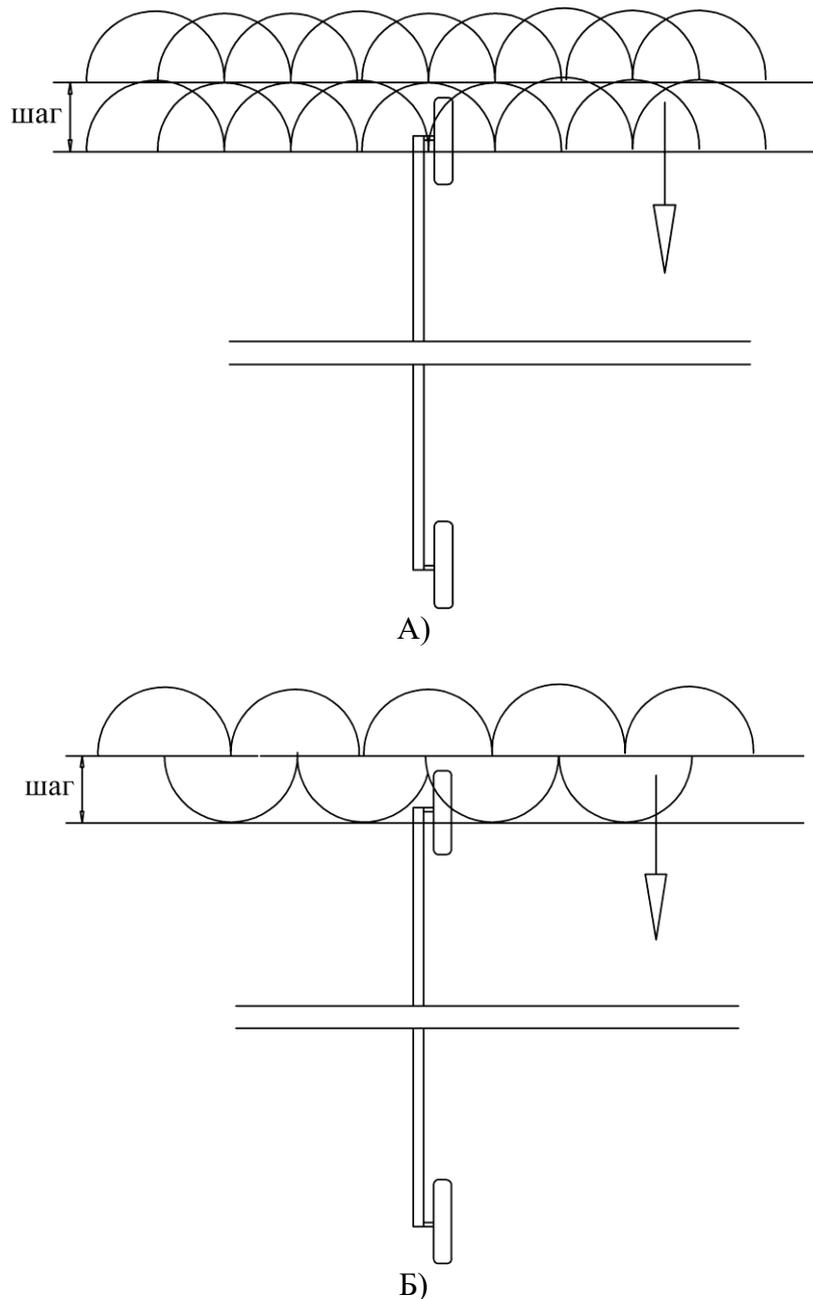


Рисунок 10.23- Варианты расположения дождевателей

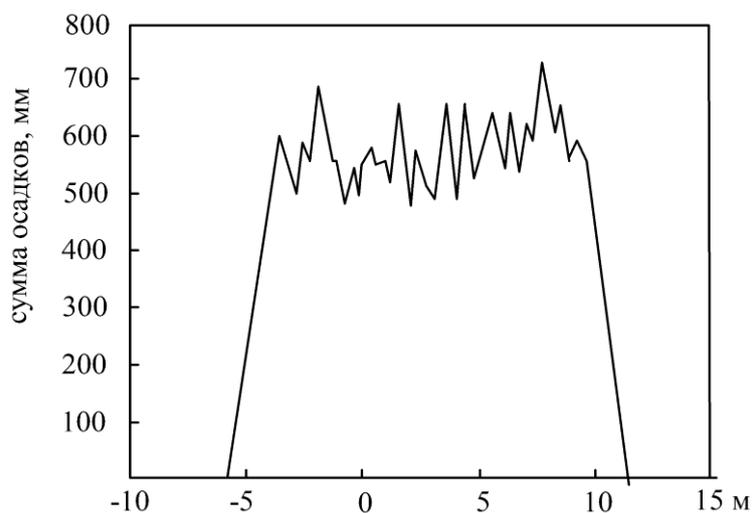


Рисунок 10.24 - График суммы осадков

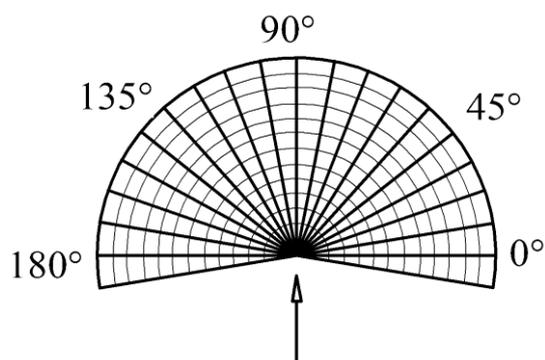


Рисунок 10.25- Схема ориентации дождевателя

Для обеспечения равномерности орошения важна ориентация дождевателя.

Расстояние между дождевателями измерялось по трубопроводу.

РС - S3000

Первый опыт.

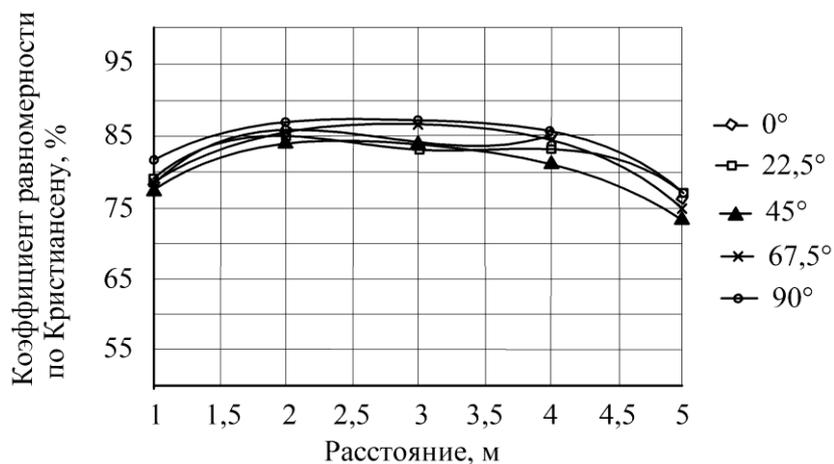


Рисунок 10.26- Результаты моделирования первого опыта

На рисунке 10.26 заметна тенденция: разбрызгиватели, расположенные на расстоянии 1 и 5 метров друг от друга имеют значительно меньшую равномерность распыления, чем разбрызгиватели, расположенные на расстоянии 2-4 метров.

Комбинация давления 0,7 МПа и сопла с номером 14 наилучшие результаты показывает на расстоянии от 2 до 4 метров.

Модель показала, что наилучшим сочетанием поворота и расстояния является поворот на 90 градусов с интервалом в 2-3 метра друг от друга, что дает коэффициент Кристиансена в 86,8%.

Поскольку оптимальная ориентация на 90° непрактична в полевых условиях, стоит отметить, что поворот на 0°, который обычно используется также работает очень хорошо с коэффициентом 86,5% на расстоянии трех метров.

Опыт второй.

На рисунке 10.27 также видно, что расстояние между точками, равное 1 метру, и расстояние между точками, равное 5 метрам, показали отрицательные результаты.

Очевидно, что эта модель имеет оптимальное сочетание расстояния в 3 метра с ориентацией под углом 67,5°, что позволило получить коэффициент Кристиансена на уровне 87,7%.

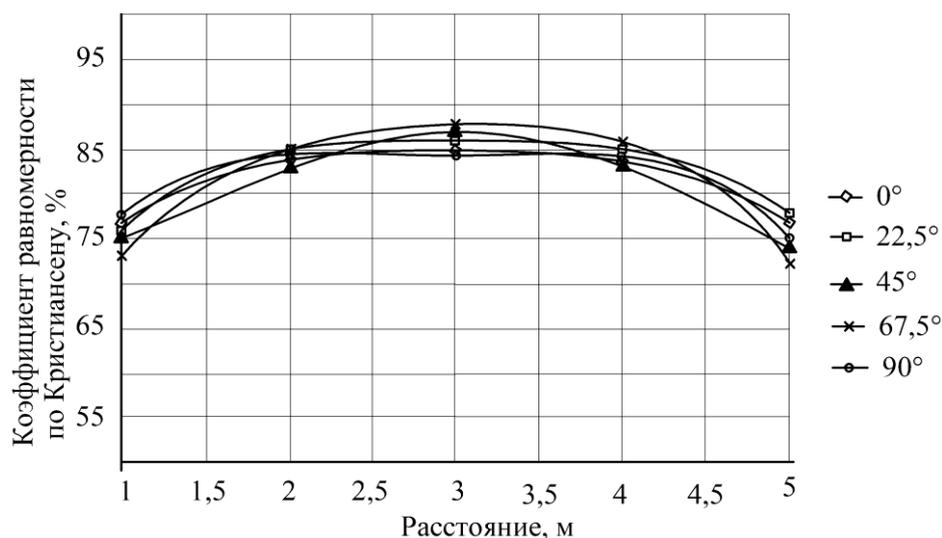


Рисунок 10.27 - Результаты моделирования второго опыта

Последующие испытания показали, что расстояние между 2 и 4 метрами дает значение коэффициента в диапазоне от 83% до 86%. Этот диапазон является приемлемым.

Однако следует отметить, что эти данные относятся только к идеальным условиям, без учета ветра. Полевые условия сильно отличаются от условий, в которых проводились эти испытания, что будет иметь решающее значение и влиять на коэффициент однородности.

Третий опыт. Расстояние от 2 до 3 метров обеспечивает достаточную однородность независимо от ориентации самого дождевателя.

Как и в предыдущих исследованиях, оптимальной является ориентация под углом  $67,5^\circ$  с коэффициентом  $86,9\%$ , что лишь немногим превосходит ориентацию под углом  $90^\circ$  с коэффициентом  $86,5\%$ .

На рисунке 10.28 показано уменьшение коэффициента для ориентаций  $22,5^\circ$  и  $45^\circ$  на расстоянии 3 метров, это также заметно на расстоянии 2 и 4 метров.

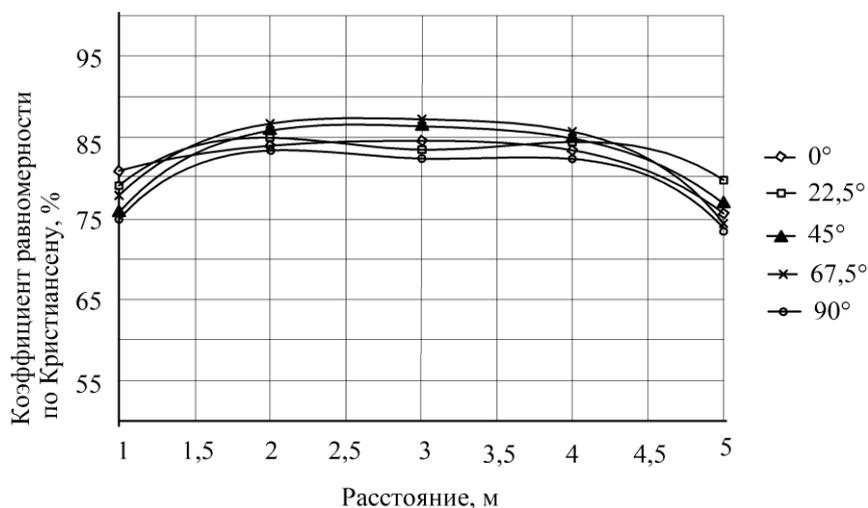


Рисунок 10.28 – Результаты моделирования третьего опыта

Положительным результатом исследований дождевателей с вращающимся дождевателем (РС-S3000) стала общая равномерность распыливания при идеальных условиях.

Результаты испытаний показали, что дождеватель обеспечивает высокую однородность, и это было подтверждено результатами моделирования.

Также выявили две проблемы с дождевателями, первая из которых связана с формой зоны распыливания: имеет форму "подковы", а не однородного круга.

Таблица 10.5 - Результаты исследований РС - S3000

№	Расстояние, м	Ориентация (градусы)	Коэффициент равномерности по Кристиансену, %
1	3	90	86,6
2	3	67,5	87,7
3	3	67,5	86,9
4	3	67,5	87,1
5	3	90	89,2
6	3	90	86,9
7	3	90	88,5
8	3	90	87,85

Положительным результатом исследований дождевателей с вращающимся дождевателем (РС-S3000) стала общая равномерность распыливания при идеальных условиях.

Результаты испытаний показали, что дождеватель обеспечивает высокую однородность, и это было подтверждено результатами моделирования.

Также выявили две проблемы с дождевателями, первая из которых связана с формой зоны распыливания: имеет форму "подковы", а не однородного круга.

Таблица 10.6 -Результаты исследований РС - S3000

№	Расстояние, м	Ориентация (градусы)	Коэффициент равномерности по Кристиансену, %
1	1	45	83
2	1	90	80,1
3	3	90	77,7
4	3	90	79,6
5	1	22,5	84,9
6	2	0	82,4
7	1	0	84,1
8	2	0	82,2

Вторая проблема: дождеватели теряют большое количество воды непосредственно под самой конструкцией дождевателя. В основном это связано с конструкцией дождевателя.

Дождеватели РС-D3000 со статическим дефлектором показали отрицательные результаты в отношении однородности.

Как и дождеватель с вращающимся дефлектором, дождеватель с вращающимся дождевателем также создавал форму "подковы", но не вызывает таких значительных потерь, как модель РС-S3000.

Однако у модели была проблема, которая проявлялась в чрезвычайно высокой интенсивности.

Все проведенные испытания были смоделированы для одинаковых условий для расчета коэффициента однородности Кристиансена.

Проверка коэффициента однородности показала, что дождеватель с вращающимся дефлектором работает значительно лучше, чем со статическим дефлектором.

Наивысший коэффициент однородности был зафиксирован в пятом опыте для дождевателя РС-S3000. После различных испытаний было установлено, что при использовании схемы номер пять обеспечивается наилучшая однородность с коэффициентом равным 88,96%, что является хорошим результатом.

## 11 АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ РАСТВОРОВ

Автоматическая система управления концентрацией растворов удобрений (рис. 11.1) позволяет измерять концентрацию растворов с точностью до  $\pm 10\%$  и управлять ею. Концентрированный раствор минеральных удобрений готовят в специальной емкости 1, откуда насосами-дозаторами 2 подают его через регулирующий клапан 3 в поливную воду.

Концентрацию удобрений в поливной воде измеряют датчиком 4 кондуктометрического типа (по электропроводности раствора). Он имеет встроенный терморезистор, предназначенный для компенсации температурой погрешности.

Датчик устанавливают в трубопровод за участком смешения концентрированного раствора и поливной воды. Его присоединяют через анализатор удобрений 5 к регулирующему прибору 6, который настраивают на двухпозиционное управление исполнительным механизмом 7 при помощи реле 8 «Концентрация больше» и 9 «Концентрация меньше».

Например, если концентрация минеральных удобрений в поливной воде больше заданной, то срабатывает реле 8, которое включает исполнительный механизм на уменьшение пропуска клапаном 3 концентрированного раствора. При этом загорается сигнальная лампа 10. Если концентрация удобрений меньше заданной, то срабатывает реле 9 и исполнительный механизм открывает регулирующий клапан 3. При достижении концентрации заданного значения реле 8 или 9 отключает исполнительный механизм. Для улучшения качества двухпозиционного регулирования используется импульсный прерыватель, состоящий из реле 11 и блока 12 генератора импульсов с периодом 20 с. Его принцип действия приведен в описании системы регулирования температуры поливной воды.

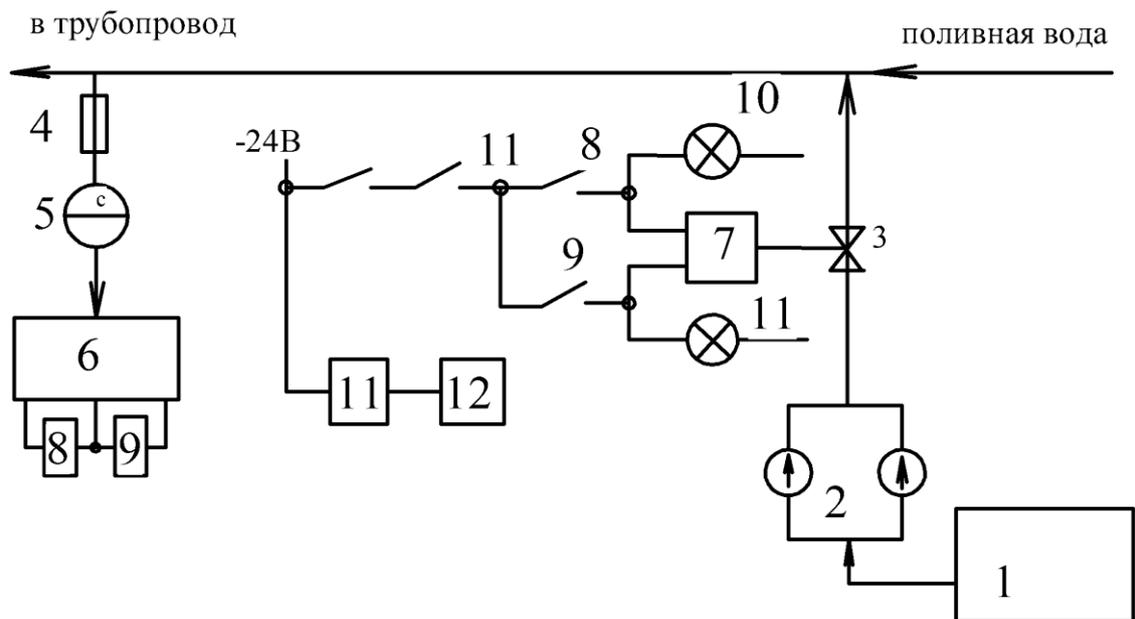


Рисунок 11.1. Принципиальная электрическая схема управления концентрацией растворов минеральных удобрений

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Удобрительно-увлажнительное дождевание – внесение жидкого концентрированного раствора одновременно с оросительной водой в соответствии с требуемой дозой минеральных удобрений, а также гербицидов, микроэлементов и ядохимикатов, и заданной поливной нормой.

Данный прием можно разделить на три типа:

- срок внесения удобрений совпадает со сроком увлажнительного полива;
- удобрительно-увлажнительный полив проводится либо уменьшенной нормой воды, либо откладывается на несколько дней.
- удобрения, как правило, вносятся без полива.

К норме полива предъявляются следующие требования:

1) норма полива должна быть достаточной для внесения требуемой дозы удобрений, а также последующей промывки дождевального оборудования и растений чистой водой;

2) удобрения должны быть равномерно распределены по орошаемой площади при допустимой их концентрации для растений и дождевальной техники.

Основным требованием, предъявляемым к таким дождевальным машинам и установкам, является равномерное распределение удобрений и подача влаги на орошаемую площадь. Равномерность распределения удобрений с поливной водой зависит от точности дозирования маточных растворов в поливной поток. Вместе с тем на равномерность распределения воды и удобрений при дождевании отрицательное влияние оказывает ветер.

Важно отметить, что при применении удобрительно-увлажнительного дождевания увеличивается сезонная нагрузка использования дождевальной техники, что способствует быстрой окупаемости оросительной системы. Благодаря такому агрометеорологическому приему с использованием дождевальной техники уменьшается уплотнение пахотного слоя почвы за счет сокращения проходов сельскохозяйственных машин по площади полей (по сравнению с внесением удобрений в сухом виде).

Подача удобрений к растениям с помощью удобрительно-увлажнительного дождевания обладает рядом преимуществ перед обработкой возделываемых культур сухими веществами: снижается негативное воздействие химикатов на окружающую среду. Применяемый питательный водный раствор слабоконцентрированный (0,1–0,3 %), сосредотачивается в активном корнеобитаемом слое и полностью поглощается растениями.

Это исключает его перемещение по почвенным слоям; обеспечивается полная механизация и автоматизация операций по приготовлению и применению жидких удобрений, сокращаются затраты труда, энергии и материальных средств на производство единицы продукции, уменьшается уплотнение пахотного слоя почвы за счет совмещения операций; удобрения вносятся на тех этапах развития растений, когда элементы питания и влага необходимы им в наибольшей степени.

При этом обеспечивается равномерное распределение питательных веществ по площади, расширяются возможности повышения качества продукции за счет проведения поздних подкормок; сокращаются потери питательных веществ на выщелачивание, не создается повышенной концентрации почвенного раствора.

В настоящее время разработаны эффективные комплексные микроудобрения, применение которых требует повышенного внимания к соблюдению технологии удобрительно-увлажнительного дождевания, а именно – к точности дозирования удобрительного раствора в поток поливной воды на протяжении всего цикла орошения. Поэтому важным моментом является применение современных устройств гидроподкормки, способных обеспечить необходимые параметры процесса.

Актуальным является совершенствование технологий и разработка надежных технических средств полива с внесением средств химизации. Совместная работа учёных и производителей способствует сокращению сроков научных исследований, проверке полученных результатов в производственных условиях и внедрению научных работ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдразаков, Ф.К. Повышение экологической эффективности орошения в Саратовском Заволжье на основе совершенствования дождевальнoй машины «Фрегат» / Ф.К. Абдразаков, В.В. Васильев. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2005. – 116 с.
2. Абдразаков Ф.К. Рациональное снижение металлоемкости при конструировании широкозахватных дождевальных машин/ Абдразаков Ф.К., Журавлева Л.А., Соловьев В.А.// Аграрный научный журнал. 2018. № 5. С. 37-41.
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/2024/03/19/65910000)– (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. Викторoвнa. – СПб.-Пушкин, 2012. – 22 с.
8. Боровиков, В. П. Statistica: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2001. – 656 с.
9. Бубенчиков, М. А. О снижении энергоемкости полива короткоструйными дефлекторными насадками / М. А. Бубенчиков, А. Н. Данильченко, Н. П. Пацер // Экологическое и экономическое обоснование

технологии и технических средств полива: сб. науч. тр. ВНИИМиТП. – М., 1989. – С. 42-47.

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

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

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

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

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

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

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

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

18. Гомберг, С.В. Интенсивность дождя дефлекторных насадок ДМ «Фрегат» / С.В. Гомберг В.В. Слюсаренко, Н.Ф. Рыжко // Актуальные

проблемы АПК. Сб. научных работ. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2006. – С. 84-88.

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

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

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

22. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – М.: 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 действия 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](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. Есин А.И. Исследования характеристик потока воды в водопроводящем поясе дождевальной машины/ Есин А.И., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А.// Научная жизнь. 2018. № 2. С. 16-25.

37. Есин А.И. Математическое моделирование водопроводящего пояса дождевальных машин. /Есин А.И., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А.// Научная жизнь. 2017. № 9. С. 20-28.

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. Технология дифференцированного полива широкозахватными дождевальными машинами с внесением удобрений / Л.А. Журавлева, Гречуков Ю.Н. // Аграрный научный журнал. 2025. № 3. С. 110-114.

44. Журавлева, Л.А. Влияние пространственной неоднородности свойств сельскохозяйственных полей и рельефа на эффективность применения дифференцированных агротехнологий: монография /Журавлева ЛА, Бенин Д.М., Гавриловская Н.В. М.: 2024. 122с.

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. Журавлева Л.А. Техничко-технологические решения и рекомендации по сохранению плодородия почв подверженных водной эрозии: монография. Журавлева Л.А., Якобсон Б.Б. Москва, 2024. 115с.

48. Каталог ирригационной продукции ZimmaticbyLindsay [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.lindsay.com](http://www.lindsay.com). – (Дата обращения: 15.05.2024).

49. Каталог. I-WobSenninger. Дождеватель для механизированного орошения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.senninger.com](http://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](http://www.lindsay.com)– (Дата обращения: 23.03.2023).

51. Каталог. Отличительные особенности ирригационных машин Reinke [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.reinke.com](http://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](http://www.tlirr.com)– (Дата обращения: 22.03.2024).

54. Каталог продукции Valley [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / [www.valmont.com/irrigation](http://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](https://rainhunter.ru)– (Дата обращения 30.04.2024).
57. Каталог продукции RainBird[Электронный ресурс]. – Режим доступа: / [www. rainbird. Com.](http://www.rainbird.com) – (Дата обращения 10.02.2024).
58. Каталог продукции RainBird [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / [www. avtopoliv-rainbird.ru](http://www.avtopoliv-rainbird.ru) – (Дата обращения 30.04.2024).
59. Колганов, А.В. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России: монография / А.В. Колганов, Н.А. Сухой, В.Н. Шкура, В.Н. Щедрин; под ред. Щедрина.– Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. –222с.
60. Концепция федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы». –М., 2010. – 60 с.
61. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. –М.: Наука, 1973. –832 с.
62. Ларионова, А.М. Пути повышения качества полива дождевальными машинами / А.М. Ларионова, Г.А. Михалева, Е.В. Шевцов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Сб. науч. трудов Межд. науч.-практ. конф.– 2016. –С.360-365.
63. Ларионова, А. М. Впитывающая способность почв при поливе дождеванием: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2004. – 248 с.
64. Лебедев, Б.М. Дождевальные машины / Б.М. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1965. – 225с.
65. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. –М.: Дрофа, 2003.– 840 с.
66. Макарова, Н.В. Статистика в Excel: учебное пособие / Н.В. Макарова, В.Я. Трофимец. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 365с.
67. Материалы сайта компании Lindsay: url: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http: // www. lindsayrussia.com](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. Слюсаренко В.В. Опыт эксплуатации дм «Фрегат» на низконапорном режиме/ Слюсаренко В.В., Журавлева Л.А., Рыжко Н.Ф.// Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 1. С. 22.

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. Esin A.I. Mathematical modeling of water conducting belt for circular action sprinkler/ Esin A.I., Zhuravleva L.A., Boikov V.M., Mukhin V.A., Serebrennikov F.V. // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2018. Т. 10. № 10 Special Issue. С. 2135-2141.
132. Catalog–Komet–Pivot–5–Features. Komet Austria GmbH. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.kometirrigation.com](http://www.kometirrigation.com)– (Дата обращения: 19.03.2018).
133. Catalog–Irrifrance. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.irrifrance.com](http://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](http://nelsonirrigation.com)– (Дата обращения: 23.01.2023).
137. Prikhod'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. Т. 53. № 1. С. 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. С. 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.