

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Казанский государственный аграрный университет»

Кафедра «Машины и оборудования в агробизнесе»

Абделфаттах Ахмед Хассан

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

**Специальность 05.20.01 - Технологии и средства механизации сельского
хозяйства**

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Руководитель: д.т.н., профессор **Зиганшин Б.Г.**

Казань 2019

Содержание

Введение	4
1. Глава 1. Состояние разработок технологий, конструкций систем и технических средств капельного орошения	11
1.1 Ретроспективный анализ развития оросительных мелиораций	11
1.2 Классификация оросительных систем.....	20
1.2.1 Поверхностное самотечное орошение	24
1.2.2 Орошение дождеванием.....	26
1.2.3 микроиригационные системы (системы малообъемного орошения).....	36
1.3 Системы капельного орошения - преимущества и недостатки	41
1.4 Конструкция и принцип работы систем капельного орошения.....	46
1.5 Классификация датчиков влажности почвы, используемых для планирования и оперативного управления поливом	56
1.6 Точное земледелие.....	66
1.7 Точное орошение (интеллектуальные системы орошения)	69
1.8 Классификация автоматического процесса полива	70
1.9 Классификация и анализ рабочего механизма электромагнитных клапанов.....	78
2. Глава 2. Теоретические исследования экспериментальных работ	87
2.1 Гидравлическая оценка капельниц и расчеты равномерности распределения воды	87
2.2 обзор лабораторных установок для оценки равномерности водораспределения систем капельного орошения.....	97
2.3 Почва и Физические свойства почвы, влияющие на движение воды.....	101
2.4 Классификация почвенных вод в соответствии с водой удерживающих сил	104
2.5 Классификация почвенной воды на основе доступности для растений.....	106
2.6 Анализ методов определения гидравлических пределов орошения (полевая влагоёмкость и точка увядания):	115
2.6.1 Определения гидравлических пределов орошения на основе текстуры почв	115
2.6.2 Оценка пределов орошения на местах (в поле) с помощью датчика влажности почвы	116
2.6.3 Лабораторная оценка пределов орошения.....	118
2.7 Математическое выражение содержания почвенной воды и управление орошением	120
2.8 Критерии расположения/позиционирования датчиков влажности почвы	123
2.9 Анализ атмосферных факторов, влияющих на потребности растений в воде (Эвапотранспирация)	130

3.1 Лабораторная оценка капельниц	142
3.2 Модуль автоматического контроля влажности почвы на основе датчиков влажности почвы .	147
3.3 Калибровка датчиков влажности почвы	151
3.4 Технические и внешние характеристики модуля автоматизации полива на основе датчиков влажности почвы.....	157
3.5 Проверка системы автоматического капельного орошения на основе влажности почвы	163
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	167
4.1. Влияние давления на расход капельницы.....	167
4.2. Оценка равномерности водораспределения капельниц путем оценки коэффициента вариации	173
4.3 результаты калибровки датчиков влажности почвы	174
4.4 Эффективность использования воды	177
4.5 выводы.....	177

Введение

Проектирование сети капельного орошения должно основываться на надежных данных лабораторных испытаний, а не на опубликованных данных производителей. Капельницы должны быть протестированы при различных уровнях давления, и те, которые имеют низкие гидравлические характеристики должны быть исключены [1,53,60] .

Системы капельного полива предназначены для подачи равномерного количества воды в необходимую зону, однако, в практике присутствует неравномерность увлажнения почвы. Равномерность распределения воды является важным аспектом в любой ирригационной системе, поскольку неравномерное распределение влаги дозаторами-капельницами приводит к тому, что некоторые участки области полива подвергаются чрезмерному увлажнению, в то время когда другие участки страдают от нехватки влаги, что может нанести ущерб росту растений [36,57,58].

Капельницы – это устройства, используемые для подачи воды при низких объемных расходах в системах капельного орошения. Их можно классифицировать в соответствии с тем, как они прикреплены к боковой линии или их объемными характеристиками расхода. Внешние капельницы прикреплены к боковой линии в отличие от встроенных капельниц, которые встроены в боковую линию во время изготовления. Регулируемые капельницы (или капельницы с компенсацией давления) обеспечивают стабильный вылив в широком диапазоне давлений на входе.

Качественное конструктивное исполнение капельниц и гидравлические характеристики являются двумя основными факторами, которые влияют на распределение воды в системах капельного орошения. Вода выходит через очень маленькие отверстия в капельницах (обычно диаметром менее 2 мм), и,

следовательно, небольшое отклонение в диаметре в результате производственного несовершенства может привести к большим отклонениям в объёмных расходах. В дополнение к качеству изготовления капельниц особое влияние на равномерность распределения воды оказывают следующие параметры: рабочее давление, расстояние между капельницами, размер и длина боковой линии, гидравлические характеристики потока (например, трение и т.п.) [59,73].

Тестирование и валидация (верификация) системы капельного полива является интегральным шагом на пути к оценке эффективности технологии с точки зрения оптимизации эффективности использования воды и минимизации потерь воды в орошаемых системах земледелия. Системы капельного орошения могут быть оценены в лабораторных условиях или на местах (в полевых условиях). Например, оценка коэффициента изменчивости производительности относительно расхода воды через капельную ленту, обычно требует высокой степени точности, и, следовательно, необходимо проводить эксперименты в лабораторных условиях, где условия окружающей среды, такие как ветер и температуру можно легко контролировать [36, 43].

Недостатки рассмотренных нами экспериментальных установок для лабораторной оценки капельного орошения заключаются в том, что в них не имеется возможности учитывать изменения давления между линиями капельниц в одном и том же блоке.

В полевых условиях у капельниц, находящихся в линии ближе к насосу или в низинах, давление будет больше, следовательно может происходить избыточный полив. А у капельниц, которые расположены на линии дальше от насоса или в возвышенностях, давление может быть не достаточным для эффективной работы капельниц.

В целях увеличения функциональной способности экспериментальной установки (имитации полевых условий: неравномерность рельефа поля, отдаленности линии от насоса и т.п.), нами предлагается установить регуляторы давления в начале каждой боковой линии. С помощью регуляторов входное давление каждой линии может быть изменено, независимо от расположения, длины или количество линий [40,42,64].

Так же, в автоматизированных интеллектуальных системах капельного орошения на основе датчиков влажности почвы, датчики непрерывно измеряют влажность почвы и отправляют измеренные значения в контроллер. На основании заданного содержания влаги в почве; микроконтроллер открывает или закрывает электромагнитные клапаны индивидуально, когда достигается пороговое значение. Внезапное закрытие некоторых электромагнитных клапанов приводит к чрезмерному увеличению давления в других открытых / рабочих клапанах, что может привести к повреждению соединений между капельными линиями и коллектором (Рисунок 2.1 и 2.2). Это экстремальное давление также приводит к увеличению расхода капельниц, что, в свою очередь, приводит к неравномерному распределению воды [20...27, 33,40]

Цель данного исследования заключается в следующем:

Повышение эффективности работы автоматической системы капельного орошения на основе обоснование её параметров.

задачи исследований. задачи исследований является повышение эффективности использования водных ресурсов за счет разработки техники и технологии капельного орошения, направленного на экономное расходование водных, энергетических и материальных ресурсов.

Для достижения поставленной цели программой исследований предусматривается решение следующих основных задач:

1) Провести анализ развития состояния оросительных систем и теоретических исследований в области точного капельного орошения.

2) Разработать основные параметры системы капельного орошения, гидравлическая оценка основных компонентов систем капельного орошения (капельницы) в лабораторных условиях.

3) Изучить особенности водораспределения капельницами и оценить её равномерность при различных уровнях давления.

4) Разработать системы автоматического полива с применением датчиков влажности почвы, проведение калибровки датчиков влажности почвы, для измерения реакции датчиков на разные уровни влажности почвы и определения верхнего и нижнего пределов влажности.

5) Исследовать процесс автоматического капельного орошения в теплице и обосновать параметры автоматизации орошения с использованием датчиков влажности почвы.

Научная новизна включает:

- Методика экспериментального исследования эффективности работы системы капельного орошения при различных уровнях давления, создаваемого на входе отдельных капельных линий и экспериментальный стенд для проведения таких исследований;
- Модернизация системы точного орошения путем установки обратного клапана на каждую капельную линию и автоматизация его работы на основе показаний датчика влажности почвы;
- Результаты испытания капельниц Rivulis Eurodrip на эффективность работы при различных уровнях давления в системе орошения и рекомендация по их применению.

Актуальность темы исследования

Сельское хозяйство играет жизненно важную роль в экономике каждой нации, будь то развитие или развитие. Сельское хозяйство является основой средств к существованию для населения за счет производства продуктов питания и важного сырья. Кроме того, сельское хозяйство продолжает играть важную роль в обеспечении занятости населения в больших масштабах. Рост сельского хозяйства считается необходимым для развития и для преобразования страны из традиционной в современную экономику. Поэтому необходимо уделять внимание науке и технологиям, используемым в этой области для повышения урожайности и роста в сельском хозяйстве.

Сельскохозяйственная система представляет собой сложное взаимодействие семян, почвы, воды, удобрений и пестицидов и т. Д. Оптимизация ресурсов имеет важное значение для устойчивости этой сложной системы. Ненаучная эксплуатация сельскохозяйственных ресурсов для преодоления разрыва между спросом и предложением в связи с ростом населения ведет к деградации ресурсов и последующему снижению урожайности [63].

Эффективность любого производства, прежде всего, зависит от правильного распределения имеющихся ресурсов. Вода является одним из ценнейших ресурсов планеты, где около 70% земной поверхности покрыто водой, но только около 2,5% водоснабжения Земли – это пресная вода. Значительная часть пресной воды находится в ловушке ледников, постоянных снежных или глубоких грунтовых вод, и только около 0,26% доступно для потребления человека [3...6, 11...13].

Вода является основополагающей составляющей для плодотворной вегетации растений. Важнейшим источником воды для роста сельскохозяйственных культур являются осадки. Когда осадков

недостаточно, оросительная вода может обеспечить благоприятные условия для роста растений и получения хорошего урожая [1, 7, 13].

Орошение (ирригация) – это применение контролируемого количества воды для растений через определенные промежутки времени в качестве пополнения воды в корневой зоне растения в периоды, когда естественных осадков недостаточно для хорошего роста растений. Ирригационное земледелие (поливное земледелие) необходимо для обеспечения высокой урожайности сельскохозяйственных культур в засушливых и полузасушливых регионах. Ирригационное орошение занимает ведущее место среди мелиораций обрабатываемых земель. Дополнительное орошение во влажных и субгумидных регионах не только улучшает качество посевов, но и гарантирует высокие урожаи. Научно доказано, что урожайность под орошением увеличивается от 100 до 500% по сравнению с урожаями, полученными в условиях дождя в засушливых регионах [8...10, 15].

Несмотря на то, что только около 20% обрабатываемых земель мира находятся под орошением, на них приходится 40% мирового сельскохозяйственного производства. Согласно прогнозам, к 2025 году население достигнет 8 млрд. человек, что потребует 40-процентного увеличения производства продовольствия. Поэтому вполне вероятно, что орошаемое земледелие будет продолжать расширяться [47].

В связи с ростом культуры агротехники, потребности повышения урожайности и среднесуточной температуры, внедрение адаптивной системы орошения на территории республики Татарстан, является важной задачей, требующей решения на принципах программно-целевого метода государственного управления, которые предусматривают формулирование системы целей, задач и ключевых показателей (индикаторов) развития,

разработку приоритетных направлений и программных мероприятий, определение необходимых объемов финансирования.

На основании вышеизложенного возникает необходимость в разработке и повышении технической надежности и устойчивости гидротехнических сооружений оросительных систем в сельскохозяйственном производстве республики Татарстан и страны в целом.

Глава 1. СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК ТЕХНОЛОГИЙ, КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

1.1 Ретроспективный анализ развития оросительных мелиораций

Орошаемое земледелие практикуется почти на всех континентах, но более 70% из глобально орошаемых районов находятся в Пакистане, Китае, Индии и других развивающихся стран в засушливых и полузасушливых районах.

Большая часть водных ресурсов мира расходуется для возделывания сельскохозяйственных культур в условиях орошения. На долю сельскохозяйственного сектора приходится 66% общей воды, добытой из поверхностных и подземных вод (рисунок 1.1). Как видно по диаграммам, распределение водных ресурсов для разных целей, в том числе для орошения, на различных континентах и странах разное. Например, общий водозабор в Азии составляет 57%, из которого 80% используется в орошаемом земледелии [15].

Египет имеет общую площадь около одного миллиона квадратных километров, большая часть из которых – пустыня, и только 5,5% населена. Поселения сосредоточены в дельте и долинах реки Нил. Общая площадь окультуренных земель составляет около четырех миллионов гектар, что составляет лишь 3% от общей площади суши. Сельское хозяйство в основном зависит от ирригации, в Египте 86% водных ресурсов используется для сельскохозяйственного орошения. В 2010 году общая площадь орошаемых земель составило 98% окультуренных площадей [14].

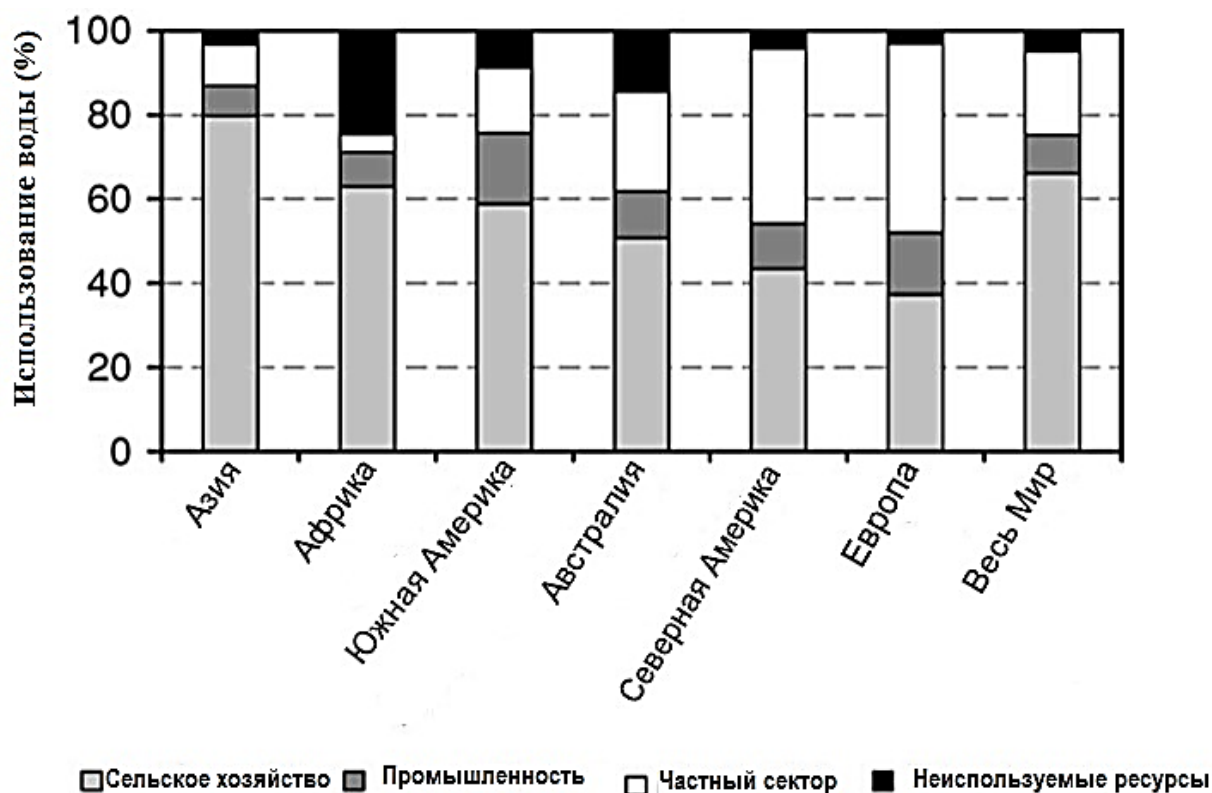


Рисунок 1.1 – Процентное распределение водных ресурсов по секторам и континентам

Египет сталкивается и продолжает сталкиваться с серьезной нехваткой воды, что требует оптимального управления для различных видов водопользования. Неравномерное распределение воды, увеличение численности населения и неэффективные методы орошения являются одними из основных факторов, влияющих на водную безопасность в стране [14].

Орошение в России имеет огромное значение, так как пахотные земли расположены, в основном, в степной и лесостепной зонах. Только 35 % их находится в благоприятных климатических условиях, обеспеченных осадками. Обширные площади пахотных земель находятся в засушливой и полузасушливой зонах, где урожайность сельскохозяйственных культур резко колеблется. По данным Гидрометцентра каждые 35 лет сильная засуха

охватывает Астраханскую и Волгоградскую области 15-16 раз, Ростовскую область – 12 раз, Ставропольский край – 14 раз, то есть летняя засуха в южных регионах наблюдается почти каждый второй год. Это снижает урожайность всех сельскохозяйственных растений и, в первую очередь, зерновых культур на 45-57 %. Недостаточное выпадение осадков в апреле-мае определенно сказывается на урожае яровых хлебов, недостаточные осадки в сентябре-октябре на урожае озимых, а в летний период на всех остальных культурах [33].

По запасам водных ресурсов Россия в мире занимает второе место после Бразилии. А в европейской же части России, где проживает около восьмидесяти процентов всего населения, водных запасов только восемь процентов от всей территории страны. В южном регионе (Волгоградская, Ростовская, Астраханская, Оренбургская области, Калмыкия, Ставропольский край) имеется дефицит воды. Но, из-за особенностей климатических условий в данных районах имеются возможности для возделывания различных ценнейших культур, выращивание которых в других регионах страны осложнено. При применении ирригационного земледелия в данных регионах имеется возможность увеличения урожайности возделываемых культур и обеспечение потребностей населения всей страны продуктами питания [2...8].

При площади орошаемых земель более четырех миллионов гектар в России фактически поливается около одного миллиона гектар. Для полива применяются около двенадцати тысяч дождевальных машин отечественного производства, из которых более восьмидесяти процентов работают за нормативным сроком эксплуатации; импортных широкозахватных дождевальных машин кругового действия до двухсот единиц, фронтального действия – пятьдесят единиц, обслуживающих площадь до восемнадцати

тысяч гектар; ирригационных комплектов КИ-5 и КИ-10 – сто пятьдесят единиц, обеспечивающих полив до полутора тысяч гектар, шланговых барабанных дождевальных машин с гидроприводом – семьсот единиц, обслуживаемая ими площадь составляет около двадцати двух тысяч гектар [8,21,32,38].

Результаты исследований проведенных в России и за рубежом дают основания полагать о том, что при возделывании плодовых насаждений иногда требуется давать поливы даже тогда, когда годовое количество осадков составляет около 600 мм и больше. Так, результат исследований проведенных в Болгарии доказывает, что при годовом количестве осадков около 644 мм, применение поливов положительно влияет на продуктивность яблон [22].

Уже в древнейшие времена орошение достигло степени искусства, на котором было основано благосостояние целых стран. О проведении воды для увлажнения полей упоминается во многих местах Библии. Местность между Евфратом и Тигром славилась уже в глубочайшей древности сельскохозяйственным прогрессом, достигнутым при помощи систематического орошения. С незапамятных времён существуют образцы оросительных сооружений в странах древнейшей культуры: в Китае, Индии и Египте, а в Новом свете - в областях исчезнувшего царства ацтеков. Египтяне не довольствовались периодическими разливами Нила для оплодотворения своих полей; а провели его воды, с помощью разветвлённой системы каналов, по всей своей плодородной области до края пустыни. Впоследствии перешли здесь к водочерпательным колёсам, поднимавшим воду на высоту.

Самые ранние известные системы орошения начались в 6000 г. до н.э. в Египте и Месопотамии. В Египте Нил затоплялся в течение нескольких

месяцев каждый год, и воды отводились на поля, чтобы позволить фермерам выращивать зерновые культуры, в противном случае они не смогли бы это сделать. В 3100 г. до н.э. был построен крупный ирригационный проект, предусматривающий строительство плотин и каналов размером до 20 километров. Тем не менее, наводнение было неопределенным, и высокие потоки могли смыть дамбы и затопить целые деревни, в то время как низкие потоки не обеспечили бы достаточно воды для сельскохозяйственных культур [55,45].

Если брать историю орошаемого земледелия, то на территории бывшего СССР оно было развито в основном на южных территориях страны. Это Украина, Молдавия, Центральная Азия, Северный Кавказ, а также южные регионы РСФСР – Кубань, Краснодарский край. Вся оросительная сеть тогда строилась государством по единым лекалам, а потом передавалась в колхозы и совхозы. Благодаря большим площадям орошения, грамотной системе севооборота, такие сети орошения были довольно эффективны, покрывали сразу большие территории и при этом использовались собственные станции подкачки воды и оросительные модули [80].

Такие комплексные, сложные системы разрабатывались с учетом применяемой сельхозтехники, методов севооборота, географическо-климатических условий местности. После крушения единой страны, каждая бывшая республика пошла по своему пути. Аграрный сектор видоизменялся, подстраиваясь под экономические условия. Отдельные хозяйства разорялись из-за невозможности содержать большой парк техники, в том числе и оросительной. Целостность системы была нарушена, а следом и мелиорация стала понемногу затухать. Часть комплексов осталась в руках государства, а то, что перешло к частным хозяйствам в основном исчезло, оставшись без «крепкой руки» и финансирования.

Нормальный, системный севооборот земель был нарушен с расчленением крупных хозяйств на более мелкие. И в зависимости от региона, система мелиорации стала приходить в упадок. В южных областях России, учитывая их местоположение, только часть земель была переведена на оросительную систему. Это около 30-35% земель. Остальные массивы стали обрабатываться без полива. Учитывая, что на данных территориях возделывание многих культур просто невозможно без орошения, можно представить последствия такого снижения площадей под мелиорацию. В частности, можно вспомнить засушливые годы 2010-2011, которые показали, насколько важен полив в засушливых регионах страны.

При этом в странах СНГ потери были еще значительнее. В Молдове сокращение оросительных площадей достигло 30 раз, в Украине – 4 раз, похожая ситуация и на Кавказе (Россия), в Румынии, Болгарии и т.п. В последние годы количество засушливых сезонов постоянно растет. В 18 веке было 34 засушливых года, в 19-м – уже 40. А в 20-м – 46, если же учитывать не только апрель-июль, а вплоть до августа, то цифра достигает 53 лет, причем 7 из них приходится на последние 15 лет. Но несмотря на эти показатели, большинство сельхозпроизводителей не могут позволить себе установить оросительную систему, тем более что участки стали значительно меньше по размеру (на одно хозяйство). А насосные станции работают с модулями 1100-1500 гектар. Еще одним серьезным препятствием на пути обустройства орошения является подвод воды к землям и необходимость искусственного дренажа. Раньше на эти цели перенаправляли целые реки, а также подземные каналы. Все это требовало огромных затрат в технике, рабочих руках и т.п [24,43,72].

Учитывая мощность и размеры насосных станций, они были рассчитаны на подачу воды на большие расстояния, а следовательно, давление в

системах было высокое. Все это также повышало необходимость более частого ремонта и несения больших затрат, которые в нынешних условиях не каждый фермер или хозяйство могут себе позволить.

Сравнительно недорогим выходом из создавшейся ситуации может служить установка более современных, автоматизированных станций полива. Современная насосная станция водоснабжения в отличие от старых систем, не требует такого тщательного ухода и наличия большого количества персонала. В автоматический режим переведены основные функции: контроль параметров системы, работа по расписанию, защита от гидроударов, от сухой подачи, а также защита от попадания рыбы при заборе воды из пруда-озера, молниезащита и т.п.

Вдобавок, такие системы позволяют наладить и искусственный дренаж почв, используя специальный дренажный насос. Ведь известно, что постоянный полив методом орошения часто приводит к отрицательному результату в виде подъема вод, засоления почв и т.п. В этом случае дренаж просто необходим, как средство восстановления нормальной структуры земель.

В условиях повышения засухливости почв, а также всеобщего кризиса, связанного с обеспечением водой, установка современных систем орошения и восстановление площадей под дождевание являются требованием времени. Другого варианта повышения урожайности, плодородия почв, а в итоге и конкурентоспособности хозяйств просто не существует. Об этом знают и представители власти, они также ищут пути выхода из ситуации.

Если раньше (во времена СССР) системы мелиорации были одними из самых передовых и не уступали не только европейским, но и мировым стандартам, то теперь все выглядит несколько иначе. Возможный выход для мелких хозяйств – объединение их усилий для налаживания совместной

системы дождевание и орошения земель, с тем чтобы сократить издержки до минимума и выйти на уровень рентабельности. Установка более современных систем, включающих в себя самые последние достижения автоматики и электроники, позволит быстрее окупить вложенные в данные системы полива средства [80].

В 1982 году объем забора воды составил 97,8 км³, а в 1994 году он снизился до 77,1 км³. Это сокращение водопотребления, которое касается промышленного и оросительного водозабора, было связано со сложной экономической ситуацией в Российской Федерации, которая ухудшилась в 1990 году. В 2001 году общий водозабор оценивался в 66 200 миллионов м³, из которых 39 600 миллионов м³ (60 процентов) для промышленности - в том числе 30 800 млн. м³ для охлаждения термоэлектростанций - 13 200 млн. м³ (20 процентов) для сельского хозяйства и 13 400 млн. м³ (20 процентов) для муниципалитетов (таблица 5 и рисунок 1). В 2013 году общий объем забора воды оценивался в 61 000 млн. М³ (FSSS, 2015).

Крупномасштабные ирригационные и дренажные работы начались в начале восемнадцатого века. Основной целью водоканалов было не развитие сельского хозяйства, а использование воды для выработки электроэнергии для шахт и сталелитейных заводов Южного Урала, а также для осушения районов вблизи тогдашней столицы Санкт-Петербурга. Однако затопление воды в окрестностях Урала также способствовало развитию ирригации, в то время как дренажные работы превратили некоторые болота в обрабатываемые земли. В течение XIX века орошение развивалось медленно, главным образом за пределами территории современной Российской Федерации. В 1894 году было создано первое государственное учреждение по мелиорации земель, которое называлось Департаментом мелиорации, а в 1902 году было введено водное законодательство. В 1916 году около 214 000

га орошаемых земель и 890 000 га осушенных земель использовались для ведения сельского хозяйства в пределах страны. территория нынешней Российской Федерации. В период с 1920 по 1931 год произошло внезапное ускорение дренажных и ирригационных работ в связи с большой программой электрификации (ГОЭЛРО).

Первоначально электрификация всегда имела приоритет над ирригацией и осушением. Лишь в 1950-х годах, во время строительства водохранилищ Волжского каскада, орошение стало таким же важным, как гидроэлектростанция в проектировании освоения воды. В 1967 году орошаемая площадь составляла 1,62 млн. Га, что в восемь раз превышало орошаемую площадь в 1916 году, в то время как осушаемая площадь в 1,64 млн. Га была почти в два раза больше, чем в 1916 году. К концу 1980-х годов ежегодно до 200 000 га новых орошаемых площадей и 160 000 га новых осушенных площадей были переданы для сельскохозяйственного использования. Однако масштабы негативных последствий в результате высыхания болот и засоления орошаемых площадей увеличивались. Ритм развития ирригационных и дренажных работ замедлился в начале 1990-х годов.

В 1990 году орошение охватывало 6,12 млн. Га. Однако в 1994 году он сократился до 5,16 млн. Га. Одной из причин снижения стал экономический спад. Спринклерные системы (на которые приходилось почти 96 процентов площади, оборудованной для орошения в 1990 году) были перегружены, и системы технического обслуживания и эксплуатации не было. Это постепенно привело к полному разрушению и последующему отказу от схем. Наибольшее развитие орошения имело место в Северном Кавказе и Поволжье. Орошение осуществлялось в основном на огромных совхозах и, в меньшей степени, на колхозах.

Большая часть орошаемых земель управляется водохранилищами, а открытые каналы передают воду в ирригационные схемы. Самые большие каналы: Саратовский, Донский, Магистральный, Великий Ставропольский, Терско-Кумский и Кумо-Маницкий. В рамках схем подземные трубы доставляют воду к излучателям (дождевикам). В 1990 году орошение дождеванием было наиболее широко используемым методом (96 процентов площади), а остальное - орошением поверхности.

В 2006 году общая площадь, оборудованная для орошения, была оценена в 2 375 000 га, из которых 80 процентов были орошены поверхностными водами, а 20 процентов - подземными водами (таблица 6 и рисунок 2). Около 938 900 га, или 40 процентов от общей площади, оборудованной для орошения, было фактически орошено.

В 2006 году общая убранная площадь орошаемых земель составила 938 900 га, из которых 35 процентов были временными кормами, 19 процентов постоянных лугов и пастбищ, 9 процентов картофеля, 7 процентов пшеницы, 7 процентов фруктовых деревьев, 6 процентов овощей, 4 процента риса, 7 процентов других злаков, 3 процента бобовых и 3 процента сахарной свеклы.

Урожайность орошаемых культур выше, чем у богарных. Урожайность орошаемой кукурузы составляет около 2,7 т / га по сравнению с 1,7 т / га для богарной кукурузы. Для ячменя соответствующие цифры составляют 2,25 и 1,65 т / га.

1.2 Классификация оросительных систем

Наибольшую экономическую эффективность мелиорации получают от комплексного их применения: когда орошение сочетается с дренированием земель, а осушение – с периодическим орошением; гидротехнические мелиорации – с правильной организацией труда, высоким уровнем

агротехники, внесением необходимых доз удобрений; закрепление крутых склонов и оврагов – с устройством водоотводных каналов и валов, лотков и перепадов с лесными посадками и залужением; устройство прудов и водохранилищ – с орошением земель и рыборазведением; осушение земель – с известкованием почв и комплексом культуртехнических работ; освоение и промывка засоленных земель – с мелиоративной вспашкой, гипсованием, подбором культур - освоителей. Кроме того, для правильного освоения орошаемых, осушенных и эродированных земель большое значение имеют правильный выбор вида и сорта культур, чередование их в севооборотах обычного и специального назначения, а так же экономика и организация сельскохозяйственного производства.

На мелиорируемых землях на агрономов возложены руководство поливами, контроль за их качеством, от которого зависит урожайность орошаемых культур, весь комплекс агротехники. Освоение осушенных земель, уход за осушительной сетью так же осуществляется при непосредственном руководстве агронома. Соответственно трем применяемым способам орошения все машины для полива можно разделить на три группы: для поверхностного полива, для подпочвенного полива, для полива дождеванием (дождевальные машины) [23].

В зависимости от используемых компонентов можно выделить несколько типов ирригационных систем. Например, если насосные станции используются в качестве водозаборной конструкции, система имеет механический водоподъемник, в отличие от гравитационной системы. По типу открытости можно различить открытые системы, где используются каналы и лотки, и закрытые, где используются трубопроводы. Также системы различаются по методу орошения: поверхностное орошение, дождевание, рисовое, лиманное, капельное или подпочвенное орошение [52,60,70].

Машины для поверхностного полива в России не получили широкого распространения, так как стране преобладают самотечные безмашинные системы орошения. Однако отечественная промышленность выпускает поливные передвижные агрегаты (ППА) двух разновидностей: для полива по бороздам (хлопчатника и других пропашных культур) и для полива по чекам (риса и сопутствующих ему в севообороте культур). По окончании полива трубопровод отсоединяют от насоса, разъединяют на части и наматывают на барабан, всасывающий трубопровод поднимают и переезжают на новую позицию. С одной позиции поливают 8...10 га. Применение машин позволяет проводить полив из каналов, расположенных в выемках, т. е. ниже поливаемой площади, а, следовательно, существенно сократить объем земляных работ при строительстве оросительной сети [21...28,42].

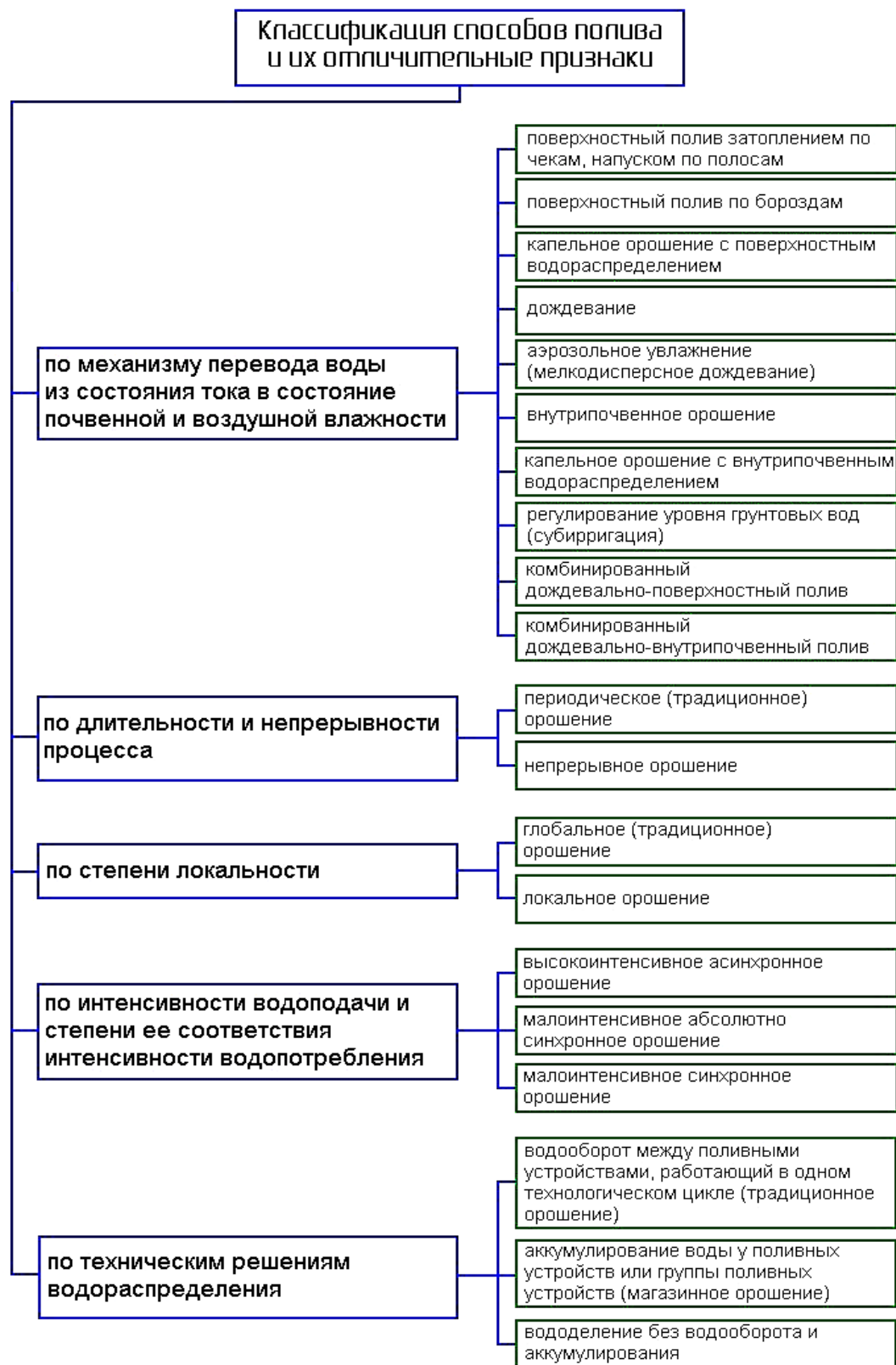


Рисунок 1.2– Классификация способов полива в мелиоративном производстве.

Способы орошения

В настоящее время применяются следующие способы орошения: поверхностное самотечное, дождевание, внутripочвенное, и Микроиpригация (Рисунок 1.2).

1.2.1 Поверхностное самотечное орошение

При поверхностном самотечном орошении воду из постоянных каналов или трубопроводов подают во временную открытую оросительную сеть, а из них в регулирующую сеть (борозды, полосы или чеки). При поверхностном самотечном орошении почва увлажняется путем инфильтрации воды, подаваемой сплошным слоем или потоком на поверхность орошаемого участка.

Виды поливов при самотечном орошении

По технике полива различают: - Полив по бороздам; - Полив по полосам; - Полив затоплением.

Полив по бороздам

Принцип работы: Вода подается в борозду направленным потоком и под действием сил гравитации перемещается по ней. По мере продвижения от начала к концу борозды вода впитывается в почву под действием сил гравитации и капиллярного впитывания.

Область применения: Пропашные, технические культуры, сады и виноградники, расположенные на землях с уклонами местности от 0,001 до 0,05. Виды борозд: мелкие – 8...12 см; средние – 12...16 см; глубокие – 16...22 см; очень глубокие – более 22 см.

Длину борозд рассчитывают и она составляет 60...400 м. Расход воды в борозду определяют из условий подачи и впитывания поливной нормы, он составляет 0,2...2 л/с. Скорость течения воды по борозде не должна превышать размывающую [Герчук, Кондрашов].

Полив по полосам

Принцип работы: Вода подается на полосу сплошным слоем 5-7 см и под действием сил гравитации перемещается по ней. По мере продвижения от начала к концу полосы вода впитывается в почву под действием сил гравитации.

Область применения: Культуры сплошного сева, сады и виноградники, расположенные на землях с уклонами местности до 0,015.

Виды полос: узкие – 1,8... 7,2 м; широкие – 25...40 м.

По полосам поливают культуры узкорядного и сплошного сева. Полосы устраивают по наибольшему уклону местности, поперечный уклон полос недопустим. Полосы разделяют продольными валиками высотой 10...15 см. Ширина полос зависит от степени выровненности поверхности земли и обычно составляет 3,6... 18 м (кратна ширине захвата сеялки). Слой воды в полосе составляет 5...7 см. Длина полос 60...400 м, зависит от уклонов поверхности и проницаемости почв. Расход подаваемой в полосу воды составляет 2...5 л/с на 1 м ширины полосы [Герчук, Кондрашов].

Полив затоплением

Принцип работы: Вода подается в чеки, сплошным слоем 3–20 см и под действием сил гравитации впитывается в почву.

Область применения: Применяется главным образом для орошения риса и луговых трав, а также для промывки засоленных земель с небольшими уклонами (менее 0,002) [Герчук].

Чеки — горизонтальные площадки, окруженные валиками. По чекам поливают затоплением рис и проводят промывки засоленных земель. Площадь чека может быть 0,2...20 га в зависимости от рельефа и возможностей проведения планировочных работ, которые ограничены раз-

мерами срезок и подсыпок почвы при выравнивании поверхности земли. Высота ограждающих валиков зависит от слоя воды в чеке, который составляет 0,05...0,25 м при поливе риса и 0,5...0,7 м – при промывках.

Достоинства поверхностного орошения: многовековой опыт, накопленный человечеством; простота устройства оросительной и поливной сети; малая капиталоемкость и энергоемкость; отсутствие потребности в специальных машинах и дефицитных материалах.

Недостатки – необходимость применения ручного труда; большой объем планировочных работ при сложном микрорельефе местности; потребность в дополнительном рыхлении междурядий, так как после полива образуется почвенная корка; ухудшение воздушного режима почвы; неравномерное увлажнение по площади и глубине; увеличение промываемости почвы и перерасход поливной воды; снижение коэффициента использования земли.

Поверхностный способ полива применяют на территориях со спокойным рельефом, с уклонами 0,0005...0,01, достаточной мощностью почв, при поливных нормах не менее 600 м³/га, на засоленных землях, для влагозарядковых поливов [Кондрашов].

1.2.2 Орошение дождеванием

Дождевание - способ полива растений с применением специальных машин, обеспечивающих поступление на поверхность почвы оросительной воды в виде искусственного дождя.

Среди представленных способов полива, необходимо выделить дождевание, поскольку полив дождеванием имеет ряд важных преимуществ: возможность проведения более частых поливов заданными нормами с увлажнением почвы на определенную глубину, что важно при орошении земель с близким расположением грунтовых вод и засоленного горизонта;

возможность орошения при сложном микрорельефе с менее тщательной планировкой полей; сохранение структуры почвы при небольшой интенсивности дождя; увлажнение не только почвы, но и приземного слоя воздуха; возможность полной механизации и автоматизации полива [Слюсаренко].

Машины для полива дождеванием. Так как орошение стало распространяться в зонах с недостаточным, средним и даже избыточным увлажнением, где оно служит как бы дополнением к естественным осадкам в засушливые периоды, все большее применение стали находить дождевальные машины, позволяющие проводить полив с малыми нормами. Путем частых поливов с небольшими поливными нормами можно поддерживать влажность почвы, близкой к оптимальной, а, следовательно, создавать условия, более благоприятные для роста и развития растений, и повышать их урожайность.

Дождевательные устройства можно классифицировать следующим образом:

- по радиусу разбрызгивания – на короткоструйные ($R \leq 10$ м), среднеструйные ($R = 20 \dots 40$ м) и дальнеструйные ($R > 40$ м);
- по создаваемому напору – на низконапорные (до 30 м) и высоконапорные (более 30 м);
- по принципу проведения полива – на стационарно расположенные на одной позиции (с неподвижными дефлекторными насадками или с вращающимися вокруг вертикальной оси струйными насадками) и проводящие полив в движении;
- по типу оросительной сети – на работающие от закрытой и открытой оросительной сети;

- по созданию необходимого напора – за счет специальных насосных станций; напора создаваемого в сети за счет насосов, смонтированных в одном агрегате с дождевальными устройствами или естественного напора в самонапорных трубопроводах;

- по перемещению на поливном участке – на самоходные, перемещаемые по полю вручную (перекатываемые колесные трубопроводы), перемещаемые волоком и перекатываемые на колесах с помощью механической тяги.

Дождевальные машины бывают дальнеструйные, Фронтальные, круговые. Основные отличия между машинами заключаются в принципе действия агрегатов.

Дальнеструйные Дождевальные машины : Все оборудование смонтировано на специальной раме, навешиваемой на трактор. Привод насоса и вращение дождевального аппарата осуществляется через редуктор от вала отбора мощности трактора.

Фронтальные дождевальные машины предназначены для полива прямоугольных и длинных полей. Вся конструкция с помощью электродвигателей линейно перемещается вдоль орошаемого участка.

Круговые Дождевальные машины:

В круговых дождевальных машинах один конец жестко зафиксирован, а вся остальная конструкция двигается с помощью колес с электро-моторным приводом по часовой стрелке. В том месте где фиксируется центральная опора-башня осуществляется подключение к источнику вода.

Дождевальная система, как правило, состоит из трех основных элементов: насосной станции; магистральных и распределительных трубопроводов; дождевальных агрегатов, машин и установок, преобразующих водный поток в дождевые капли и распределяющих их по

поверхности поля. При орошении дождеванием воду на поле подают обычно по напорным трубопроводам, а затем ее распыляют в виде искусственного дождя над орошаемой площадью с помощью дождевальных машин и установок, увлажняя не только почву, но и наземные части растений [10..18, 20...25]



Рисунок 1.3 – Круговые Дождевальные машины



Рисунок 1.4 – Передвижные барабанные установки



Рисунок 1.5 – Рабочие органы дождевальных машин - Передвижных барабанных установки

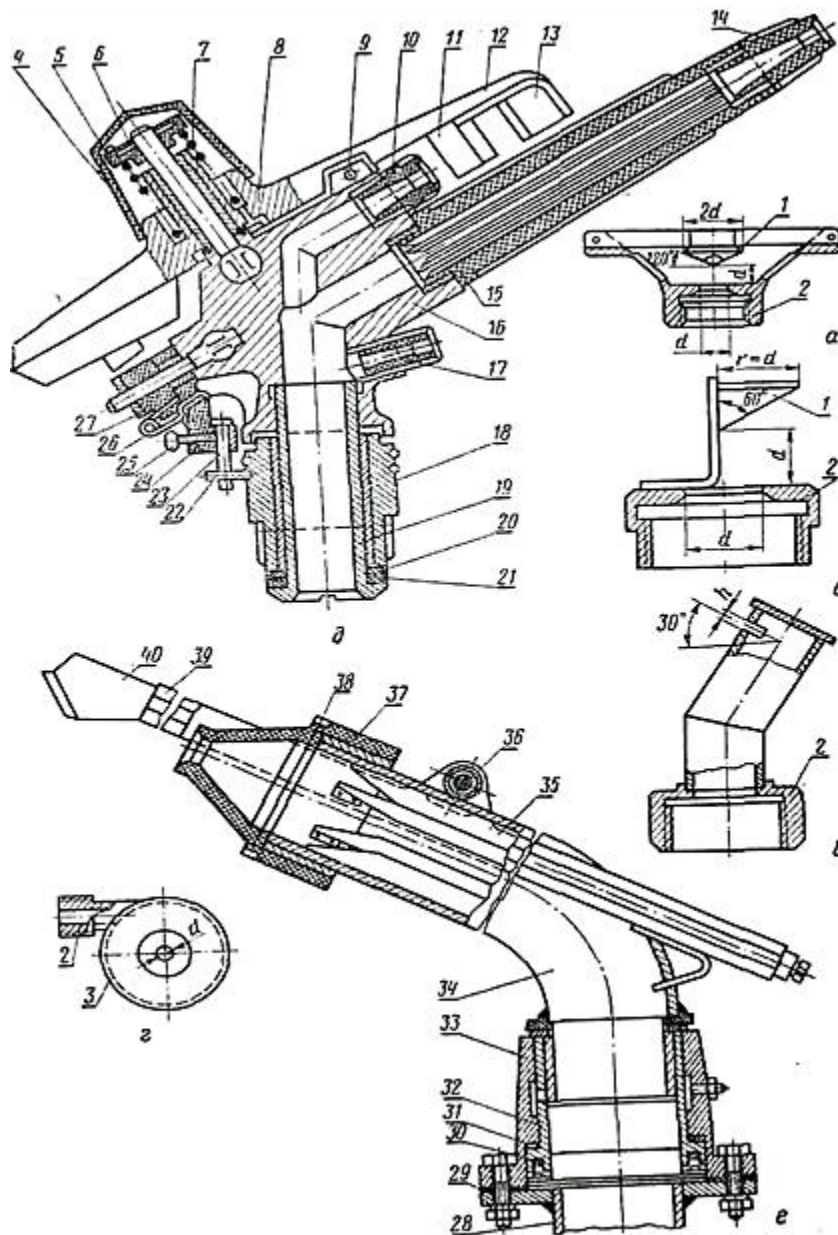


Рисунок 1.6 – Рабочие органы дождевальных машин и установок

а, б, в и г — короткоструйные насадки: дефлекторная, половинчатая, щелевая, центробежная; *е* — одноструйный и дальнеструйный дождевальные аппараты;

1—дефлектор; 2 — корпус; 3—верхняя Крышка; 4 — колпачок; 5 — фиксатор; 6 — штифт; 7—пружина; 8—фторопластовая шайба; 9 — упор; 10 — сопло; 11 и 13 — лопатки; 12 — коромысло; 14 — сопло; 15 — ствол; 16 — корпус; 17 — сопло; 18 — основание; 19 — стакан; 20—резиновая шайба; 21—фторопластовая шайба; 22—упорное кольцо; 23—стержень; 24 — рычаг; 25 — стопорный винт; 26—пружина; 27—упор; 28—фланец; 29 и 30 — прокладки; 31 — манжета; 32 — упорная шайба; 33 — втулка; 34 — корпус; 35 — ствол; 36 — выпрямитель; 37 — ось коромысла; 38 — сопло; 39 — коромысло; 40 — лопатка.

Передвижные барабанные установки

В настоящее время передвижные барабанные установки (Рисунок 1.4) становятся идеальной техникой полива на площадях малого и среднего размера. Высокая мобильность, возможность работы с неочищенной водой, использование различных комбинаций распылительных насадок и консольных оросителей делают их универсальным поливным устройством.

Полив дождеванием должен соответствовать следующим требованиям:

Полив дождеванием необходимо проводить с учетом допустимой интенсивности дождя, которая обеспечивает в данных условиях подачу требуемой нормы полива без стока воды. Допустимая интенсивность для различных технологий дождевания определяется экспериментально, а в зависимости от типа почвы и уклона местности во избежание стока воды и развития эрозионных процессов [Слюсаренко].

Техника орошения при поливе дождеванием должна обеспечивать:

- исключение потерь воды на сброс и глубинную фильтрацию с повышением КПД техники орошения до максимально возможного значения (0,98);
- высокое качество технологического процесса полива за счет равномерного распределения воды по всей орошаемой площади,

исключения лужеобразования от стока воды по поверхности, а также нарушения структуры и ухудшения водно-физических и физико-механических свойств почвы;

- малоинтенсивное длительное и положительное воздействие на растения, почву и приземный слой воздуха за счет снижения интенсивности водоподачи в соответствии с водопотреблением;
- высокую надежность технологического процесса полива и доведение коэффициента готовности дождевальной техники до 0,98...1, исключение аварийных сбросов воды;
- дозированное внесение вместе с поливной водой минеральных и органических удобрений, микроэлементов и химмелиорантов для восстановления и повышения естественного плодородия почв;
- оперативное управление поливом, оптимизацию и строгое выдерживание сроков и норм полива с учетом складывающихся погодных условий на основе использования современных средств автоматизации и микропроцессорной техники.
- время начала орошения и нормы полива в хозяйствах должны быть в зависимости от содержания влаги в почве (оперативные управление),
- равномерное распределение дождя по площади;
- структура дождя такова, что поверхностный слой почвы не разрушается, не образуются лужи, сток и почвенная корка;
- средний диаметр капель дождя 1—2 мм;
- не допускается повреждение растений во время орошения [Герчук, Слюсаренко].

Достоинства и недостатки орошения дождеванием

Достоинства:

орошение дождеванием, Это один из наиболее совершенных и перспективных способов полива. Его достоинства: улучшение микроклимата орошаемой территории; возможность поддерживать в оптимальных пределах влажность не только почвы, но и воздуха; механизация и автоматизация полива; повышение производительности труда; возможность точного регулирования поливных норм и глубины увлажнения почвы; снижение глубинной фильтрации поливной воды; равномерность полива по площади; применимость на участках с большими уклонами ($> 0,03$) и со сложным микрорельефом; снижение требований к планировке полей; улучшение условий механизации сельскохозяйственных работ; сохранение структуры почвы при соответствующем качестве дождя; возможность внесения удобрений с поливной водой; высокий коэффициент земельного использования [Кондрашов].

- Механизация и автоматизация полива;
- Сохранение структуры почвы;
- Мобильность и оперативность при необходимости частых поливов;
- Возможность орошения участков со сложным рельефом;
- Снижение температуры приземного слоя воздуха во время полива;
- Высокий коэффициент земельного использования;
- Возможность проведения противозаморозковых и теплотельных поливов;
- Внесение удобрений вместе с оросительной водой [Герчук];

Недостатки:

- Недостатки – высокие затраты металла (Рисунок 1.3...1.6) на изготовление дождевальных устройств (40...110 кг/га); большая энергоёмкость процесса дождевания (40... 100 кВт/ч на 1 полив при

поливной норме 300 м³/га); отрицательное влияние ветра на качество дождя и равномерность его распределения по площади полива (при скорости ветра > 3...4 м/с); необходимость очистки воды от наносов [Кондрашов].

- Потребность в механической энергии для создания искусственного дождя;
- Высокая стоимость оросительной техники;
- Высокие затраты на эксплуатацию дождевальной техники.
- Влияние ветра на качество дождя и равномерность его распределения;
- Необходимость в перемещении дождевальной техники в процессе полива.
- Под общим понятием эрозии почвы подразумеваются многообразные и широко распространенные явления разрушения и сноса почв и рыхлых пород потоками воды и ветра [Герчук].

Орошение сельскохозяйственных культур дождеванием в степном Заволжье во многих случаях вызывает поверхностный сток оросительной воды и ирригационную эрозию почв. В среднем величина поверхностного стока при оросительной норме 600 м³/га в зависимости от типа дождевальных машин, сельскохозяйственной культуры и уклона поля составляет 20...45% от водоподачи. При этом ухудшаются водно-физические и агрохимические свойства почв, существенно снижается их плодородие. Кроме того, уменьшается коэффициент использования поливной воды, увеличиваются затраты на ее подачу, снижается эффективность полива. Основной причиной этого, является несогласованность режима орошения и технологии полива дождеванием с

природными и агротехническими условиями орошаемого участка [Слюсаренко].

Основная опасность поверхностного стока заключается в том, что вместе с водой происходит смыв почвы и вынос питательных веществ. Наибольший поверхностный сток, разрушение и смыв почвы происходит на ранних стадиях развития растений, когда почва почти незащищена от воздействия воды. Например, на ранних стадиях развития кукурузы твердый сток формируется при поливной норме 200–300 м³/га, на стадиях выбрасывания метелок, цветения и налива зерна – при 400 м³/га. При средней поливной норме 400 м³/га смыв почвы составляет в среднем 0,06 т/га в год, а при больших нормах полива – 0,3...0,4 т/га.

При поливе дождеванием в механике эрозионных процессов важно знать соотношение капельной и ливневой поверхностной эрозии, роль ударов дождевых капель и склоновых микропотоков в транспорте почвенных частиц. В случае аварийной остановки дождевальной машины, когда происходит интенсивный поверхностный сток отдельно рассматривать капельную эрозию, которая определяет эродируемость почв при отсутствии поверхностного стока, нецелесообразно [Слюсаренко].

1.2.3 микроиригационные системы (системы малообъемного орошения)

Водообеспечение орошаемого земледелия требует разработки конструкций оросительных систем и технологий полива, направленных на снижение объемов водопотребления и решение проблем природоохраны. Технологический уровень гидромелиоративных систем нужно повышать на основе ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур и эксплуатации гидромелиоративных систем. В первую очередь, речь идет о технологиях, которые обеспечивают потребителей водой необходимого качества в требуемом

количестве с максимальной эффективностью использования дефицитных водных ресурсов [Кирейчева].

В настоящее время — в основном - распространены такие способы и техника полива, которые регулируют водный режим путем периодической подачи и накопления воды в почве. Наряду с этим получили распространение способы и техника полива, подающие растениям такое количество воды, которое ежедневно расходуется ими [Багров].

В условиях растущего дефицита водных ресурсов перспективными становятся те способы орошения, которые обеспечивают и экономное расходование воды, и возможность подачи вместе с ней питательных веществ непосредственно в зону расположения корневой системы растения [Храброе]. Такими преимуществами обладают малообъемные способы орошения, к числу которых принято относить следующие: капельный, микродождевание, внутripочвенный, мелкодисперсное дождевание, синхронное импульсное дождевание. Все они эффективны при поливах различных культур на любых почвах, в том числе и там, где прочие способы орошения практически не применимы (малопродуктивные почвы, изрезанный рельеф, крутые склоны).

Применение малообъемного орошения позволяет поднять коэффициент земельного использования до 95 %, а значительное уменьшение либо полное отсутствие непродуктивных водопотерь на испарение, фильтрацию и поверхностные сбросы характеризуют его как безотходную, экологически безопасную технологию полива.

Каждый из указанных выше способов имеет свои собственные, характерные только для него особенности, которые требуется учитывать при проектировании оросительных систем на основе модульных участков и создании соответствующих технологий полива.

Микроиригация определяется как частое внесение небольших количеств воды на поверхность почвы или под ней в виде капель, крошечных струй или миниатюрных брызг через капельницы или аппликаторы, расположенные вдоль линии подачи воды. Вода отводится из распределительной сети труб под низким давлением по заранее определенной схеме. Выходное устройство, которое выпускает воду в почву называется эмиттером. Системы доставляют воду отдельным растениям или рядам растений. Выходы расположены через короткие промежутки вдоль небольших трубок, и поливается только почва рядом с растением. Микроиригация включает в себя ряд методов или концепций, таких как капельное орошение, внутрипочвенное капельное орошение, локально-импульсный полив и мелкодисперсное орошение [USDA].

При малообъемных способах орошения поддержание оптимального уровня влажности почвы в течение вегетации обеспечивает получение максимального, экономически оправданного урожая сельскохозяйственных культур. Распространение влаги в почвенном профиле происходит одновременно вниз (под действием гравитации) и в стороны за счет капиллярного переноса, в результате чего контур увлажнения приобретает форму, близкую к эллипсу. Корневая система — в основном — не распространяется за пределы сформировавшегося контура. В связи с тем, что при капельном орошении контур увлажнения на легких почвах не создает необходимого объема зоны увлажнения для развития корневой системы некоторых культур, то в таких грунтах целесообразнее применять микродождевание, чтобы обеспечить распространение влаги по площади. В результате контур увлажнения почвы будет соответствовать распространению основной части корневой массы растений и приобретет форму, близкую к цилиндру, что позволит достичь экономии поливной воды

до 30 % при микродождевании и до 50 % при капельном орошении с повышением урожайности на 20...30 % [Храброе].

При **внутрипочвенном орошении** воду на поле подают по каналам или трубопроводам, из которых она поступает в перфорированные трубы, лотки или кротовины, устроенные на небольшой глубине от поверхности земли, увлажняя активный слой почвы за счет капиллярных сил и всасывающей способности почвы [Герчук].

преимущества Внутрипочвенного орошения следующие: отсутствие оросительной сети на поверхности земли и препятствий для сельскохозяйственных работ; высокий коэффициент земельного использования (0,98...0,99); сохранение структуры почвы и хорошая ее аэрация за счет увлажнения капиллярным путем; снижение потерь воды на испарение; процесс полива в значительной степени автоматизирован и менее трудоемок; уменьшение числа обработок почвы; возможность подачи растворенных удобрений и мелиорантов; санитарно-гигиеническая безопасность и более высокая экологичность при орошении сточными водами по сравнению с другими способами полива.

Недостатки – невозможность регулирования микроклимата над полем и увлажнения надземной части растений; ухудшение всхожести семян из-за недоувлажнения верхних 10 см почвы, особенно при засушливой весне; значительные потери на глубинную фильтрацию в легких грунтах; техническое несовершенство конструкции системы, приводящее к неравномерности увлажнения поверхности поля; недоступность для непосредственных наблюдений за работой увлажнителей и для ремонтов регулирующей сети; ненадежность и недолговечность кротовых увлажнителей; опасность засоления верхнего слоя почвы при наличии солей в подпахотном слое; сложность и высокая стоимость строительства систем.

Внутрипочвенное орошение целесообразно применять на местности с уклоном по длине увлажнителя не более 0,01; на засоленных почвах со скоростью капиллярного поднятия не менее 0,5 мм/мин; для орошения сточными водами [19].

При **мелкодисперсном орошении** производится увлажнение наземной части растений, приземного слоя воздуха и поверхности почвы мелкими каплями воды с целью регулирования микроклимата. Защита растений от заморозков с помощью мелкодисперсного и аэрозольного орошения основана на повышении температуры приземного слоя воздуха или растений, которое осуществляется за счет тепла, выделяемого при переходе воды из одного физического состояния в другое. Мелкораспыленная вода (диаметр капель не более 500 мкм), не скатывается с листа на почву, а испаряется, замерзает непосредственно на поверхности растений или в атмосфере и охлаждая при этом и лист, и воздух (Рисунок 1.7).



Рисунок 1.7– мелкодисперсное орошение

1.3 Системы капельного орошения - преимущества и недостатки

При капельном орошении воду к растениям подводят по расположенным в рядах или междурядьях полиэтиленовым трубкам со специальными микроводовыпусками (капельницами) в корнеобитаемую зону растений.

Система капельного орошения — это целый комплекс различных технологических звеньев, взаимосвязанных между собой системой трубопроводной сети, последним звеном которой является капельница. Из нее вода порциями в виде капель или струй подается на поверхность почвы к штамбу растения, откуда она просачивается в его активный корнеобитаемый слой. В этом и заключается оригинальность данного вида орошения и отличие от других способов полива [10,13].

Строительство систем капельного орошения (СКО) требует сравнительно высоких капиталовложений, поэтому в настоящее время рекомендуется применять этот способ для высокорентабельных культур в условиях, когда применение прочих способов орошения затруднено объективными причинами (значительные уклоны местности, дефицит водных ресурсов). Использование такого способа полива должно быть подтверждено технико-экономическими расчетами, проводить которые необходимо в соответствии с «Инструкцией (методикой) по определению экономической эффективности капитальных вложений в орошение и осушение земель и обводнение пастбищ» [СНиП].

Экономия поливной воды достигается также исключением ее непроизводительных затрат и потерь, поскольку локальный характер увлажнения ограниченного объема почвы исключает расходование воды на смачивание поверхности междурядий [Ионова]. Установлено, что в молодом

саду увлажняемая площадь может быть уменьшена до 10 % поверхности почвы, в то время как в плодоносящем саду она не превышает 30-35 % [4].

При капельном орошении практически не наблюдается потерь воды на сток и сброс, которые при поверхностном поливе могут достигать 30-40 % оросительной нормы (Рисунок 1.8, 1.9). Отсутствие поверхностного стока исключает появление ирригационной эрозии почвы, наносящей урон ее плодородию при поверхностном поливе и дождевании. Очень ограничены потери воды на фильтрацию ниже корнеобитаемого слоя и на испарение. При капельном поливе не происходит сноса воды ветром, что наблюдается при дождевании и составляет от 10 до 20 % оросительной нормы [Угрюмов, Федорец].

По данным обследований СКО, действующих в США, Израиле, Австралии и других государствах, снижение затрат воды составляет от 30 до 50 %. Экономное расходование оросительной воды обеспечивает высокую эффективность систем: КПД- 0,8...0,95 по сравнению с 0,5...0,6 и 0,7...0,8 при использовании поверхностных и дождевальных систем соответственно [en].

Медленная подача воды в зону корнеобитания способствует формированию оптимального водно-воздушного режима, поддержанию его на относительно постоянном уровне без периодической смены циклов переувлажнения и высыхания почвы от полива до полива. Все это положительно влияет на рост и развитие растений, позволяя получать при значительной экономии воды большие урожаи, чем при дождевании или поверхностном поливе. При этом наблюдается улучшение качества продукции, более ранние сроки созревания урожая, благоприятные условия уборки благодаря сухим междурядьям [Плугарь, Сабиров].

Еще одним важным преимуществом СКО является создание относительного экологического равновесия участка, которое выражается в

восполнении питательных веществ почвы, выносимых из нее с урожаем, путем внесения минеральных удобрений, растворенных в оросительной воде [Голованов].



Рисунок 1.8 – Применение капельного орошения в теплицах



Рисунок 1.9 – Капельное орошение экономит воду, добавляя воду непосредственно в корневую зону растения, орошаются только участки, близкие к капельницам

Локальный полив, подающий воду в затененную часть почвы, обеспечивает угнетение сорной растительности и облегчает борьбу с ней. Уменьшение доли увлажняемой площади сохраняет в почве большой запас влаги, поскольку снижает испарение с почвенной поверхности. Это же предохраняет почву от вторичного засоления пахотного горизонта при высоком залегании грунтовых вод.

Применение капельного орошения полностью исключает ирригационную эрозию, что делает возможным использование его на землях с пересеченным рельефом, даже на крутых склонах (до 50° ... 60°), где не приемлемы другие способы полива. Возможно использовать СКО на участках неправильной конфигурации [Акопов, Кулинич, Олейник].

Одним из главенствующих преимуществ капельных систем становится их низкая энергоемкость, поскольку они работают при малом давлении от 1,5 до 20 м, и их строительство не требует металлических высоконапорных труб. Энергозатраты на подачу воды не превышают 10 % энергозатрат на дождевание и 50 % на поверхностный полив [En].

При капельном поливе широко распространено внесение питательных веществ с поливной водой, что дает до 50 % экономии удобрений по сравнению с внесением вразброс и значительно снижает затраты энергии и средств на их применение [En].

Капельные системы отличаются стационарностью и сравнительной легкостью в автоматизации, что уменьшает затраты труда по сравнению с традиционными способами полива [en].

Наряду с многочисленными преимуществами, СКО характеризуются целым рядом недостатков, которые препятствуют их широкому внедрению. Одним из самых существенных становится засорение водовыпусков и трубопроводов, что приводит к снижению равномерности водораспределения. Нарушения в работе систем могут быть связаны с разложением пластмассовых труб под воздействием солнечной радиации, а также с порчей их грызунами [Федорец].

Использование капельных систем не дает возможности регулировать микроклимат поля с помощью орошения. Еще одним недостатком становится опасность очагового засоления почв, особенно при поливе водой повышенной минерализации [en].

Одним из самых больших препятствий распространению СКО является их высокая стоимость, особенно по сравнению с поверхностными поливами. Стоимость же капельных систем в сравнении со стационарными дождевальными практически одинакова либо немногим меньше [Штепа].

Тем не менее, СКО стабильны в отношении экологических изменений при антропогенном воздействии, а это означает, что на таких системах экологический контроль может осуществляться более эффективно и оперативно, чем на других типах оросительных систем [33].

1.4 Конструкция и принцип работы систем капельного орошения

При капельном орошении вода подается под давлением через систему трубопроводов на поля, где она медленно капает на почву через капельницы, расположенные рядом с растениями. Главной особенностью капельного орошения является равномерная подача воды непосредственно каждому растению на протяжении всего вегетационного периода в соответствии с его потребностью в воде.

Системы капельного орошения состоят из трех основных компонентов:

1. Устройств непосредственно подающих воду к растениям (капельницы).
2. Устройств Система распределения и фильтрации воды при капельном поливе.
3. Устройств контроля работы системы капельного орошения (рисунки 1.10...1.13).

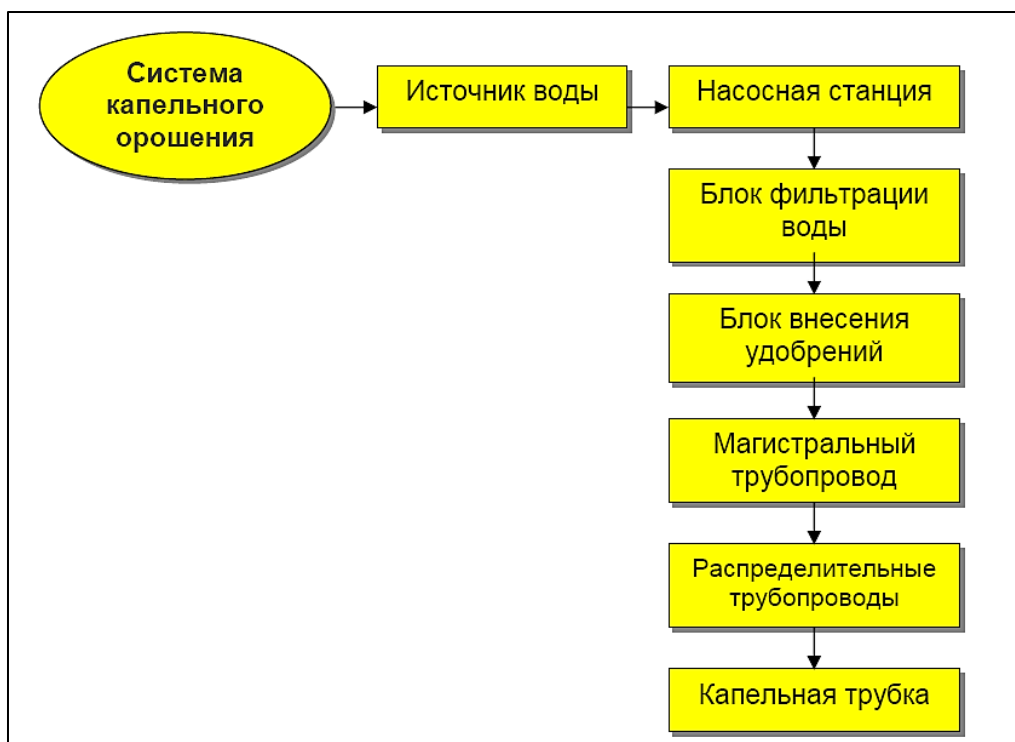


Рисунок 1.10 – Структура системы капельного орошения - основные компоненты

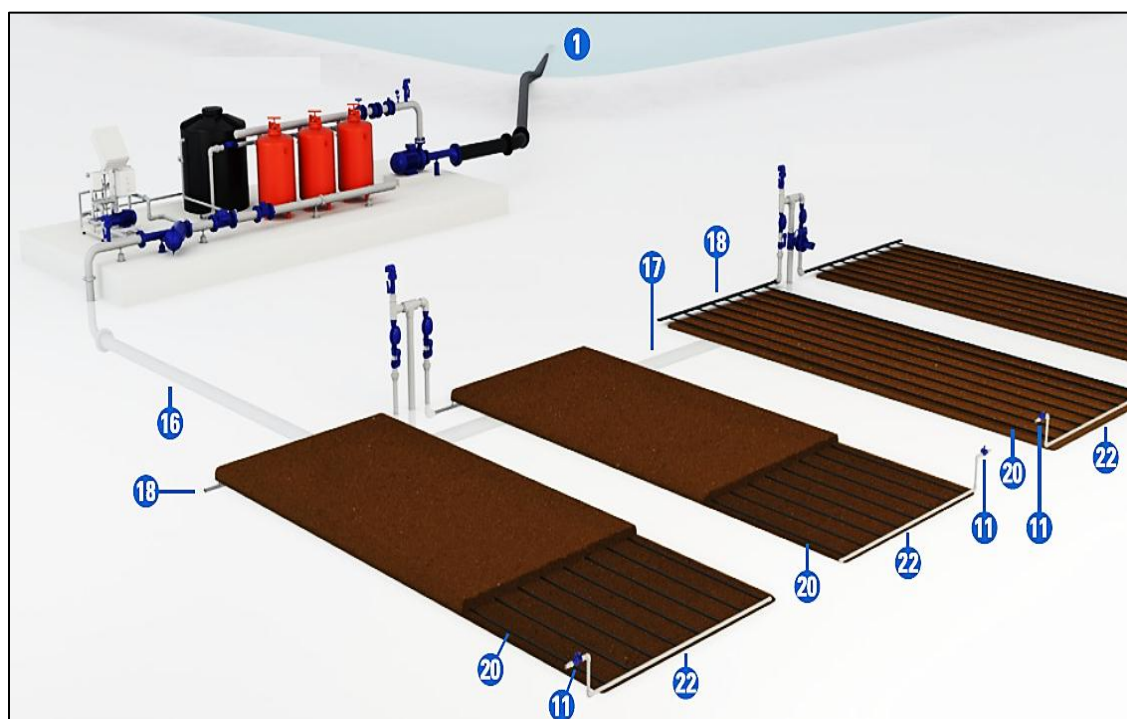


Рисунок 1.11– Структура системы капельного орошения

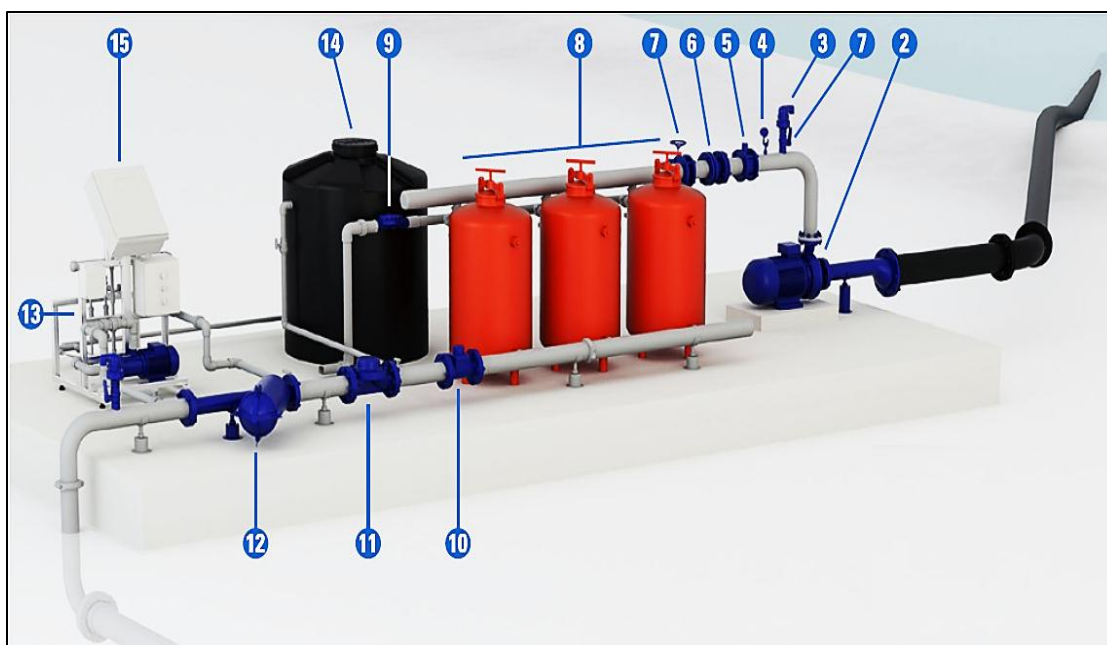


Рисунок 1.12– Блок контроля (прибор управления) капельного орошения

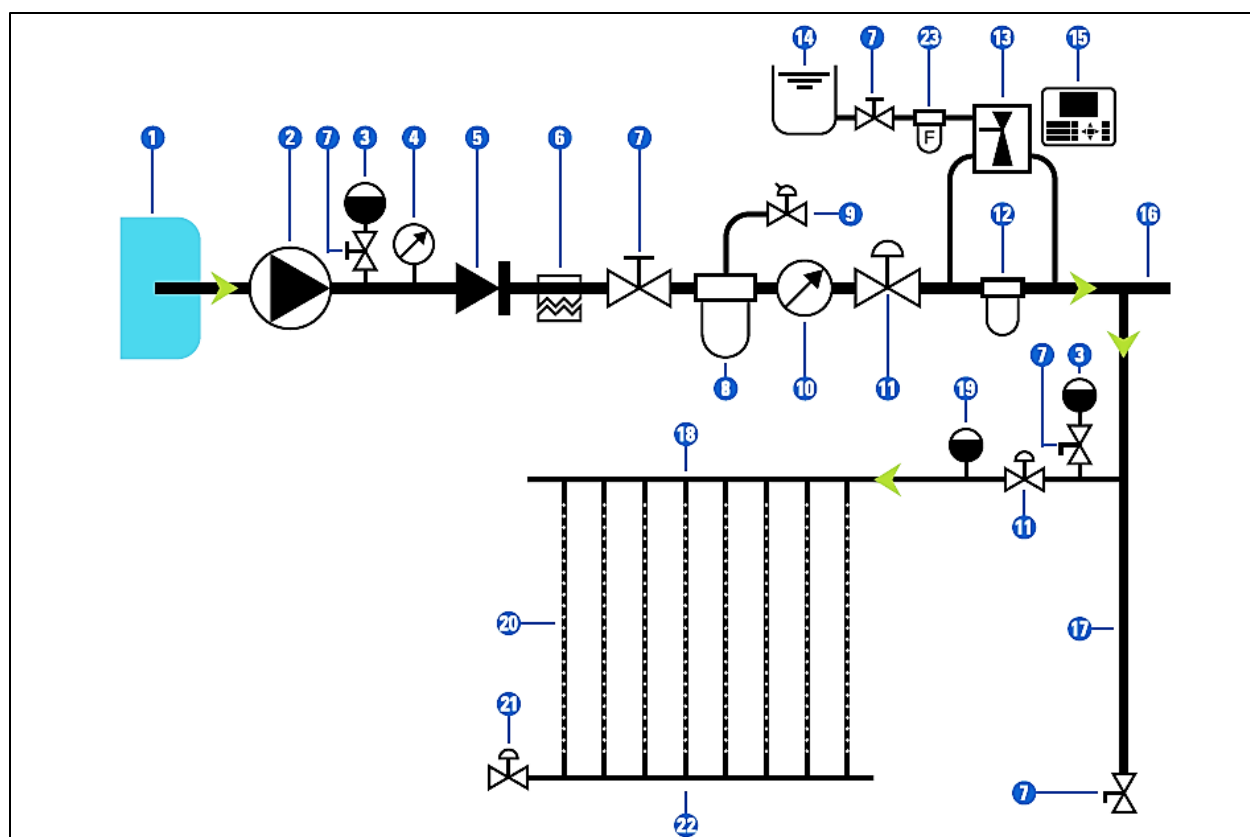


Рисунок 1.13 – Схема системы капельного орошения

1 - Источник воды; 2- Насос; 3 - Воздушный клапан; 4 - Манометр; 5 - клапан невозвратного типа; 6 - Амортизатор; 7 - Ручной клапан; 8 - Главный блок фильтрации воды; 9 - Главный фильтр автоматический дренажный клапан; 10 - Водомер; 11 - Гидравлический клапан; 12 - Вторичный блок фильтрации Манометр; 13 - Устройство для внесения удобрений; 14 - Емкость для жидких удобрений; 15 - Контроллер орошения; 16 - Магистральный трубопровод; 17 - Трубопровод второго порядка; 18 - Распределительный трубопровод; 19 - Кинетический воздушный клапан; 20 - Капельная трубка (лента); 21 - Промывочный клапан; 22 - Промывочный коллектор; 23 - Фильтр для удобрений

Устройств непосредственно подающих воду к растениям

Выделяют такие основные компоненты подачи воды к растениям: Капельная лента, Наружная капельница, Встроенная/ вставная регулируемая капельница, Увлажнитель, и Микро распылитель.

Капельная лента - Капельная лента состоит из набора относительно недорогих капельниц, встроенных в тонкостенную трубку. Вода равномерно подается к растениям вдоль всей трубки через встроенные капельницы (эмиттеры), которые могут быть расположены на расстоянии от 10 см. до 60 см. друг от друга. Для того чтобы использовать капельную ленту при орошении различных культур и при различном ландшафте местности, доступны капельные трубки с толщиной стенок от 0.1 до 0.4 мм, расходом капельницы от 0.3 до 1.5 литров в час (Рисунок 1.14, 1.15).



Рисунок 1.14 – Вьюрки шланга капельной ленты



Рисунок 1.15– поперечное сечение, показывающее встроенные капельницы в тонкостенную трубку

Капельная лента выпускается как в стандартных моделях, так и в моделях для повышенного давления (компенсации давления), и используется для орошения овощей, садовых и полевых культур. Капельная лента может устанавливаться как над землей, так под ней, также может использоваться в течении нескольких сезонов со сборкой в конце сезона или с оставлением в грунте на зиму. Капельная лента относительно недорогая и устанавливается собственными силами без привлечения профессионалов[4,5].

Наружная капельница - Наружная капельница является маленьким пластиковым устройством, через которое подаются небольшие порции воды непосредственно к корню растения. Вода к капельницам подается через ПВХ трубки. Таким образом вода просачивается в почву к корневой системе через капиллярные потоки и образуется увлажненная область вокруг корня растения, размер которой зависит от типа почвы, расхода воды и ирригационного графика.



Рисунок 1.16 – Наружные капельницы с компенсацией давления



Рисунок 1.17– Наружные капельницы без компенсации давления

Наружная капельница прикрепляется к стенке шланга (капельной трубки) при помощи специальных зубцов на капельнице, вставленных в заранее проделанное (специальным дыроколом) отверстие в стенке капельной трубки. Наружные капельницы имеют преимущество перед другими способами полива, так как установка капельницы в трубку возможна в любом месте (на любом расстоянии друг от друга), где это необходимо для растения. Основным недостатком является то, что нужно каждую капельницу вручную вставлять в капельную трубку. Несмотря на способность капельницы к само очистке, этот процесс не является полноценной альтернативой для постоянной фильтрации и обслуживания системы капельного орошения. Системы капельного орошения могут использовать сотни или даже тысячи капельниц (эмиттеров) и такое количество крайне затруднительно устанавливать вручную. Поэтому наружные капельницы больше применяются на относительно не больших участках (Рисунок 1.16, 1.17).

Встроенная/ вставная регулируемая капельница

Встроенные/ вставные регулируемые капельницы (Рисунок 1.18), состоят из маленьких пластиковых устройств эмиссии, с функциями по аналогии с наружными капельницами, но в этой конфигурации они предварительно вставлены в ПВХ шланг капельной трубки в определенных интервалах между собой. Эмиттеры могут быть цилиндрическими или плоскими “в форме лодки”, и прикрепляются к стене капельной трубки с помощью контролируемого процесса нагревания. Экономия рабочей силы при установке такой капельницы будет значительна, так как они уже предварительно вставлены в капельную трубку. Такая конструкция, также как и наружные капельницы, позволяет гибко планировать количество и

расстояние между капельницами, так как дополнительные эмиттеры могут легко быть добавлены в капельную трубку при необходимости.

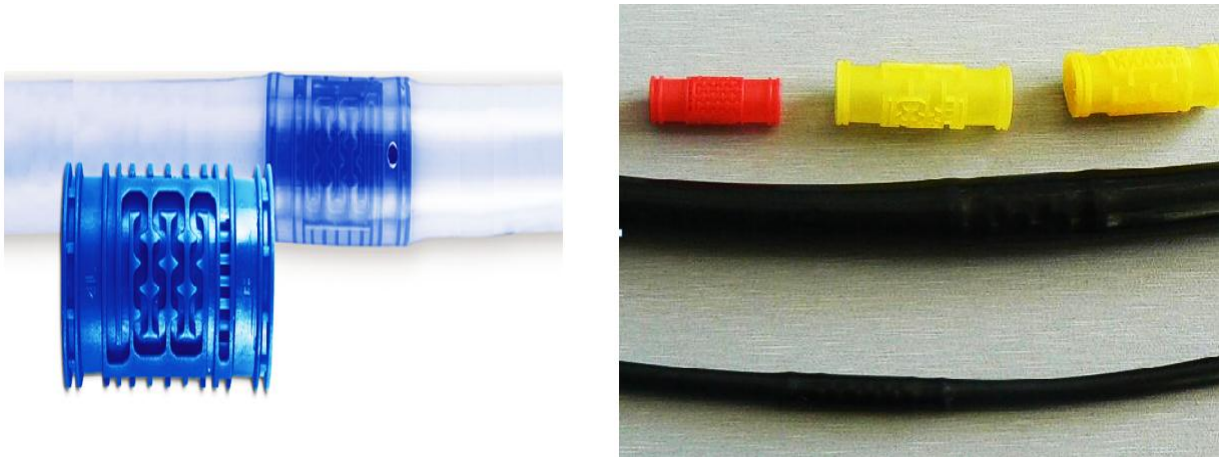


Рисунок 1.18 – Встроенные капельницы

Основным недостатком такой технологии является то, что капельницы могут быть изначально там где в них нет необходимости, и это уже не исправить. В отличие от других технологий капельного полива, встроенная регулируемая капельница может быть установлена под землей и поверхность почвы при этом останется сухой.

Качественное конструктивное исполнение капельниц и гидравлические характеристики являются двумя основными факторами, которые влияют на распределение воды в системах капельного орошения. Вода выходит через очень маленькие отверстия в капельницах (обычно диаметром менее 2 мм), и, следовательно, небольшое отклонение в диаметре в результате производственного несовершенства может привести к большим отклонениям в объёмных расходах [15]. В дополнение к качеству изготовления капельниц особое влияние на равномерность распределения воды оказывают следующие параметры: рабочее давление, расстояние между капельницами, размер и длина боковой линии, гидравлические характеристики потока (например, трение и т.п.) [16].

Тестирование и валидация (верификация) системы капельного полива является интегральным шагом на пути к оценке эффективности технологии с точки зрения оптимизации эффективности использования воды и минимизации потерь воды в орошаемых системах земледелия. Системы капельного орошения могут быть оценены в лабораторных условиях или на местах (в полевых условиях). Например, оценка коэффициента изменчивости производительности относительно расхода воды через капельную ленту, обычно требует высокой степени точности, и, следовательно, необходимо проводить эксперименты в лабораторных условиях, где условия окружающей среды, такие как ветер и температуру можно легко контролировать [13, 15 paper lab eval.].

Недостатки рассмотренных нами экспериментальных установок для лабораторной оценки капельного орошения заключаются в том, что в них не имеется возможности учитывать изменения давления между линиями капельниц в одном и том же блоке.

В полевых условиях у капельниц, находящихся в линии ближе к насосу или в низинах, давление будет больше, следовательно может происходить избыточный полив. А у капельниц, которые расположены на линии дальше от насоса или в возвышенностях, давление может быть не достаточным для эффективной работы капельниц.

В целях увеличения функциональной способности экспериментальной установки (имитации полевых условий: неравномерность рельефа поля, отдаленности линии от насоса и т.п.), нами предлагается установить регуляторы давления в начале каждой боковой линии. С помощью регуляторов входное давление каждой линии может быть изменено, независимо от расположения, длины или количество линий.

Так же, в автоматизированных интеллектуальных системах капельного орошения на основе датчиков влажности почвы, датчики непрерывно измеряют влажность почвы и отправляют измеренные значения в контроллер. На основании заданного содержания влаги в почве; микроконтроллер открывает или закрывает электромагнитные клапаны индивидуально, когда достигается пороговое значение. Внезапное закрытие некоторых электромагнитных клапанов приводит к чрезмерному увеличению давления в других открытых / рабочих клапанах, что может привести к повреждению соединений между капельными линиями и коллектором (Рисунок 1.19 и 1.20). Это экстремальное давление также приводит к увеличению расхода капельниц, что, в свою очередь, приводит к неравномерному распределению воды.



Рисунок 1.19 – Разрыв соединения между капельной линией и коллектором (манифолд) из-за повышения давления, что приводит к переувлажнению (заболачиванию) области в начале капельной линии и недостаточному подаче воды в конце линии.



Рисунок 1.20 – переподключение капельной линии к многообразию (манифолду) во время полива

1.5 Классификация датчиков влажности почвы, используемых для планирования и оперативного управления поливом

Планирование и оперативное управление ирригации определяется как частота подачи и объема воды, подаваемой во время полива. Существуют различные подходы к системе ирригации, в том числе основанные на подходе к водному балансу, измерениям влажности почвы, растительным стрессам и т.д. Научно-техническое планирование и управление ирригации экономит воду, защищает растение от водного стресса, предотвращает выщелачивание удобрений и экономит затраты на энергию. При управлении орошением необходимо обеспечить поддержание влажности почвы в пределах

оптимального диапазона, обеспечивающего планируемую продуктивность агроценозов, а также экономное использование воды, материально-технических, энергетических и информационных ресурсов [11...14].

В северной части штата Небраска (США) планирование и оперативное управление орошения привело к снижению потребляемой энергии на 17%, воды на 11%, по сравнению с применением механических регуляторов в системе водопотребления [14].

Целесообразен мониторинг содержания воды в почве и регулирование её поступления к растениям только по необходимости. Следует контролировать уровень влажности почвы во избежание затопления растений. Чрезмерное орошение, приводит к перерасходу воды, способствует вымыванию минеральных веществ из почвы и ограничивает дыхание корней, что, в свою очередь, может привести к задержке роста растений [2].

Датчики являются элементом технических систем, предназначенных для измерения, сигнализации, регулирования, управления устройствами или процессами. Датчики преобразуют контролируемую величину (давление, температура, расход, концентрация, частота, скорость, перемещение, напряжение, электрический ток и т. п.) в сигнал (электрический, оптический, пневматический), удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации информации о состоянии объекта измерений [En].

Датчики влажности почвы измеряют объемное содержание воды в почве. Поскольку прямое гравиметрическое измерение свободной влажности почвы требует удаления, сушки и взвешивания образца, датчики влажности почвы косвенно измеряют объемное содержание воды, используя некоторые другие свойства почвы, такие как электрическое сопротивление, диэлектрическая проницаемость или взаимодействие с нейтронами. В качестве приблизительного показателя влажности почвы [En].

Соотношение между измеряемым свойством и влажностью почвы должно быть откалибровано и может варьироваться в зависимости от таких факторов окружающей среды, как тип почвы, температура или электропроводность. Отраженное микроволновое излучение зависит от влажности почвы и используется для дистанционного зондирования в гидрологии и сельском хозяйстве. Портативные измерительные приборы могут использоваться фермерами или садоводами.

Датчики влажности почвы обычно относятся к датчикам, которые оценивают объемное содержание воды. Другой класс датчиков измеряет другое свойство влаги в почвах, называемое водным потенциалом; Эти датчики обычно называют датчиками водного потенциала почвы и включают тензиометры и гипсовые блоки [En].

Измерение влажности почвы важно для применения в сельском хозяйстве, чтобы помочь фермерам более эффективно управлять своими ирригационными системами. Зная точные условия влажности почвы на своих полях, фермеры не только в целом могут использовать меньше воды для выращивания урожая, они также могут повысить урожайность и качество урожая благодаря улучшению управления влажностью почвы на критических этапах роста растений.

Подключение датчика влажности почвы к простому реле или микроконтроллеру превратит его в «умный - интеллектуальный» контроллер полива, который предотвращает циклы полива, когда почва уже влажная, например, после недавнего дождя [En].

Водные свойства почвы (водопроницаемость, влагоёмкость, водоподъемная способность) могут быть охарактеризованы методом определения количества влаги, содержащейся в ней и измерения силы, с которой влага связана (потенциал воды). Значения потенциала указывают на

доступность влаги для растений, содержащейся в почве. Когда потенциал уменьшается – это означает, что вода в почве становится менее доступна. Существует ряд методов измерения значений содержания (или потенциала) воды в почве. Ниже приводится краткий обзор самых важных и наиболее часто используемых в садоводческой практике методов измерения влажности почвы.

Чтобы абсорбировать воду из почвы, растение должно преодолеть напряжение всасывания (давления) воды в почве (потенциал почвенной воды). Это давление измеряется тензиометром, который показывает влажность почвы на установленной глубине.

Тензиометр (рисунок 1.21) включает керамический фильтр 1, пластиковую трубу 2, вакуумный манометр (вакуумметр) 3. После того как он заполняется водой его помещают в почву для определения давления. Керамический фильтр имитирует проточную воду через почву, когда почва вокруг фильтра тензиометра высыхает, вода движется в керамическом элементе, и высасывается из герметичной трубки, что приводит к изменению давления, создавая изменения показаний счетчика тензиометра. Чем суше почва, тем выше будут показания тензиометра. После полива (или дождя) в почве вода не поступает в трубку пока не произойдет смещение потенциалов между почвой и тензиометром. При поступлении воды в трубку происходит понижение показаний до нуля [11...14].

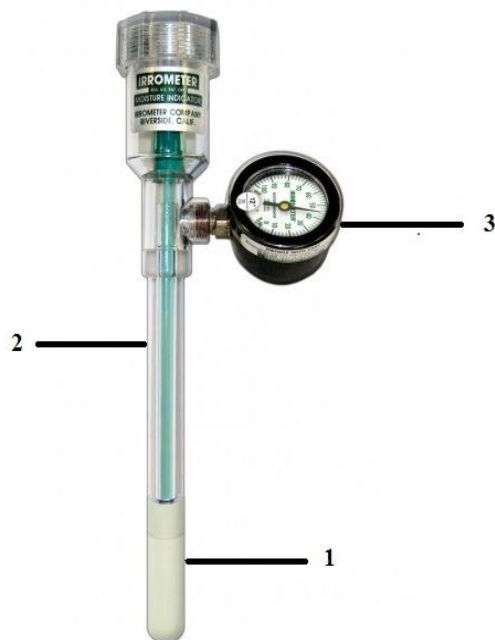


Рисунок 1.21 – Тензиометр

Необходимость начала и завершения подачи воды в оросительную систему зависит от типа почвы и количества доступной влаги в почве (рисунок 1.22). Например, в суглинистой почве, когда показания тензиометра достигает 84 сантибаров (1 сантибар соответствует 1 кПа или 10 мбар), необходимо начать подачу воды в оросительную систему, а когда оно достигает 23, подача должна прекратиться. Каждый раз, когда показание тензиометра достигает этого значения (84 сантибаров), следует возобновить подачу воды. Интервал между орошениями зависит от расхода воды на урожай [11].

Рекомендуется разместить два тензиометра на двух разных глубинах – один в центре активной корневой системы (поверхностный) и один ниже глубины залегания (глубинный). Например, для большинства овощных культур поверхностный тензиометр устанавливается на глубине 20...30 см., а глубинный – на 40...60 см. Поверхностный тензиометр используется для

определения влажности, когда требуется орошение, а глубинный – для регулировки количества применяемой воды [2, 11].

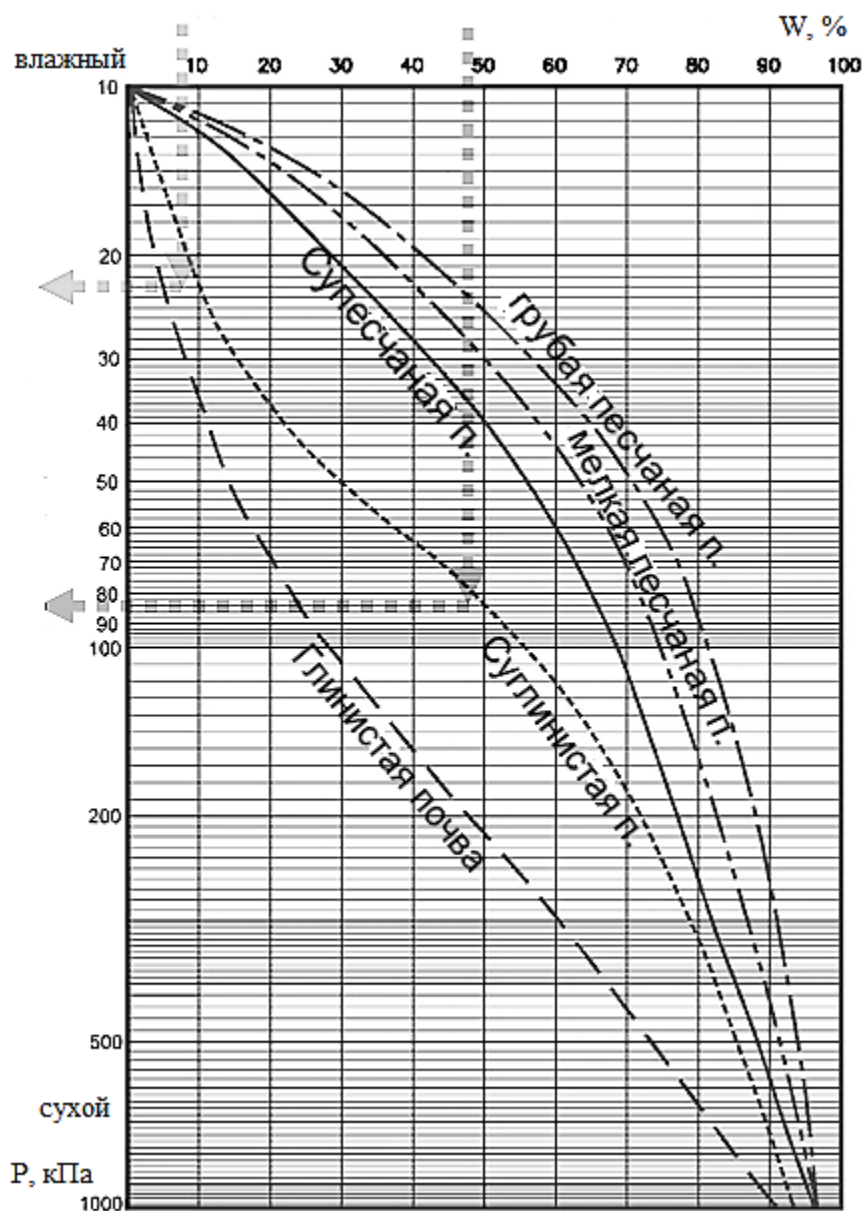


Рисунок 1.22 – Зависимости необходимости применения орошения от типа почвы и количества доступной влаги в почве

Глубинный тензиометр информирует о наличии оросительной воды в почве ниже зоны корней. Если оросительная вода достигнет глубинного датчика, ее показания снизятся до нуля, но если количество оросительной

воды будет слишком низким, глубинный тензиометр покажет более высокие показания, чем поверхностный. Если поверхностный тензиометр показывает быстрое увеличение показаний, но глубинный датчик показывает достаточную влажность, можно запустить короткий цикл орошения, поскольку необходимо только пополнить верхние слои почвы (зону корнеобитания) [2, 11...14].

Тензиометры просты по устройству, недорогие и просты в использовании. Они идеально подходят для супесчаных или легко-текстурированных почв.

Недостатками тензиометров являются:

- Диапазон измерения находится в пределах от 0 до 85 сантибаров, выше которого датчик будет работать неправильно (поэтому они не работают в сухих и глинистых почвах поры).
- Имеется вероятность повреждения из-за низкой температуры.
- Требуют периодического обслуживания, необходимо поддерживать в датчике уровень воды и предотвращать накопление пузырьков воздуха [12].

Следующий метод – измерение электрического сопротивления.

Принцип заключается в измерении электрического сопротивления материала, который находится в зависимости от содержания в нем жидкости, что, соответственно, определяет уровень влажности почвы.

В данном случае применяются датчики, которые изготовлены из гипса. В этих датчиках размещено 2 электрода, подключенных непосредственно к счетчику. В грунте проделывают отверстия до нужной глубины с последующим размещением в них датчиков. Гипсовые блоки работают в более широком диапазоне напряжений влажности почвы, чем тензиометры, но со временем ухудшаются и могут даже потребоваться замена ежегодно [14].

Современные виды датчиков применяют грануловидный материал, окружающий специальную мембрану и перфорированные крышки, которые произведены из стали либо ПВХ. Таким образом, достигается более долгий период эксплуатации датчиков. Такие датчики не требуют технического обслуживания и могут находиться в почве постоянно, с ожидаемым сроком службы более 5 лет, быстрая реакция, а также точнейшие измерения. Одним из таких датчиков является – Watermark, характеризующийся быстрой реакцией и точными показателями измерений [2, 11...14].

Устройство для измерения влажности почвы Watermark (рисунок 1.23) состоит из двух электродов 1, которые завернуты в специальный матричный материал 2, сенсоры защищены корпусом из нержавеющей стали 3, между почвой и матрицей сенсора устанавливается равновесие потенциала почвенной влаги. Матрица Watermark измеряет электрическое сопротивление, величина которого зависит от содержания воды в почве. Путем считывающего прибора 4 это сопротивление пересчитывается в показания влажности почвы [2, 11...14].

Устройства Watermark имеют диапазон измерения от 0 до 20 сантибар (0...200 кПа). Данные устройства морозостойкие, не требуют обслуживания, а также не подвержены влиянию изменчивости содержания солей в почвенной влаге. Устройства хорошо зарекомендовали себя в течение десятилетий как точные приборы с долгим сроком службы. Эти датчики допустимо применять в системах полива, которые контролируются автоматически [11...14].

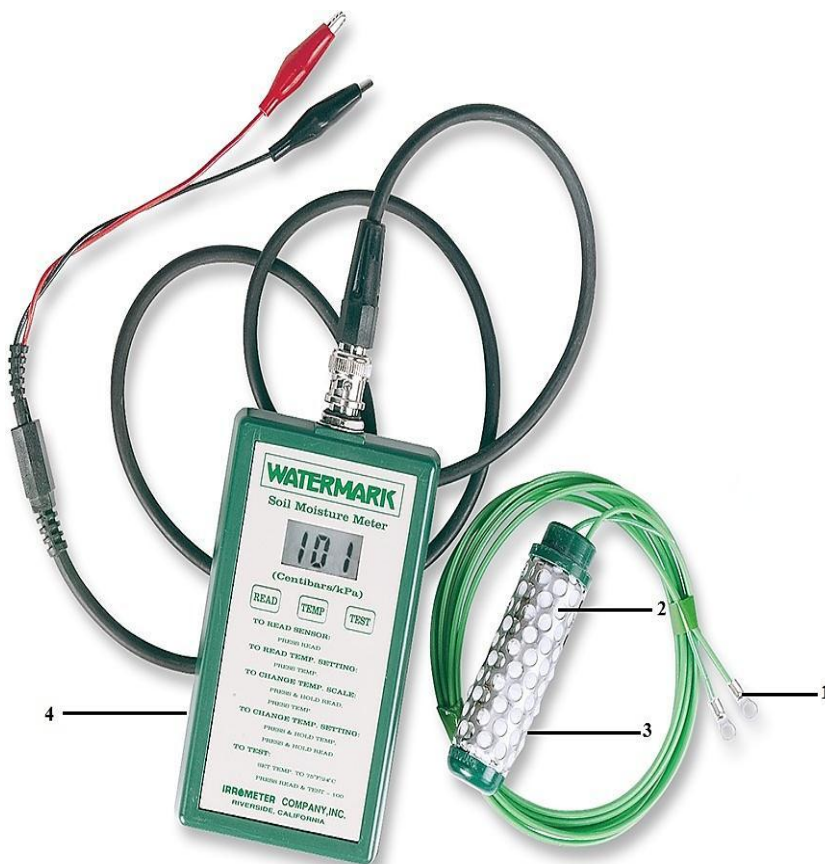


Рисунок 1.23 – Устройство для измерения влажности почвы Watermark

Недостатки этих типов устройств заключаются в том, что они требуют близкий контакт между чувствительным элементом, а также землей и поэтому они не рекомендуются в песчаных почвах из-за их большего размера частиц [2, 11...14].

Существует метод измерения с помощью диэлектрических зондов TDR и EDR (емкостное). Метод заключается в определении показателей влажности почвы посредством измерений диэлектрической среды. Диэлектрическая проницаемость – это способность материала противостоять электрическому полю. Диэлектрическая проницаемость почвы зависит от содержания воды в почве, потому что диэлектрическая постоянная воды ($\epsilon_v=80$) намного больше, чем у твердой фазы почвы ($\epsilon_n=5$) и больше, чем у газовой фазы ($\epsilon_r=1$) [12].

Устройство для измерения влажности почвы TDR (рисунок 1.24) работает следующим образом. Генератор импульсов посылает электрический сигнал (импульс напряжения) через стальные стержни, помещенные в почву, и измеряет время прохождения сигнала вверх и вниз вдоль стержней для оценки содержания воды в почве. Влажная почва возвращает сигнал медленнее, чем сухой [12].



Рисунок 1.24 – Устройство для измерения влажности почвы TDR

Устройство TDR состоит из генератора импульсов 1, который посылает импульсы вверх и вниз по стержням 2 через коаксиальный кабель 3 и осциллограф 4 который отображает и анализирует формы волны электронных сигналов и позволяет наблюдать переменные сигнальные напряжения (рисунок 1.24).

На рисунке 1.25 показана схема процесса работы устройства TDR. Сигналы движутся вверх и вниз по стержню, и их время прохождения анализируется на основе влажности почвы.

Датчики TDR быстро реагируют на изменение влажности почвы, они считаются наиболее точными, а влажность почвы с нескольких глубин может быть получена из одного зонда. Недостатки устройств TDR заключаются в том, что они очень дорогие, необходимость тщательной калибровки для измерения времени, необходимой для возвращения импульса. А также чувствительны к высокому содержанию соли в почве.

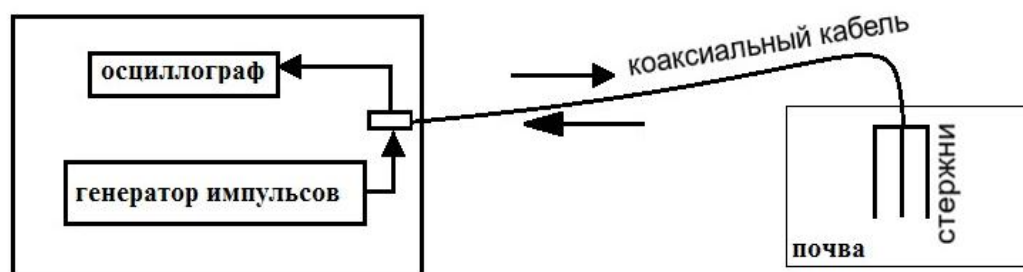


Рисунок 1.25 – Процесс работы устройства TDR

1.6 Точное земледелие

Сельское хозяйство играет жизненно важную роль в экономике каждой нации, будь то развитие или развитие. Сельское хозяйство является основой средств к существованию для населения за счет производства продуктов питания и важного сырья. Кроме того, сельское хозяйство продолжает играть важную роль в обеспечении занятости населения в больших масштабах. Рост сельского хозяйства считается необходимым для развития и для преобразования страны из традиционной в современную экономику. Поэтому необходимо уделять внимание науке и технологиям, используемым в этой области для повышения урожайности и роста в сельском хозяйстве.

Сельскохозяйственная система представляет собой сложное взаимодействие семян, почвы, воды, удобрений и пестицидов и т. Д. Оптимизация ресурсов имеет важное значение для устойчивости этой

сложной системы. Ненаучная эксплуатация сельскохозяйственных ресурсов для преодоления разрыва между спросом и предложением в связи с ростом населения ведет к деградации ресурсов и последующему снижению урожайности (Mondal and Tiwari, 2007).

Кроме того, неопределенность климатических условий также играет важную роль в этой сложной системе. Это требует оптимального использования ресурсов для управления контролируемой сельскохозяйственной системой. Также сельскохозяйственные системы по своей природе характеризуются пространственной и временной изменчивостью, что делает максимизацию урожайности с минимальными затратами сложной задачей. Таким образом, сельскохозяйственные технологии, применяемые во всех частях света, должны постоянно обновляться для решения этих задач. Развитие ряда новых технологий в разных частях мира вывело сельское хозяйство на совершенно новый уровень сложности. На самом деле, современное сельское хозяйство с древних времен претерпело примечательные изменения.

Термин «точное земледелие» определяется как применение различных технологий и принципов для управления пространственной и временной изменчивостью, связанной со всеми аспектами сельскохозяйственного производства. Традиционные агрономические методы (практики) всегда следуют стандартному варианту управления для большой площади независимо от изменчивости, происходящей внутри поля и среди поля. На протяжении десятилетий фермеры применяли удобрения на основе рекомендаций, полученных в результате исследований и полевых испытаний в конкретных агроклиматических условиях.

Применение сельскохозяйственных вводимых ресурсов по равномерным ставкам по всему полю без учета внутрипольных изменений

свойств почвы и сельскохозяйственных культур не дает желаемого урожая. Рассмотрение изменений в плодородии почвы и условиях урожая в полевых условиях и сопоставление сельскохозяйственных ресурсов, таких как семена, удобрения, орошение, инсектициды, пестициды и т.д. для того, чтобы оптимизировать ввод или максимизировать урожайность культур из заданного кванта ввода, называется точного сельского хозяйства (Точное земледелие).

Это основанная на информации и технологиях сельскохозяйственная система, предназначенная для улучшения сельскохозяйственных процессов путем точного мониторинга каждого шага с целью обеспечения максимального сельскохозяйственного производства при минимальном воздействии на окружающую среду. Он включает в себя корректировку параметров посева, модуляцию доз удобрений, применение воды, пестицидов и гербицидов в конкретных местах и т. Д. [Bronson,Dukes]

Достижения в области управления урожаем для конкретного участка предоставляют возможности для различной обработки почвы на сельскохозяйственном поле. Обработка почвы и, в частности, глубокая обработка почвы, является одной из наиболее энергоемких полевых операций. Когда применяется обработка почвы переменной глубины (точная обработка почвы), можно добиться значительной экономии энергии и потенциального снижения эрозии почвы.

Используя карты глубины залегающих слоев для целых полей, фермеры получают информацию, необходимую для корректировки глубины обработки почвы. Для обеспечения карт уплотнения почвы, которые будут использоваться при точной обработке почвы на основе карт, для быстрого сбора информации в масштабе поля используются разнообразные сенсорные методы, включая пенетрометр с вертикальным конусом, пенетрометр с

горизонтальным конусом, датчик воздухопроницаемости и датчик влажности почвы [M. Naderi-Boldaji, ASABE 2006].

Полив фермы, подкрепленные предполагаемыми потребностями в воде, являются одним из важнейших компонентов точного земледелия для сокращения потерь воды. Учитывая ограниченность водных ресурсов, оптимизация эффективности орошения очень важна [Hedley].

1.7 Точное орошение (интеллектуальные системы орошения)

Точное орошение во всем мире является новой концепцией орошения. Точное орошение включает в себя точное и точное применение воды для удовлетворения конкретных требований отдельных растений или единиц управления и минимизации неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Общепринятым определением точного орошения является устойчивое управление водными ресурсами, которое включает в себя подачу воды на урожай в нужное время, в нужном количестве, в нужном месте и в правильном порядке, что помогает управлять изменчивостью воды в полевых условиях, что, в свою очередь, повышает продуктивность и урожайность воды. эффективность использования наряду с сокращением затрат энергии на орошение. Экономия воды до 25% возможна за счет повышения эффективности применения, получаемой при использовании пространственно-разноплановых применений.

Подключение датчика влажности почвы к простому реле или микроконтроллеру превратит его в «умный - интеллектуальный» контроллер полива, который предотвращает циклы полива, когда почва уже влажная, например, после недавнего дождя [En].

1.8 Классификация автоматического процесса полива

С изменчивостью и неравномерностью осадков и высокой требуемой частотой микроирригации; Полностью автоматизированная система - это практически необходимость для эффективного управления полива [4].

Существует ряд явных причин, которые способствуют внедрению автоматизации в ирригационных системах в любом регионе мира, некоторые из этих причин:

- Лучший контроль количества добавленной поливной воды.
- Низкие требования к человеческому труду и вмешательству человека.
- Помимо запрограммированного полива; дополнительные операции, такие как фертигация, очистка фильтров и т. д., могут быть автоматизированы.
- Неудобные ситуации, такие как сбои в сети, неисправности насоса и засорение труб, можно обнаружить и контролировать.

Контроллер орошения определяется как устройство, которое используется для автоматического управления системой орошения. Традиционные контроллеры работают по заранее запрограммированному графику и таймерам и имеют средства настройки частоты полива, времени начала и продолжительности полива. В отличие от этого, интеллектуальных контроллеров оросительного мониторинг погоды, условий почвы, испарения и использование растительной воды, чтобы автоматически адаптировать график полива к фактическим условиям участка (сайта) [10, 11].

Основным элементом интеллектуальной системы управления является датчик. Датчики являются элементом технических систем, предназначенных для измерения, сигнализации, регулирования, управления устройствами или процессами. Датчики преобразуют контролируемую величину (давление,

температура, расход, концентрация, частота, скорость, перемещение, напряжение, электрический ток и т. п.) в сигнал (электрический, оптический, пневматический), удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации информации о состоянии объекта измерений [Еп].

По данным Ассоциации по ирригации (Irrigation Association IA), интеллектуальные контроллеры ирригации определяются как: контроллеры, которые сокращают использование воды для орошения путем мониторинга и использования информации о состоянии участка; такие как влажность почвы, дождь, скорость ветра, почва, тип растения и т. д., и применяют необходимое количество воды в зависимости от этих факторов. Эти контроллеры орошения получают обратную связь от оросительной системы и планируют или корректируют продолжительность или частоту полива соответственно. Обычно существует два типа интеллектуальных контроллеров:

1. контроллеры полива на основе датчиков влажности почвы.
2. ирригационные контроллеры на основе эвапотранспирации.
3. другие типы интеллектуальных контроллеров орошения (рисунок 1.26).

В системе на основе влажности почвы; орошение начинается при заданном низком уровне влажности и прекращается при достижении требуемой влажности почвы или полевая влагоемкость. В контроллерах ирригации на основе погоды или суммарного испарения; системаставляет количество воды, которое было потеряно в процессе суммарного испарения.



Рисунок 1.26 – классификация автоматизированных систем полива на основе разных типов датчиков

Контроллеры полива на основе датчиков влажности почвы

Автоматизация ирригационных систем на основе датчиков влажности почвы может повысить эффективность использования воды, поддерживая желаемый диапазон влажности почвы в корневой зоне, который является оптимальным для роста растений, чем цикл от очень влажного до очень сухого в течение интервала орошения в условиях ручного полива. Целевая влажность почвы может быть выражена через всасывание почвы или матричный потенциал (кПа или кбар), который описывает количество

энергии, которое должно быть приложено растением для поглощения воды, которая удерживается почвой. Целевая влажность почвы также может быть выражена через объемную влажность, которая определяется как процентное содержание объема воды в объеме почвы [4, 12].

Датчики влажности почвы могут быть постоянно установлены в репрезентативных точках на сельскохозяйственном поле для обеспечения повторных измерений влажности с течением времени, которые могут использоваться для управления орошением.

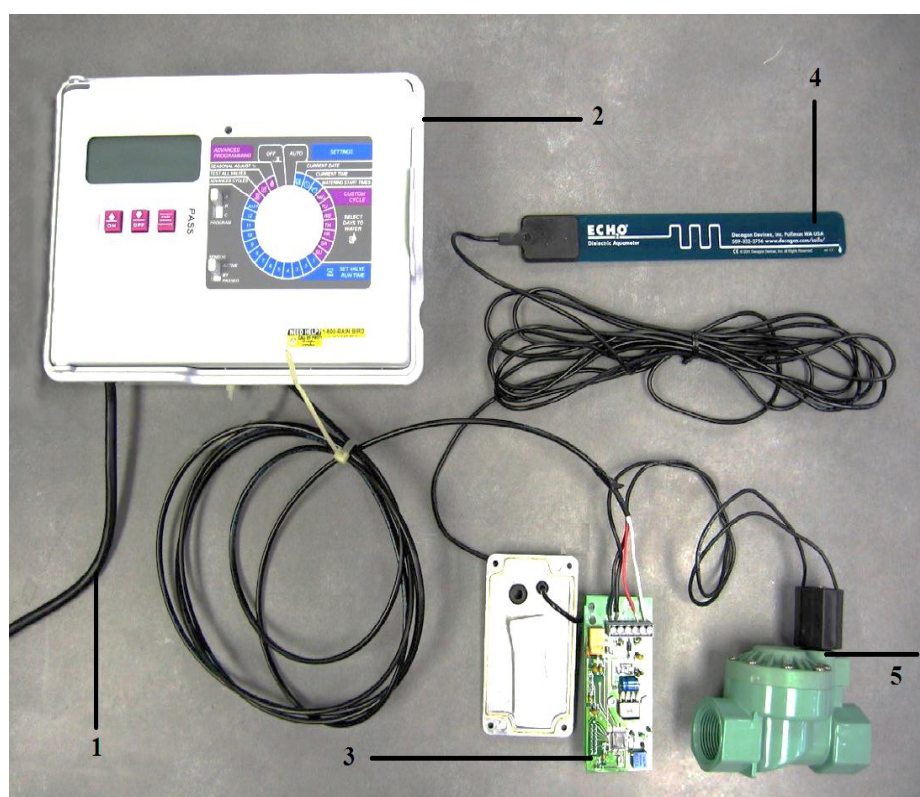


Рисунок 1.27 – контроллер полива на основе датчиков влажности почвы

Компоненты интеллектуального контроллера орошения на основе влажности почвы показано на рисунке 1.27. Система была разработана в отделе сельскохозяйственной и биологической инженерии Университета Флориды, США. Система состоит из: источника питания 1,

пользовательского интерфейса 2, программируемого микроконтроллера 3, датчика влажности почвы емкостного типа, выпускаемого компанией Decagon Devices Company 4, и электромагнитного клапана 5 [10, 11].

Контроллеры полива на основе оценки эвапотранспирации

Контроллеры, основанные на эвапотранспирации, работают по принципу, согласно которому потребность растений в воде может быть определена из баланса входов и выходов воды в корневую зону растения и называется водным балансом почвы. Осадки и орошение поступают в корневую зону в качестве входных данных. Вода выходит из почвы и растительной системы из стока, глубокого перколяция, испарения. Эвапотранспирация - это количество влаги, которая одновременно испаряется растением и испаряется с поверхности почвы и растений. Орошение управляется так, чтобы были незначительные потери.

Глубокая просачиваемость (перколяция) минимизируется ирригационными мероприятиями, которые не превышают способность удерживать воду в почве, в то время как поверхностный сток минимизируется путем применения оросительной воды со скоростью меньшей инфильтрации почвы. Для управления орошения Hess (1996) дал такие предположения, как: глубокий уровень грунтовых вод, нет капиллярного подъема, дождь и или орошение предполагается эффективным и, наконец, не стекания.

Поэтому уравнение, которое используется для уравнивания изменений в запасе воды в почве (Суточный водный баланс, выраженный в терминах истощения воды в конце дня) в корневой зоне растения, можно записать в виде:

$$D_{ri} = D_{ri-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ET_{ci} + DP_i, \quad (1.1)$$
$$0 \leq D_{ri} \leq TAW$$

$$I_i = ET_{ci} - R_i, \quad (1.2)$$

где D_{ri} - истощение воды из корневой зоны в конце дня, i (мм); D_{ri-1} - содержание воды в корневой зоне в конце предыдущего дня, $i-1$ (мм); P_i - дождь в день, i (мм); RO_i - сток воды с поверхности почвы в день, i (мм); I_i - чистая глубина орошения в день i , которая проникает в почву (мм); CR_i - капиллярный подъем от уровня грунтовых вод в день i (мм); ET_{ci} - эвапотранспирация урожая в день, i (мм); DP_i - потеря воды из корневой зоны путем глубокой перколяции в день, i (мм).

Эвапотранспирация (ЕТс) является функцией погодных условий и типа растения. В контроллерах, основанных на эвапотранспирации (ЕТс), контроллер или таймер автоматически корректируют расписание при изменении погоды или растет урожай. Эти контроллеры используют датчики, установленные на месте, для измерения погодных условий, а затем для расчета ЕТс в реальном времени на основе собранных данных. Датчики собирают показания с интервалами от каждой секунды до каждых пятнадцати минут, и затем из этих значений рассчитывается ежедневный ЕТс. Датчики на месте могут включать: температуру, солнечную радиацию или даже полную метеостанцию [14, 15].

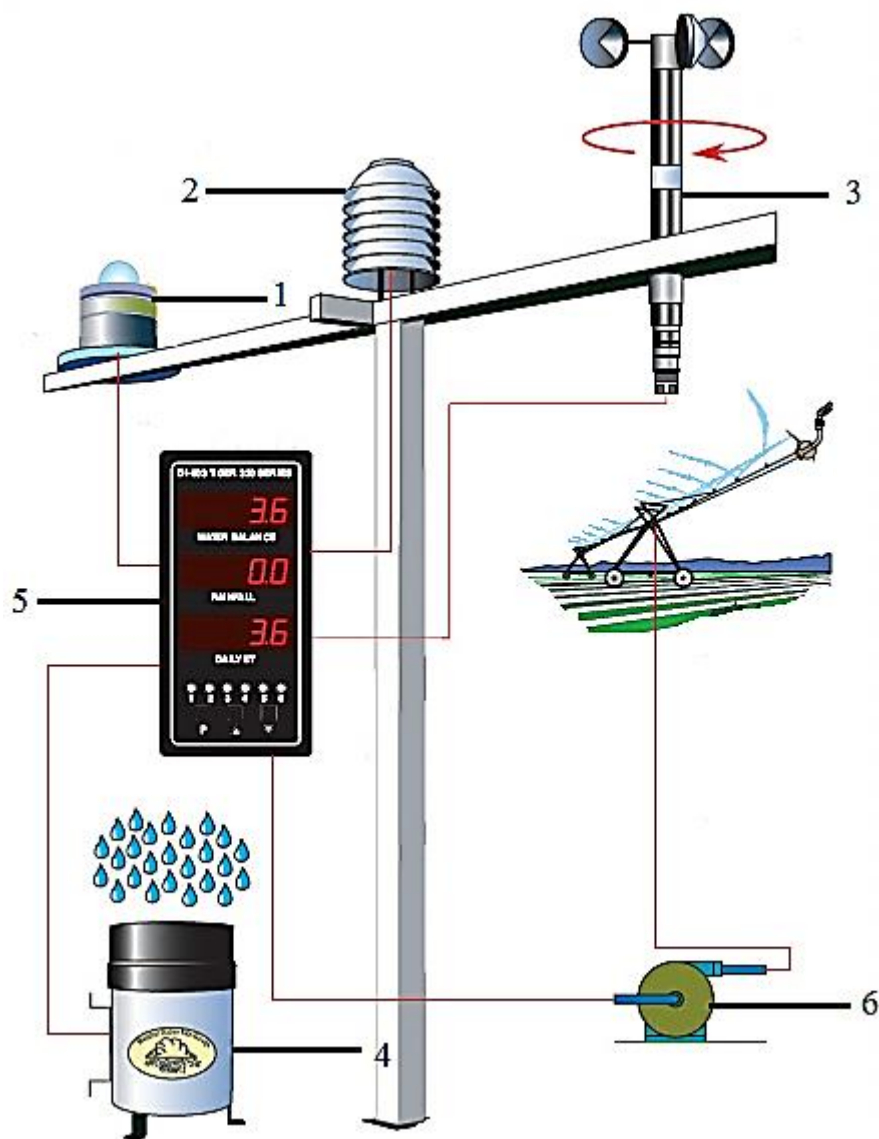


Рисунок 1.28 – интеллектуальные контроллеры системы орошения на основе оценки суммарного испарения

Компоненты контроллеров полива на основе ЕТ показаны на рисунке 1.28, а именно: датчик солнечного излучения 1, датчик температуры воздуха 2, датчик скорости ветра 3, датчик дождя 4, контроллер 5 и ирригационный насос или привод 6.

Другие типы интеллектуальных контроллеров орошения

Последние тенденции развития полива предусматривают автоматизированное орошение с использованием сложного оборудования для подачи воды на растение, как только она в этом нуждается. например, автоматизация орошения на основе температуры листьев растений. Использование температуры листьев растений для обнаружения нехватки воды основано на том принципе, что вода, потерянная в результате транспирации, охлаждает листья ниже температуры окружающего воздуха в условиях хорошего полива.

Возможность разработки полностью автоматизированной ирригационной системы, в которой приборы контролируют температуру листьев растений на наличие признаков нехватки воды и сигнальные устройства, которые автоматически обеспечивают необходимое количество поливной воды, основаны на пороговой температуре листьев. Полив применяется только тогда, когда средняя температура навеса превысила заранее установленные пороговые значения.

разницу между температурой листьев и воздуха можно соотнести с дефицитом воды в растениях. листья растения прохладнее воздуха над пологом, когда урожай хорошо поливали. Как только у стрессовых растений возникал дефицит воды, разница между температурой листового воздуха становилась положительной, и лист обычно был на 2 -- 3 ° C теплее, чем при ненапряженной обработке.

Различные типы датчиков используются для измерения температуры листового полога. например, термопара, встроенная в листья хлопка, для определения температуры листа и термометра инфракрасного излучения. Эти методы являются дорогостоящими и не принимаются большинством фермеров. Следовательно, должна быть разработана соответствующая

недорогая технология, чтобы способствовать высокой эффективности водопользования.

1.9 Классификация и анализ рабочего механизма электромагнитных клапанов

Автоматизация современных процессов управления потоками воздуха, пара, воды и иных газообразных и жидких сред, где используется электромагнитный соленоидный клапан – прочно вошла в нашу жизнь. Запорный клапан с электромагнитным приводом широко используются в различных трубопроводных системах и аппаратах с автоматическим управлением, а также при управлении различными технологическими процессами оператором вручную [1].

Соленоидный клапан - это электромеханическое устройство, в котором соленоид использует электрический ток для генерации магнитного поля и, таким образом, работает механизм, который регулирует открытие потока жидкости в клапане. Когда электрический ток исчезнет из катушки, клапан вернется в обесточенное состояние. Электромагнитные клапаны отличаются характеристиками электрического тока, который они используют, силой создаваемого ими магнитного поля, механизмом, который они используют для регулирования жидкости, а также типом и характеристиками жидкости, которую они контролируют [3].

Электромагнитный запорный клапан предназначается для применения в качестве регулирующего и запорного устройства при осуществлении быстрого дистанционного управления (отключения или включения) потоками жидкости, пара, воздуха или газа любой трубопроводной системы. Наиболее широко применяемым есть электромагнитный соленоидный клапан. При изготовлении этого устройства применяются электрические магниты с неподвижными своими частями, которые называют соленоидами.

Поэтому и само устройство называют соленоидным электромагнитным клапаном.

Электромагнитный соленоидный клапан состоит из следующих основных деталей: корпуса, крышки, диафрагма (или поршня), пружины, плунжера, штока и электрической катушки (соленоида). Изготавливаются корпуса клапанов из специальных пластиков, латуни или нержавеющей стали. В качестве применяемых материалов для изготовления мембран, уплотнений и прокладок корпусов электромагнитных клапанов чаще всего используется термостойкая и маслостойкая резина, каучук, фторопласт или силикон.

По своему устройству, соленоидный электромагнитный клапан подобен устройству запорного клапана. Однако управление электромагнитными клапанами, то есть открытие или закрытие их рабочего органа, осуществляется без приложения наших физических усилий, путем подачи на электромагнитную катушку (соленоид) клапана – электрического напряжения. Используя запорный электромагнитный клапан, мы можем дистанционно подать необходимый нам объём пара, жидкости или газа в необходимый момент времени, к примеру, при подаче воды в поливные системы, регулировании различных хозяйственных отопительных процессов, обеспечении устойчивой работы котлоагрегатов и прочее [1].

Принцип работы электромагнитного клапана:

Рисунок 1.29 показывает конструкцию базового клапана, управляющего потоком воды в этом примере. На верхнем рисунке находится клапан в закрытом состоянии. Вода под давлением поступает в А. В - упругая диафрагма, а над ней - слабый источник, толкающий ее вниз. Диафрагма имеет сквозное отверстие через центр, через которое проходит очень

небольшое количество воды. Эта вода заполняет полость С на другой стороне диафрагмы, так что давление на обеих сторонах диафрагмы одинаково, однако сжатая пружина создает чистую нисходящую силу. Пружина слаба и может закрывать впуск только потому, что давление воды уравновешено с обеих сторон диафрагмы .

Все вышеперечисленное работает, потому что небольшой дренажный канал D был заблокирован штифтом, который является якорем соленоида E и который толкается пружиной. Если ток проходит через соленоид, штифт отводится с помощью магнитной силы, и вода в камере С сливается канал D быстрее, чем отверстие может заполнить его. Давление в камере С падает, и входящее давление поднимает диафрагму, открывая тем самым главный клапан. Вода теперь течет прямо из А в F.

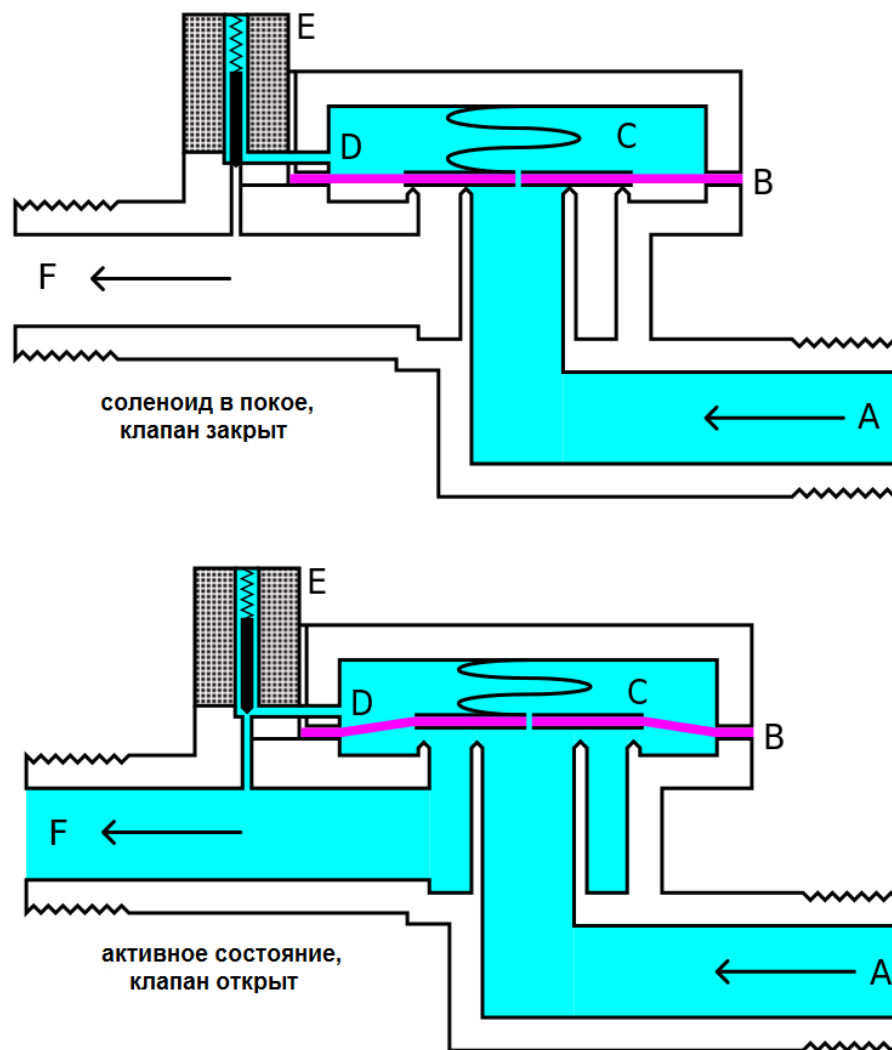


Рисунок 1.29 – интеллектуальные контроллеры системы орошения на основе оценки суммарного испарения

В статическом положении, когда катушка электромагнитного клапана обесточена и клапан закрыт (или открыт в зависимости от его типа), диафрагма клапана или его поршень за счет механического воздействия пружины находится в герметичном соприкосновении с седлом клапана. При подаче же электрического напряжения на катушку – клапан с электромагнитным приводом открывается. Это осуществляется посредством

воздействия магнитного поля, создаваемого в катушке клапана (соленоиде), на плунжер и его втягивания в нее [1, 3].

Типы электромагнитных клапанов:

По количеству потоков рабочей среды и особенностям работы клапаны делятся на два типа:

Двухходовые: имеют только два патрубка, И трехходовые: имеют три патрубка.

В двухходовых клапанах предусмотрено два патрубка — впускной и выпускной, между ними рабочая среда протекает только в одном направлении. Между патрубками находится клапан, который может открывать или перекрывать поток рабочей среды, обеспечивая ее подачу к агрегатам.

В трехходовых клапанах предусмотрено три патрубка, которые могут соединяться друг с другом в различных комбинациях. Например, в пневматических системах часто используются клапаны с одним впускным и двумя выпускными патрубками, и при различных положениях управляющего элемента сжатый воздух от впускного патрубка может подаваться на один из выпускных патрубков. С другой стороны, в клапанах ЭПХХ (экономайзера принудительного холостого хода) присутствует один выпускной и два впускных патрубка, которые обеспечивают подачу нормального атмосферного и пониженного давления на систему холостого хода карбюратора.

Двухходовые клапаны делятся на два типа по положению управляющего элемента при обесточивании электромагнита: либо нормально открытые (НО); либо нормально закрытые (НЗ).

По типу привода и управления клапаны делятся на два типа:

- Клапаны прямого действия — управление потоком рабочей среды осуществляется только силой, развиваемой электромагнитом;
- Пилотные электромагнитные клапаны — управление потоком рабочей среды осуществляется частично за счет использования давления самой этой среды [2].

Соленоидные клапаны прямого действия (рисунок 1.29) имеют самый простой принцип работы. Среда протекает через небольшое отверстие, которое может быть закрыто поршнем с резиновой прокладкой на дне. Небольшая пружина удерживает поршень, чтобы закрыть клапан. Плунжер изготовлен из ферромагнитного материала. Электрическая катушка расположена вокруг плунжера. Как только на катушку подается электрическое напряжение, создается магнитное поле, которое тянет поршень вверх к центру катушки. Это открывает отверстие, так что среда может течь через. Это называется нормально закрытым (NC) клапаном. Нормально открытый (NO) клапан работает противоположным образом: он имеет другую конструкцию, поэтому отверстие не открывается, когда на соленоид не подается питание. Когда соленоид приводится в действие, отверстие будет закрыто. Максимальное рабочее давление и скорость потока напрямую связаны с диаметром отверстия и магнитной силой электромагнитного клапана.

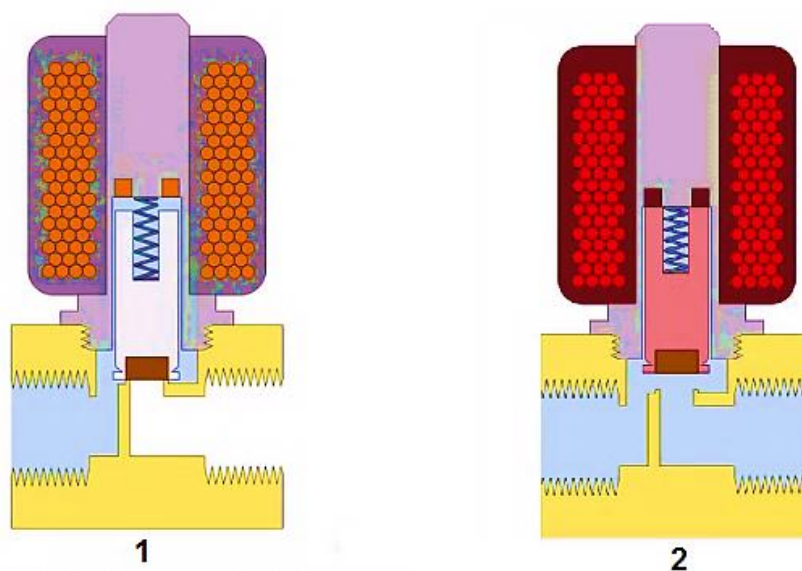


Рисунок 1.29 – Схема работы электромагнитного клапана прямого действия.
1) закрытый клапан при отсутствии электрического тока, 2) катушка намагничивается и клапан открывается

Электромагнитные клапаны сервоприводом (или пилотным управлением) используют перепад давления среды над отверстиями клапана для открытия и закрытия (рисунок 1.30). Обычно эти клапаны требуют минимального перепада давления. Вход и выход разделены резиновой мембраной, также называемой диафрагмой. Мембрана имеет небольшое отверстие, так что среда может течь в верхний отсек. Давление и опорная пружина над мембраной обеспечат, чтобы клапан оставался закрытым. Камера над мембраной соединена небольшим каналом с портом низкого давления. Это соединение заблокировано в закрытом положении соленоидом. Диаметр этого «пилотного» отверстия больше диаметра отверстия в мембране. Когда на соленоид подается напряжение, открывается вспомогательное отверстие, что приводит к падению давления над мембраной. Из-за разницы давлений на обеих сторонах мембраны мембрана будет поднята, и среда может вытекать из впускного отверстия в выпускное отверстие. Камера дополнительного

давления над мембраной действует как усилитель, поэтому при небольшом соленоиде все же можно контролировать большую скорость потока. Косвенные электромагнитные клапаны могут использоваться только для одного направления потока. Электромагнитные клапаны с косвенным управлением используются в приложениях с достаточным перепадом давления и высокой требуемой скоростью потока, таких как, например, системы орошения, душевые кабины или системы мойки автомобилей. Косвенные клапаны также известны как клапаны с сервоуправлением [4].

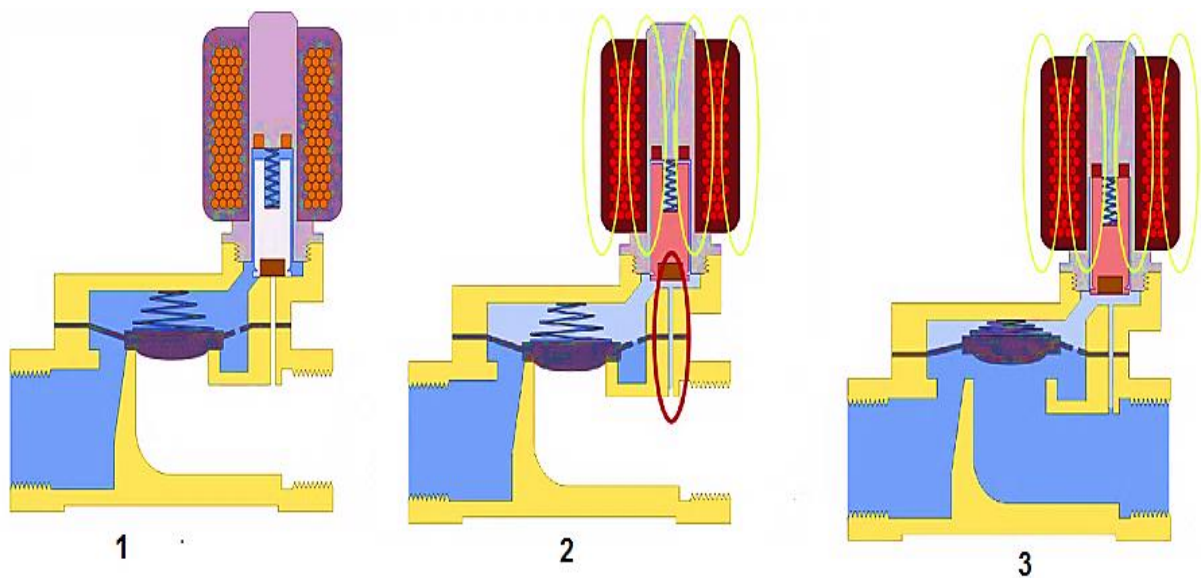


Рисунок 1.30 – Схема работы электромагнитного клапана пилотного действия, 1.соленоид закрыт, 2. размагничен и 3. намагничивается и начнет открывать

Также клапаны отличаются рабочими характеристиками (напряжением питания 12 или 24 В, условный проход и другие) и конструктивными особенностями. Отдельно стоит упомянуть о клапанах, которые могут собираться в блоки по 2-4 штуки — они благодаря определенному положению патрубков и крепежных элементов (проушин) могут

объединяться в единую конструкцию с большим числом впускных и выпускных патрубков. [2]

Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ

2.1 Гидравлическая оценка капельниц и расчеты равномерности распределения воды

Для характеристики капельниц используются три категории испытаний: равномерность потока; объёмный расход в зависимости от входного давления; определение константы капельницы и экспоненты водовылива.

При определении равномерности расхода воды капельницами, отбирают образцы (не менее 25 капельниц), и согласно ГОСТ ISO 9261-2004, а также Американского общества инженеров сельского хозяйства и гражданских инженеров (ASACE) рекомендуется использовать коэффициент вариации (C_v), вычисляемая по следующей формуле [17,18 обзор pap]:

$$C_v = \frac{S_q}{\bar{q}} \times 100, \quad (2.1)$$

где C_v – коэффициент вариации; S_q – среднеквадратическое отклонение образца; $\bar{q}$ – средний расход.

Процент изменения расхода от номинального рассчитывался следующим образом:

$$\Delta q = \frac{q_m - q_n}{q_n} \times 100, \quad (2.2)$$

где Δq – Процент изменения расхода; q_m – среднее значение измеряемых расходов при определенном уровне давления; q_n – номинальный расход капельницы.

Классификация капельниц по качеству на основе C_v приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Классификация капельниц по качеству на основе C_v

C_v	Описание капельниц	Классификация капельниц
0...5%	Наивысшая равномерность расхода воды и наименьшие отклонения от заданного номинального расхода	Класс А
5...10%	Средняя равномерность расхода воды и средние отклонения от заданного номинального расхода	Класс В
> 10%	Минимальная равномерность расхода воды и большие отклонения от заданного номинального расхода	Некачественные капельницы

Процент изменения расхода от номинального рассчитывался следующим образом:

$$\Delta q = \frac{q_m - q_n}{q_n} \times 100, \quad (2.3)$$

где Δq – Процент изменения расхода; q_m – среднее значение измеряемых расходов при определенном уровне давления; q_n – номинальный расход капельницы.

Равномерность расхода потока через капельницу может быть рассчитана по следующим уравнениям:

$$EU = \frac{q_{min}}{\bar{q}} \times 100, \quad (2.4)$$

$$CU = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (|q_i - \bar{q}|)}{\bar{q}}\right) \times 100, \quad (2.5)$$

где EU – равномерность расхода; q_{min} – средний разряд нижнего квартиля (средняя низкого $\frac{1}{4}$ расхода), (л/ч); $\bar{q}$ – средний расход, (л/ч); CU –

коэффициент равномерности Кристиансен; q_i – измеряемый объемный расход i , (л/ч); n – количество капельниц.

Два индекса EU и CU предполагают разные значения. Первое показывает состояние наименьшего разряда капельницы по сравнению с средним разрядом, тогда как последнее представляет отклонение разряда от его среднего значения.

Капельницы также могут характеризоваться соотношением расхода и давления. Кривые расхода относительно входного давления получают путем определения среднего расхода, при каждом уровне входного давления (рисунок 1). Расход потока воды через капельницу можно охарактеризовать как функцию рабочего давления по следующему уравнению:

$$q = k P^x, \quad (2.6)$$

где q – объемный расход, (л/ч); P – рабочее давление (бар); k – коэффициент пропорциональности, характеризующая каждую капельницу (безразмерная константа); x – экспонента объемного расхода (водовылива).

Несмотря на разнообразие устройств водовылива для капельного орошения и выявленных у каждого определенный ряд недостатков, все такие устройства регулируют поток воды путем рассеивания энергии при помощи силы трения. Устройства водовылива, как правило, работают в соответствии со формулой (2.6).

Продифференцировав уравнение (2.6) получим:

$$\frac{\Delta q}{q} = x \frac{\Delta P}{P}, \quad (2.7)$$

Согласно уравнениям (2.6 и 2.7), чем выше значение показателя x , тем больше будет влиять давление на величину расхода q , и наоборот. Значение экспоненты x для капельниц компенсирующих и не компенсирующих давление составляет приблизительно 0 и 1 соответственно. Константа k является функцией конструктивных характеристик капельниц (диаметр отверстия и т.д.).

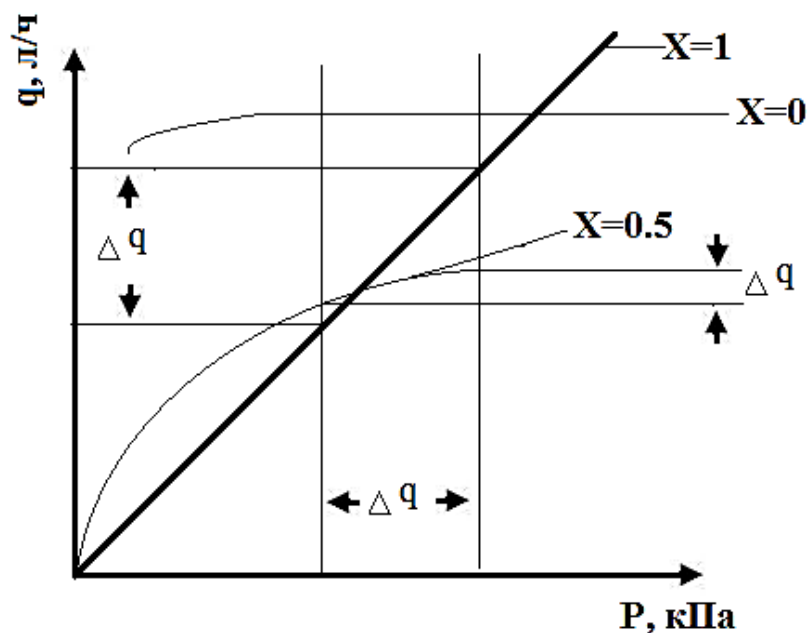


Рисунок 2.1 – Зависимость объемного расхода капельниц от давления в системе

Таблица 2-2. Режимы потока воды.

Режим водовылива	Значение X	тип капельницы
Переменный	0.0	Эмиттеры компенсации давления
	0.1	
	0.2	
	0.3	
Вихревой	0.4	Вихревой эмиттер
Полностью турбулентный	0.5	Эмиттер с ультратонким водовыпуском или с извилистым каналом
	0.6	
Частично турбулентный	0.7	Эмиттер с длинным или

	0.8	спиральным каналов
Частично ламинарный	0.9	Микро трубка
Полностью ламинарный	1.0	Эмиттер с капиллярным водовыливом

Анализ рисунка 2.1 и уравнения 2.7 показывает, что для дешевых и простых по конструкции капельниц, значение $x=1$, это означает то, что они очень чувствительны к изменению давления. Изменение давления на 10% приведет к соответствующему изменению объемного расхода. В компенсирующих давления; капельницах содержится диафрагма, которая позволяет поддерживать стабильный расход вне зависимости от изменений давления ($x=0$) [12, 16 обзор pap].

Таблица 2.2 иллюстрирует различные типы режимов потока воды и экспонента X для них. Также перечислены распространенные примеры эмиттеров, их типы и где они находятся на шкале значений X .

В случае использования не компенсационных устройств, значение экспонента X будет зависеть от того, какой эмиттер используется с ламинарным или турбулентным течением.

Теория ламинарного потока воды

Теоретическое значение экспонента X для полностью ламинарного потока воды выводится уравнением Дарси-Вейсбах и диаграммой Муди:

$$H_f = \frac{fLV^2}{2gD}, \quad (2.8)$$

где H_f – Уровень потери давления из-за трения, (м); f – Фактор трения, L – Длина водопровода, (м); D – Диаметр водопровода, (м); V – Средняя скорость потока воды, (м/сек).

Для ламинарного потока ($R < 2.000$), значение F задается уравнением Хагена-Пуазейля в виде $f = 64/R$, где R является число Рейнольдса и определяется уравнением:

$$R = \frac{vD}{v}, \quad (2.9)$$

Подставляя значения f в уравнение Дарси-Вейсбаха, и решая уравнение для расхода воды Q (где $Q = VA$, A - площадь поперечного сечения трубопровода) получаем,

$$H_f = \frac{64 LV^2}{R2gD}, \quad (2.10)$$

и таким образом $R = VD / v$

$$H_f = \frac{64vLV}{2gD^2}, \quad (2.11)$$

и таким образом $V = Q / A$

$$H_f = \frac{64vLQ}{2gD^2A}, \quad (2.12)$$

и далее решение для Q

$$Q = \frac{gAD^2}{32vL} H_f, \quad (2.13)$$

Из уравнения 2.13 следует, что при полностью ламинарном течении воды, уровень расхода воды Q прямо пропорционально зависит от показателя потери воды при воздействии силы трения H_f . Таким образом, значение экспонента X в уравнении 2.6 равняется 1.0 для полностью ламинарного потока воды. Уравнение 6.3 также показывает обратную зависимость между уровнем расхода воды (скоростью потока) и кинематической вязкостью v для полностью ламинарного потока. Кинематическая вязкость изменяется обратно пропорционально температуре, и, следовательно, расход эмиттера полностью ламинарного потока напрямую зависит от температуры воды.

Таблица 2.3 содержит поправочные коэффициенты, которые необходимо использовать при расчете расхода воды при температуре воды, отличной от стандартной для полива - 20 градусов по Цельсию (68 градусов по Фаренгейту).

Таблица 2-3. поправочные коэффициенты

Температура по Цельсию	Поправочные коэффициенты		
	X=0.6	X=0.8	X=1
5	0.94	0.87	0.63
10	0.95	0.92	0.75
15	0.98	0.95	0.87
20	1	1	1
25	1.02	1.05	1.13
30	1.04	1.1	1.28
35	1.06	1.14	1.43
40	1.08	1.19	1.56
45	1.1	1.24	1.7
50	1.12	1.29	1.85

Теория турбулентного потока воды

Для полностью турбулентного потока, f коэффициент трения является постоянным и не зависит от числа Рейнольдса и вязкости. Подставляя ($V = Q/A$) в уравнение 2.8 получим,

$$H_f = \frac{fLQ^2}{2gDA^2}, \quad (2.14)$$

и решение для Q (расхода воды) будет таким,

$$Q = A\left(\frac{2gD}{fL}\right)^{0.5} H_f^{0.5}, \quad (2.15)$$

Как видно из уравнения 2.15, что в случае полностью турбулентного потока, уровень расхода воды Q прямо пропорционально зависит от показателя потери воды при воздействии силы трения H_f . Таким образом, значение экспонента X в уравнении 2.6 является 0.5 для полностью турбулентного потока.

Ультратонкий водовыпуск является примером полностью турбулентного потока. В таком случае используется уравнение Бернулли,

$$Q = KC_d D^2 H^{0.5}, \quad (2.16)$$

где Q – Расход воды, (л/ч); D – Диаметр отверстия, (мм.); H – Перепад давления, (м); K – постоянная величина; C_d – Коэффициент водовыпуска, варьируется от 0.6 до 1 в зависимости от конструкции входного отверстия водовыпуска.

Из уравнения 2.16 следует, что Q расход воды через отверстия прямо пропорционален квадратному корню перепада давления H этих отверстий водовылива. Таким образом, гидравлическая теория определяет, что для эмиттеров ламинарного потока, расход воды Q будет меняться непосредственно вместе с изменением рабочего давления. Другими словами, значение экспонента X для таких устройств равно единице. Кроме того, расход воды Q для устройств ламинарного потока будет меняться при изменении вязкости и, следовательно, с изменением температуры воды.

Для эмиттеров с полностью турбулентным потоком воды, в том числе с ультратонким водовыпуском, расход воды Q будет меняться прямо пропорционально квадратному корню рабочего давления системы капельного орошения. Другими словами, значение экспонента X для таких устройств равно половине. Кроме того, скорость потока воды для устройств полностью турбулентного потока не изменяется из-за разной вязкости, и, таким образом, не зависит от температуры воды.

Капельницы с ламинарным течением воды

Ламинарное течение – это когда вода движется медленно и упорядоченно, то есть плавно. Устройства ламинарного течения регулируют поток воды путем рассеивания энергии через трение внутри водного прохода. Чем меньший и более длинный водяной проход, тем большему трению будет подвергаться поток воды. Таким образом, в эмиттерах ламинарного потока обычно используют длинные и узкие проходы для воды. Микротрубка, капиллярная трубка и спиральный эмиттер - хороший пример такого

устройства. Эмиттеры ламинарного потока простые, надежные и недорогие, и при правильной конструкции и эксплуатации системы капельного орошения, эти устройства будут максимально эффективно выполнять свою работу. Основными недостатками таких устройств являются чувствительность к давлению (скорость потока воды значительно меняется с изменением давления) и подверженность к засорению из-за низкой скорости потока и малого диаметра водных проходов. Устройства ламинарного потока, также чувствительны к вязкости воды, а это означает, что их расход будет меняться в зависимости от температуры воды.

Капельницы турбулентного водовылива

При турбулентном потоке вода течет достаточно быстро с нерегулярным и случайным характером движения. Турбулентные эмиттеры регулируют поток воды, рассеивая его энергию при трении о стенки прохода воды, а также между молекулами самой воды. Ультратонкий водовыпуск - пример эмиттера турбулентного течения воды и многие капельные ленты, которые используют технологию турбулентного канала, относятся к такому типу эмиттеров. Извилистое и ультратонкое строение турбулентного канала обеспечивает значительное рассеивание энергии потока воды. По сравнению с ламинарным водовыливом турбулентные эмиттеры имеют преимущества более коротких и/или более крупных проходов воды с высокой скоростью потока, что значительно увеличивает сопротивление к засорению эмиттеров. В дополнение, водовылив при турбулентном эмиттере менее чувствителен к колебаниям давления в системе и температуре воды.

Капельницы с компенсацией давления

Устройства компенсации давления могут быть как ламинарного, так и турбулентного водовылива. В любом случае, такие устройства используют входное давление, чтобы изменять (адаптировать) размер, форму и длину

канала водовылива. Такое изменение обычно достигается при помощи давления, которое вызывает деформацию резинового диска, диафрагмы или водного прохода в эмиттере. Таким образом, эмиттеры с компенсацией давления в состоянии обеспечить требуемый расход воды в достаточно широком диапазоне входного давления, и в пределах этого диапазона уровень водовылива будет постоянным.

Эмиттеры с компенсацией давления имеют недостаток в том, что специальные резиновые материалы (эластомер), из которых они состоят, со временем изнашиваются, и качество компенсации давления ухудшается. В зависимости из чего сделан эластомер, такой материал может впитывать в себя воду, терять эластичность или деформироваться под длительным напряжением. Изменение свойств эластомеров с течением времени приведет к изменению производительности самого эмиттера. Таким образом, необходимо, чтобы эластомеры были высокого качества.

Экспериментальное определение значения X

Фактическое значение экспонента X для определенного типа устройства водовыпуска можно определить экспериментальным путем на основе работы одного эмиттера при двух значениях рабочего давления H_1 и H_2 , и точного измерения расхода воды Q_1 и Q_2 для каждого из режимов. Экспериментальное рабочее давление должно быть выбрано в диапазоне верхнего и нижнего пределов нормальной работы эмиттера (например, 70 и 200 кПа), а время эксперимента должно быть достаточным (20 минут или больше), чтобы получить точные измерения объема расхода воды. Значения расхода воды Q_1 и Q_2 затем вычисляется путем деления объема воды, пропущенного через эмиттер к времени работы соответственно. Значение X может быть вычислено путем построения функции прямой через две точки

данных (H_1, Q_1) и (H_2, Q_2) и измерения наклона прямой, или с помощью уравнения 6.6 ниже (уравнение 6.6 получено из уравнения 6.1).

$$X = \frac{\log\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)}{\log\left(\frac{H_1}{H_2}\right)}, \quad (2.17)$$

Как только значение X станет известным, постоянную K_d можно легко вычислить по следующей формуле ,

$$K_d = \frac{Q}{P_x}, \quad (2.18)$$

2.2 обзор лабораторных установок для оценки равномерности водораспределения систем капельного орошения

Для оценки эффективности и технических характеристик капельного орошения, были проведены испытания капельниц в австралийском центре ирригационных и гидравлических технологий в университете южной Австралии [Bodole, Koesch]. Данный объект является членом международной сети испытательных лабораторий по Орошению (INITL).

Используемая испытательная установка (рисунок 2.2), длиной 2,7м и шириной 1,6м, состояла из резервуара для воды 1, водяного насоса 2 мощностью 1,5 л.с., манометра 3, водяного фильтра 4, трубопроводов 5 и трех боковых линий 6 с номинальным диаметром 13 мм. Установка содержала платформу, на которой имеются банки 7, используемые для сбора воды из капельниц.

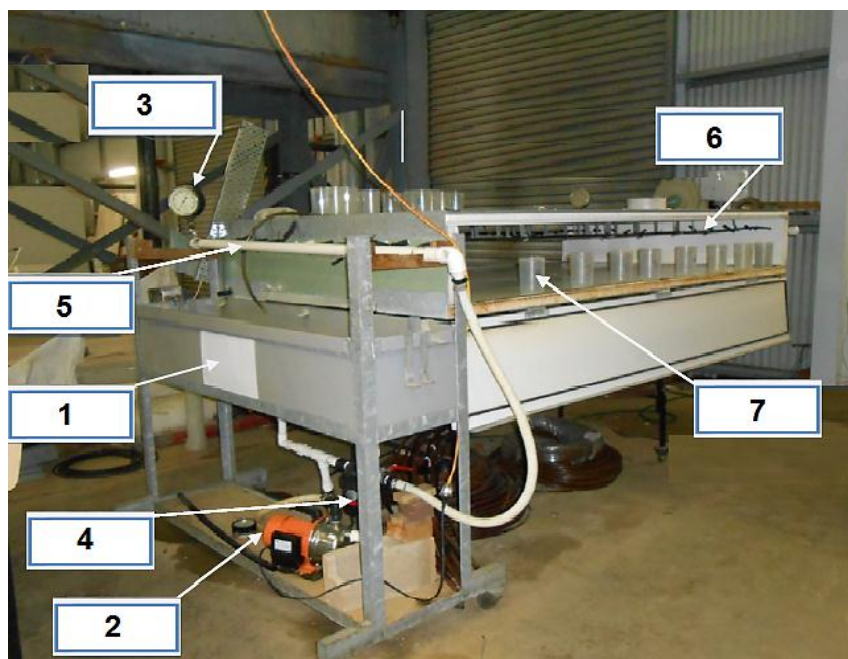


Рисунок 2.2 – Экспериментальная установка капельного орошения

Для испытаний использовались капельницы модели E1000 (без компенсации давления) производства John Deere. Были использованы три комплекта по 25 капельниц с номинальными расходами 2, 4 и 8 л/ч и рекомендуемым рабочим давлением 100 кПа.

Испытания равномерности расхода проводились при рекомендуемой производительности с рабочем давлением 100 кПа. Для проведения испытаний с целью определения зависимости расхода от давления, константы и экспоненты капельницы входное давление изменялось от 80 до 240 кПа (с шагом 20 кПа) [9, 10, 16].

Результаты показали, что расход потока увеличивается с увеличением давления, зависимость лучше всего характеризуется степенной функцией (рисунок 2.3). Результаты также показали, что наибольшее значение C_v составляет менее 5% во всех типах капельниц, со средним значением – 2,59, следовательно, согласно ГОСТ ISO 9261-2004, данные капельницы по классификации относятся к классу А, имеющие более высокую

равномерность расхода воды и более низкое отклонение от установленного номинального расхода [18] (таблица 2.1).

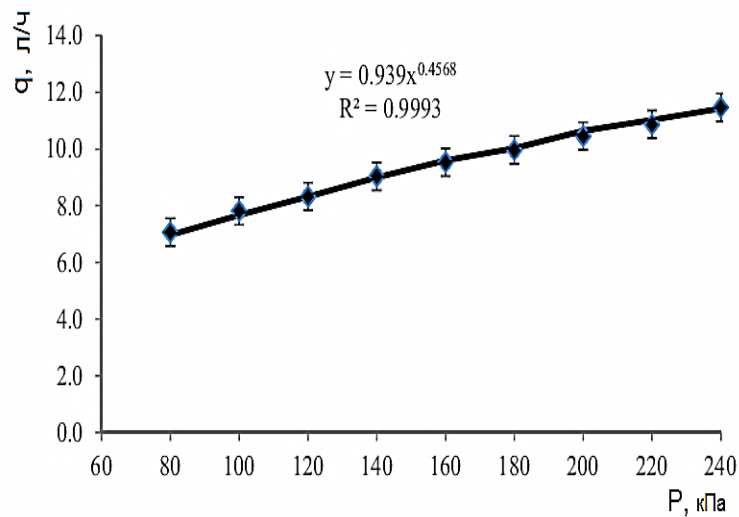
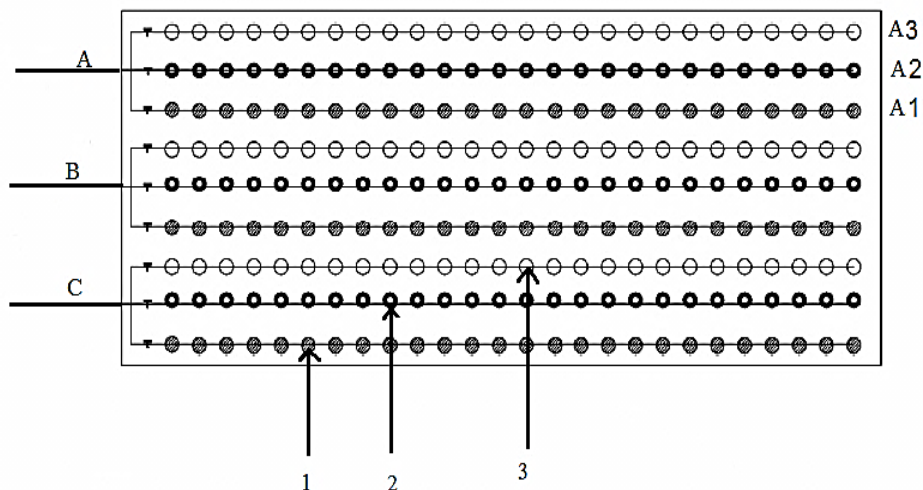


Рисунок 2.3 – Зависимость расхода потока при увеличении давления для капельниц с номинальным расходом 8 л/ч

Для анализа закономерностей изменения расхода потока через капельницы и равномерности потока при использовании пресноводных и очищенных сточных вод использовали экспериментальные системы [Haijun]. Установка состояла из 9 линий: три капельницы для трех разных типов воды (рисунок 2.4).



А – пресная вода; В – очищенная сточная вода с промывкой боковой линии; С – очищенная сточная вода без промывки; 1 – капельница типа E1; 2 – капельница типа E2; 3 – капельница типа E3.

Рисунок 2.4 – Установка для испытания капельного орошения с пресной и очищенных сточных вод.

Результаты показали, что на все экспериментальные показатели влияют качество воды, тип капельницы, время работы. Процент засорения капельницы был выше для очищенных сточных вод. Значения CV были выше, чем для пресной воды, между тем как значения EU и CU были ниже. Во всех опытах засорение капельниц типа E2 было более серьезным: Cv был больше, а EU и CU были меньше чем у типов E1 и E3. Сильное засорение капельницы типа E2 объясняется его меньшим диаметром выходных отверстий. Тип капельницы E3 показал более лучшие свойства по анти-засорению, и был рекомендован для орошения очищенными сточными водами в районе Пекина в Китае [15].

Недостатки рассмотренных нами экспериментальных установок заключаются в том, что в них не имеется возможности учитывать изменения давления между линиями капельниц в одном и том же блоке.

В полевых условиях у капельниц, находящихся в линии ближе к насосу или в низинах, давление будет больше, следовательно может происходить избыточный полив. А у капельниц, которые расположены на линии дальше от насоса или в возвышенностях, давление может быть не достаточным для эффективной работы капельниц.

В целях увеличения функциональной способности экспериментальной установки (имитации полевых условий: неравномерность рельефа поля, отдаленности линии от насоса и т.п.), нами предлагается установить регуляторы давления в начале каждой боковой линии. С помощью регуляторов входное давление каждой линии может быть изменено, независимо от расположения, длины или количество линий.

2.3 Почва и Физические свойства почвы, влияющие на движение воды

Почва это поверхностный слой Земли, содержащий смесь органических веществ, минералов, газов и жидкостей, которые поддерживают существование биологических форм жизни. Почва является естественным резервуаром, фильтрующим и удерживающим воду[1], а также средой для обитания живых организмов, которые совместно оказывают влияние на её состав и окружающую среду; почва формируется под влиянием земного климата, организмов и рельефа на основе почвы (её горные породы); исследователи часто рассматривают почву как гетерогенную (многообразную) систему состоящую из трёх «фаз» (состояний): твёрдой (минеральных и органических твёрдых частиц), газообразной (имеющей пористую структуру удерживающую газы) и жидкой (смесь двух предыдущих)[2]; Самое ценное свойство почвы — плодородие, т.е. способность обеспечивать растения необходимыми питательными веществами и влагой.

Основными компонентами почвы являются минералы, органические вещества, вода и воздух. Типичная почва состоит из примерно 45% минеральных, 5% органических веществ, 20-30% воды и 20-30% воздуха [en].

Твердая фаза почвы состоит из частиц разного размера, которые называются механическими элементами. Как правило, отдельные механические элементы в почве находятся в агрегированном состоянии, в виде структурных отдельностей (педов), и для их определения необходимо разрушить агрегаты механическим или химическим способом. В песчаных и супесчаных почвах агрегаты отсутствуют, и механические элементы находятся в раздельно-частичном состоянии.

Гранулометрический состав почвы характеризуется содержанием механических элементов разного размера, выраженном в % к массе абсолютно сухой почвы. Близкие по размерам механические элементы характеризуются примерно одинаковыми свойствами и поэтому их группируют во фракции. Существует несколько группировок, или классификаций механических элементов как отечественных, так и зарубежных. В России наибольшее распространение получила классификация механических элементов, разработанная А.Н. Сабининым и В.Р. Вильямсом и уточненная впоследствии Н.А. Качинским (Таблица 2.4). [1].

Таблица 2.4 – классификация механических элементов почв (Н.А. Качинский)

Название механических элементов	Размер механических элементов в мм	Название механических элементов	Размер механических элементов в мм
Камни	> 3	Пыль мелкая	0,005-0,001
Гравий	3-1	Ил грубый	0,001-0,0005
Песок крупный	1-0,5	Ил тонкий	0,0005-0,0001
Песок средний	0,5-0,25	Коллоиды	< 0,0001
Песок мелкий	0,25-0,05	Физическая глина	< 0,01
Пыль крупная	0,05-0,01	Физический песок	> 0,01

Пыль средняя	0,01-0,005		
--------------	------------	--	--

Структура почвы описывает расположение твердых частей почвы и порового пространства, расположенного между ними. Это определяется тем, как отдельные гранулы почвы слипаются, связываются и агрегируют, в результате чего между ними образуются поры почвы. Структура почв наиболее полно описана с точки зрения степени агрегации (Рисунок 2.5) [en].

Структура почвы это совокупность агрегатов различной величины, формы, порозности, механической прочности и водопрочности, характерных для каждой почвы и ее горизонтов. При этом под агрегатами понимается совокупность механических элементов или элементарных почвенных частиц, взаимно удерживающихся в силу коагуляции коллоидов, склеивания, слипания их в результате действия сил Ван-дер-Ваальса, остаточных валентностей и водородных связей, адсорбционных и капиллярных явлений в жидкой фазе, а также с помощью корневых тяжей, гифов грибов и слизи микроорганизмов [3].

Структура и гранулометрический состав почвы определяет общее количество воды, которое может удерживаться в почве, а также контролирует скорость проникновения воды в почву. В дополнение, они имеют влияние на движение воздуха, биологическую активность, рост корней и появление всходов[en].

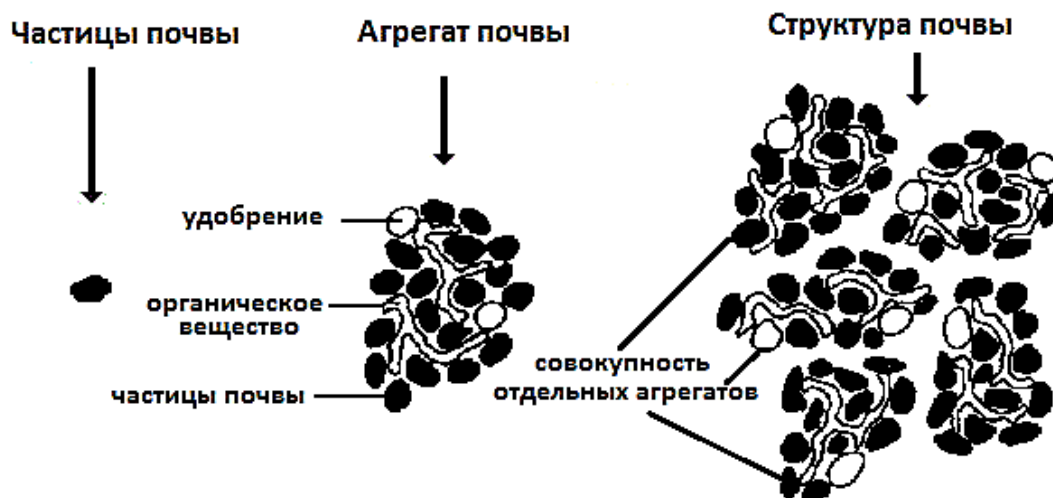


Рисунок 2.5 – Структура почвы

инфильтрация воды пропорциональна размеру частиц. Чем больше частица, тем быстрее поток или движение. Из-за большого размера пор вода просачивается легче и быстрее в песчаных почвах, чем в глинистых. Чем мельче текстура почвы, тем больше капиллярной воды. В основном это связано с большей площадью поверхности и большим количеством микропор [en].

2.4 Классификация почвенных вод в соответствии с водой удерживающих сил

Существует три основных типа почвенных вод, в соответствии с водой удерживающих сил:

1. гравитационная вода,
2. капиллярная вода,
3. гигроскопическая вода.

И гигроскопичные, и капиллярные остаются вокруг частиц почвы. Гравитация свободно стекает вниз через профиль почвы (рисунок 2.6 и 2.7) [en].

Гигроскопическая вода: вода, которая плотно удерживается на поверхности коллоидных частиц почвы, известна как гигроскопическая вода. Гигроскопическая вода настолько прочно удерживается частицами почвы, что растения не могут ее поглотить. Некоторые микроорганизмы могут использовать гигроскопичную воду. Поскольку гигроскопическая вода удерживается поверхностно силами; его удаление из почвы требует определенного количества энергии, и его нельзя полностью испарить из почвы в обычных атмосферных условиях, но это можно сделать, нагревая почву до постоянного веса в печи при температуре приблизительно 105 ° С.

Поскольку гигроскопическая вода обнаруживается на частицах почвы, а не в порах, некоторые типы почв с небольшим количеством пор и большой площадью поверхности частиц (например, глины) будут содержать более высокий процент этого количества (рисунок 2.6 и 2.8).

Капиллярная вода: вода, удерживаемая против силы тяжести капиллярными силами или водой, которая остается в почве после слива гравитационной воды и имеет форму пленки вокруг частиц почвы. Капиллярная вода удерживается в микропорах почвы и является той водой, которая составляет почвенный раствор. Капиллярная вода удерживается в почве, потому что свойства поверхностного натяжения (когезия и адгезия) микропор почвы сильнее, чем сила тяжести. Капиллярная вода - это основная вода, которая доступна растениям, поскольку она задерживается в почвенном растворе рядом с корнями растения.

Свободная (гравитационная) вода заполняет крупные почвенные поры, под действием силы тяжести образует нисходящий ток, формируя верховодку и частично просачиваясь в грунтовые воды. За счёт гравитационной воды в почве проходят элювиальные и иллювиальные процессы, из неё образуются все другие формы почвенной влаги. Сама может

конденсироваться из парообразной, но преимущественно пополняется за счёт атмосферных осадков. Гравитационная вода бесполезна для растений и снижает аэрацию в почве. Таким образом, его удаление из почвы является необходимым условием для оптимального роста растений (сельскохозяйственный дренаж). Напряжение влаги в почве в гравитационном состоянии равно нулю .

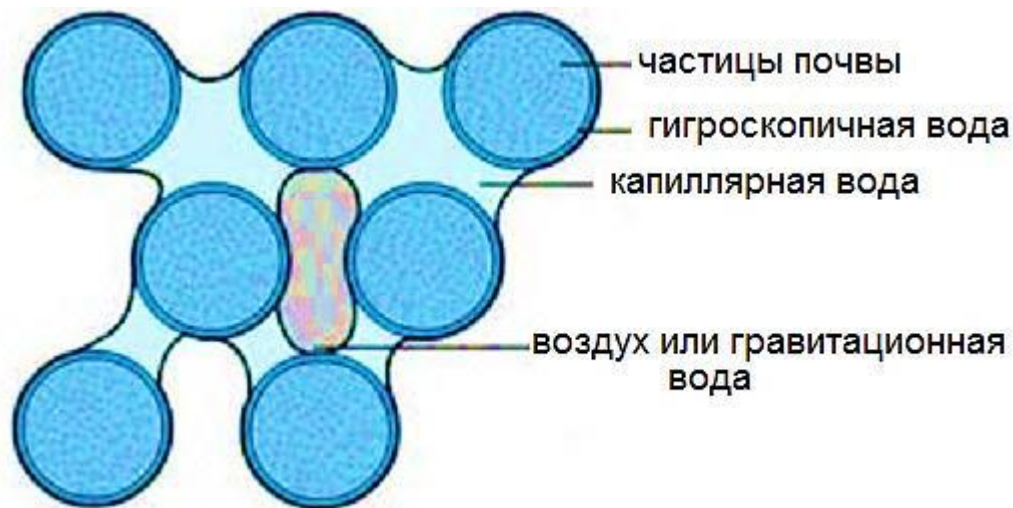


Рисунок 2.6 – классификация почвенных вод по силам удержания воды

2.5 Классификация почвенной воды на основе доступности для растений

Согласно Kutilek & Nielsen (1994) [], основная гидрофизическая характеристика (ОГХ, кривая водоудерживания) — в физике почв изотермическая равновесная зависимость между капиллярно-сорбционным (матричным) давлением почвенной влаги и влажностью (обычно объёмной). Форма ОГХ специфична для каждого почвенного образца и характеризует структуру порового пространства почвы, гранулометрический и минералогический состав (рисунок 2.7).

Обычно ОГХ представляется в графической форме (реже в виде таблицы), как зависимость капиллярно-сорбционного давления от влажности. При этом для давления используется логарифмическая шкала, берётся десятичный логарифм от абсолютной величины давления - pF . Полученная кривая имеет S-образную форму, на которой выделяют несколько характерных областей:

- насыщения (при pF от 0 в среднем до 1,7);
- капиллярная (1,7 - 3,0);
- плёночная (3 -4,5);
- сорбционная (более 4,5);
- недоступной для растений влаги (pF более 4,18).

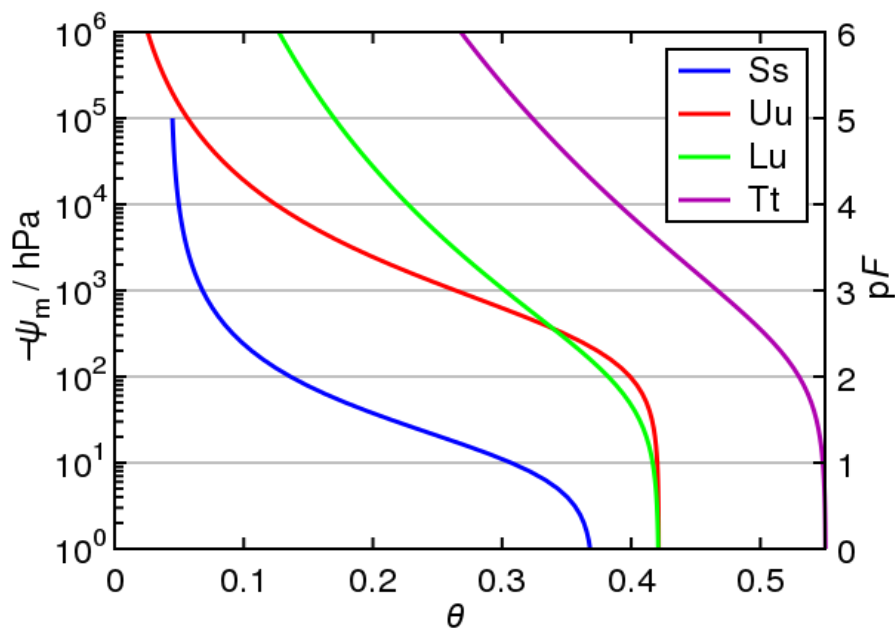


Рисунок 2.7 - Основная гидрофизическая характеристика для песка (Ss), глинистого суглинка (Uu), глины (Lu) и торфа (Tt)

Следующая функция Ван Генухтена [] может быть использована для приближения

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{(1 + \alpha |h|^n)^m}, \quad (2.19)$$

$$\theta_e = \frac{1}{(1 + \alpha|h|^n)^m}, \quad (2.20)$$

где θ - содержание влаги в почве (-); θ_s - содержание насыщенной влаги (-); θ_e - эффективное содержание воды (-); θ_r - остаточное содержание влаги (-); h - капиллярно-сорбционным (матричным) давлением почвенной влаги (см) α – эмпирический коэффициент ($10^{-3}..10^{-2}$ см-1); n - эмпирический коэффициент (между 1,5-6); m - эмпирический коэффициент ($m = 1 - 1/n$).

Основная гидрофизическая характеристика представляет большой интерес для целей орошения, а также в контексте сельского хозяйства с дождевым питанием. Информация из кривой (ОГХ) позволяет нам определять интервалы и объемы орошения, чтобы содержание влаги в почве изменялось в пределах predetermined границ (эти границы называются гидролимитами), что позволяет максимизировать производство с минимальным использованием воды.

В орошении большую значимость представляют такие понятия, как полевая емкость, точка увядания, общая и легкодоступная вода. Доступность воды определяется содержанием воды между полевой емкостью и точкой увядания.

Почвенная вода, которая может быть извлечена из грунта между - 0,33 бар давления ($pF = 2,53$) и 15 бар ($pF = 4,18$) давления, называется общей доступной водой с ее границами границы давления, обозначаемыми как точка увядания для $pF = 4.18$ и полевой емкости для $pF = 2,53$, причем pF определяется как $\log |h|$ и h - капиллярно-сорбционный (матричный) давление почвенной влаги (см).

На основе доступности воды для растений (водный потенциал); существует другая классификация почвенных вод. почвенные воды классифицируются как:

- 1- Насыщенность (Гравитационная вода),
- 2- Полевая влагоемкость,
- 3- Постоянная точка увядания.

Насыщенность - это содержание воды в почве, когда все поры заполнены водой. Содержание воды в почве при насыщении равно проценту пористости.

Полевая влагоемкость - это количество влаги в почве или содержания воды в почве после того, как излишки воды слились, а скорость движения воды снизилась. Это обычно происходит через 1-3 дня после дождя или орошения на глинистых почвах и 6 часов на песчаных почвах. Физическое определение производительности поля (условно обозначенное как θ_{fc}) - это объемное содержание воды, удерживаемое в верхнем слое почвы при 0,33 бар отрицательная гидравлическая давления или всасывания почвы.

Полевая влагоёмкость определяется как количество воды, которое может удерживаться в верхнем слое почвы после дождя или ирригации и после нескольких дней перераспределения, или, другими словами, содержание воды, содержащейся в почве, составляет 0,33 бар давление всасывания почвы.

точка увядания: это содержание воды в почве, когда растения извлекают всю доступную воду, Извлечение воды становится нулевым при достижении точки увядания. Точка увядания это содержание воды, на которой растения будут постоянно увядать (вянуть), или содержание воды в 15 бар отрицательная гидравлическая давления или всасывания почвы (Рисунок 2.8).

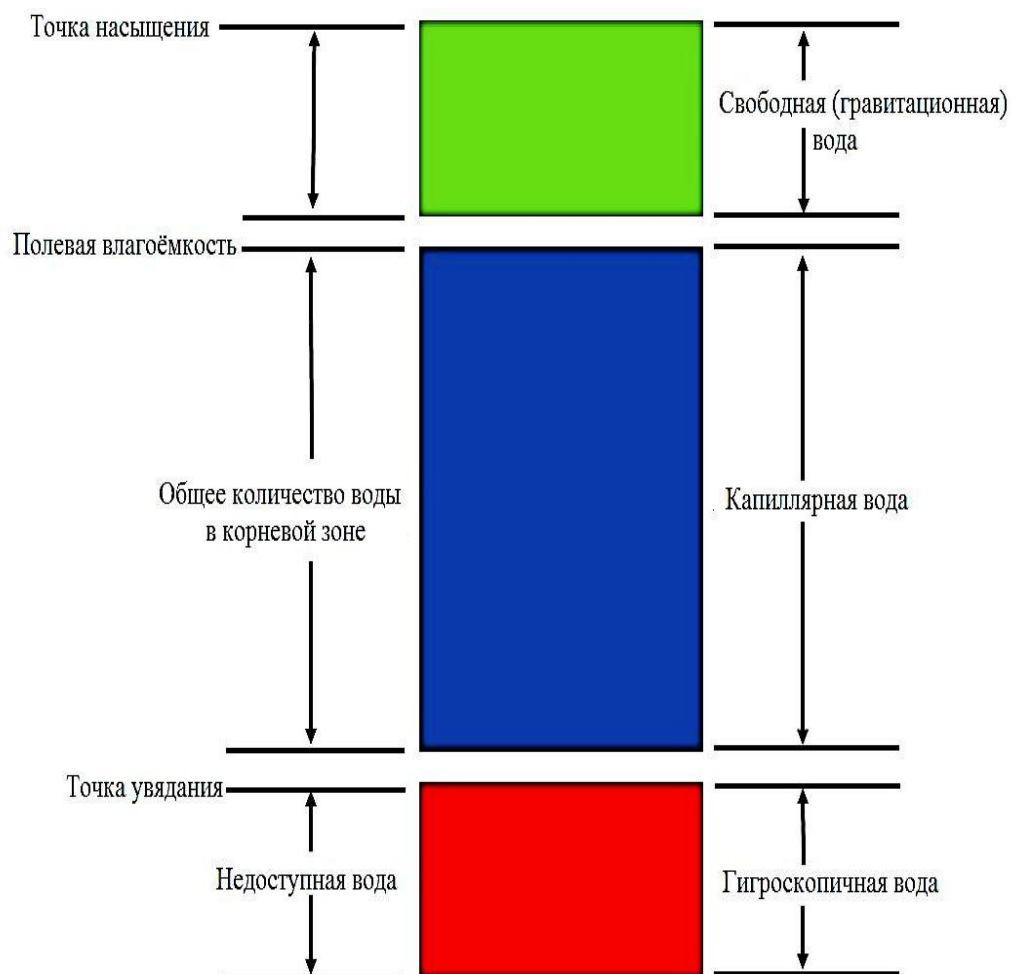


Рисунок 2.8 – Обе классификации почвенной воды, основанные на доступности воды и водного потенциала

Во время дождя или орошения поры почвы будут заполняться водой. Если все поры почвы заполнены водой, почва считается насыщенной. В почве не осталось воздуха. Растения нуждаются в воздухе и воде в почве. При насыщении воздуха нет, и растение пострадает. Многие культуры не могут противостоять насыщенным почвенным условиям в течение более 2-5 дней. Рис является одним из исключений из этого правила. Период насыщения верхнего слоя почвы обычно не длится долго. После того, как дождь или орошение прекратились, часть воды в более крупных порах будет двигаться вниз. Этот процесс называется дренаж или перколяция. Вода, слитая из пор, заменяется воздухом. В грубой текстурированной (песчаной) почве дренаж

завершается в течение нескольких часов. В мелкозернистых (глинистых) почвах дренаж может занять несколько (1-3) дней.

После того, как дренаж прекратился, большие поры почвы заполнены воздухом и водой, в то время как меньшие поры все еще полны воды. На данном этапе, почва называется на полевой влагоемкости. В условиях полевой влагоемкости содержание воды и воздуха в почве считается идеальным для роста сельскохозяйственных культур.

Постепенно вода накапливается в почве, поглощается корнями растений или испаряется из верхнего слоя почвы в атмосферу. Если в почву не подается дополнительная вода, она постепенно высыхает. Чем суше становится почва, тем плотнее удерживается оставшаяся вода и тем труднее ее извлекать корням растений. На определенном этапе потребление воды недостаточно для удовлетворения потребностей растения. Растение теряет свежесть и увядает; листья меняют цвет с зеленого на желтый. Наконец растение умирает. Содержание воды в почве на стадии гибели растения называется постоянной точкой увядания. Почва все еще содержит немного воды, но корням слишком трудно высосать это из почвы (рисунок 2.8, 2.9).

Общая доступная вода в корневой зоне представляет собой разницу между содержанием воды в полевой емкости и точкой увядания (Allen et al 1998):

$$TAW = 1000(\theta_{fc} - \theta_{wp})Z_r, \quad (2.21)$$

где TAW - общая доступная вода в корневой зоне (мм); θ_{fc} - содержание воды в полевой емкости, ($\text{м}^3\text{м}^{-3}$); θ_{wp} - содержание воды в точке увядания, ($\text{м}^3\text{м}^{-3}$); Z_r - глубина корня (мм).

Несмотря на то, что вода теоретически доступна до точки увядания, поглощение водных культур снижается до достижения точки увядания. Доля TAW , которую растение может извлечь из корневой зоны без страдания стрессом, - это легкодоступная почвенная вода (RAW).

$$RAW = P \times TAW, \quad (2.22)$$

где RAW - легкодоступная почвенная вода в корневой зоне (мм), аналогичен допустимому управлению истощением; P: средняя доля общей доступной почвенной воды (TAW); которая может быть истощена из корневой зоны до того, как произойдет стресс влаги почвы (уменьшение Эвапотранспирация) (значение P находится между 0 - 1).

Фактор p отличается от одного урожая к другому (таблица 2.5); обычно варьируется от 0,30 для растений мелких корней и очень чувствительных к состоянию засухи / дня до 0,70 для растений глубоких корней, которые хорошо адаптированы к засухе / дневному состоянию. Значение 0,50 для p обычно используется для многих культур.

Таблица 2.5 – Диапазоны максимальной эффективной глубины укоренения (Zr) и фракции обеднения почв без стресса (p) для обычных культур (Allen et al., 1998)

культура	Максимальная глубина корня (м)	P фракция (для ET $\cong$ 5 мм)
чеснок	0.3-0.5	0.3
редис	0.3-0.5	0.3
помидоры	0.7-1.5	0.4
картошка	0.4-0.6	0.35
клубника	0.2-0.3	0.2
Хлопок	1-1.7	0.65
дерновая трава		
прохладный сезон	0.5-1	0.4
теплый сезон	0.5-1	0.5
финиковые пальмы	1.5-2.5	0.5
Яблоня, вишня, груши	1-2	0.5

Из вышеупомянутого анализа; доступность грунтовых вод к растениям мною упрощена до четырех категорий: состояние насыщения, легкодоступная вода, вода которая может быть поглощена, но под действием стресса и воды, которые не могут быть использованы. Цель хорошо управляемой программы орошения состоит в том, чтобы поддерживать

влажность почвы между полевой влагоемкостью и точкой допустимого истощения или, другими словами, убедиться, что всегда есть доступная вода и что растения не испытывают водного стресса (Рисунок 2.9).

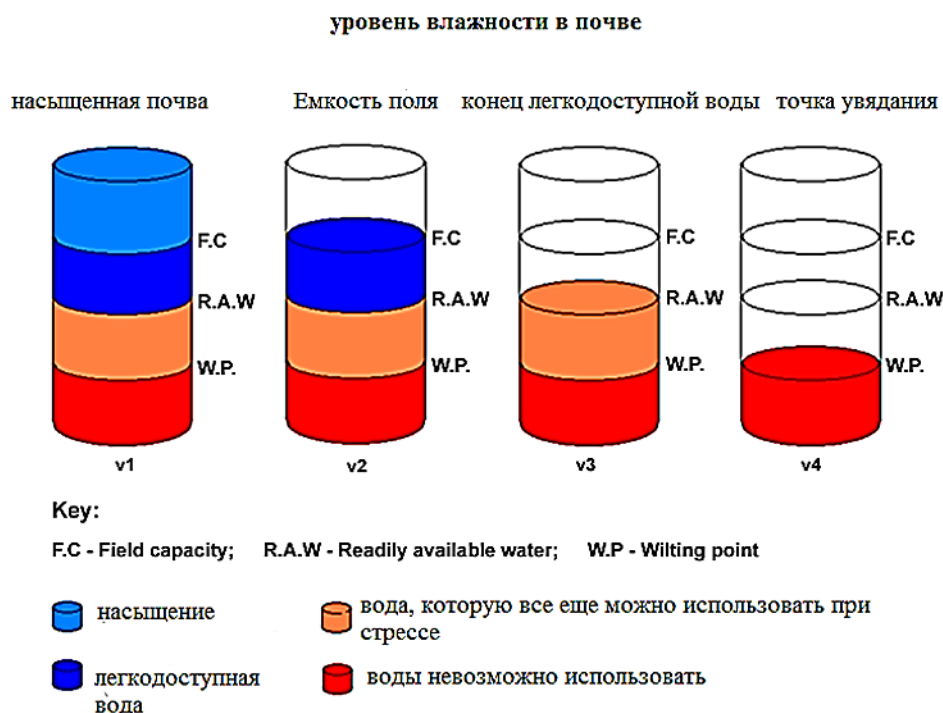


Рисунок 2.9 – Схематическое изображение четырех уровней влажности в почве

Классификация влажности почвы и благоприятные для растений условия влажности почвы обсуждались ранее. Управление орошением, основанное на влажности почвы, направлено на поддержание влажности почвы между полевой влагоемкостью и точкой допустимого истощения или, другими словами, убедиться, что всегда есть доступная вода и что растения не испытывают водного стресса рисунок (2.10).

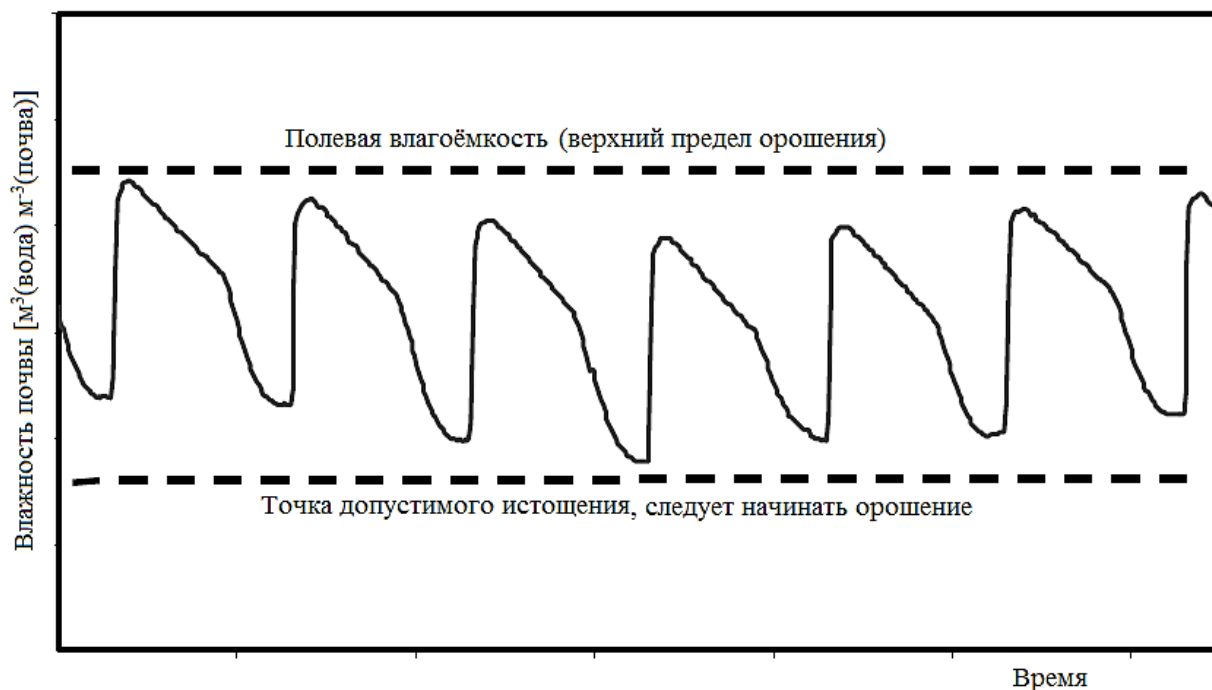


Рисунок 2.10 – показывающее содержание влаги в почве, при котором полив должен начинаться / заканчиваться, на основе показаний датчиков влажности

Пример управления орошением на основе показаний влажности почвы показан на показаниях влажности почвы (измеренных датчиками FDR-частое повторение) для глубин почвы 20см и 30CM показан на рисунке (2.11). Объемы оросительной воды были добавлены вместе с кумулятивной эвапотранспирацией за вычетом осадков, а оросительные мероприятия были проведены произвольно и были определены и уточнены с течением времени на основе опыта фермера.

График демонстрирует ценную информацию о влажности почвы, которую можно использовать для принятия решений по управлению орошением. Видно, что орошение на 14 декабря была позже чем идеально. Это показано датчиком 20cm (синяя линия), перемещающийся ниже «точки пополнения-точка допустимого истощения» (горизонтальная красная линия). На графике также видно, что орошение произошло раньше оптимального 21 декабря, но

было хорошо рассчитано 28 декабря. Оба дождевых события (2 и 19 декабря) увеличили влажность почвы на глубине 20 и 30 см.

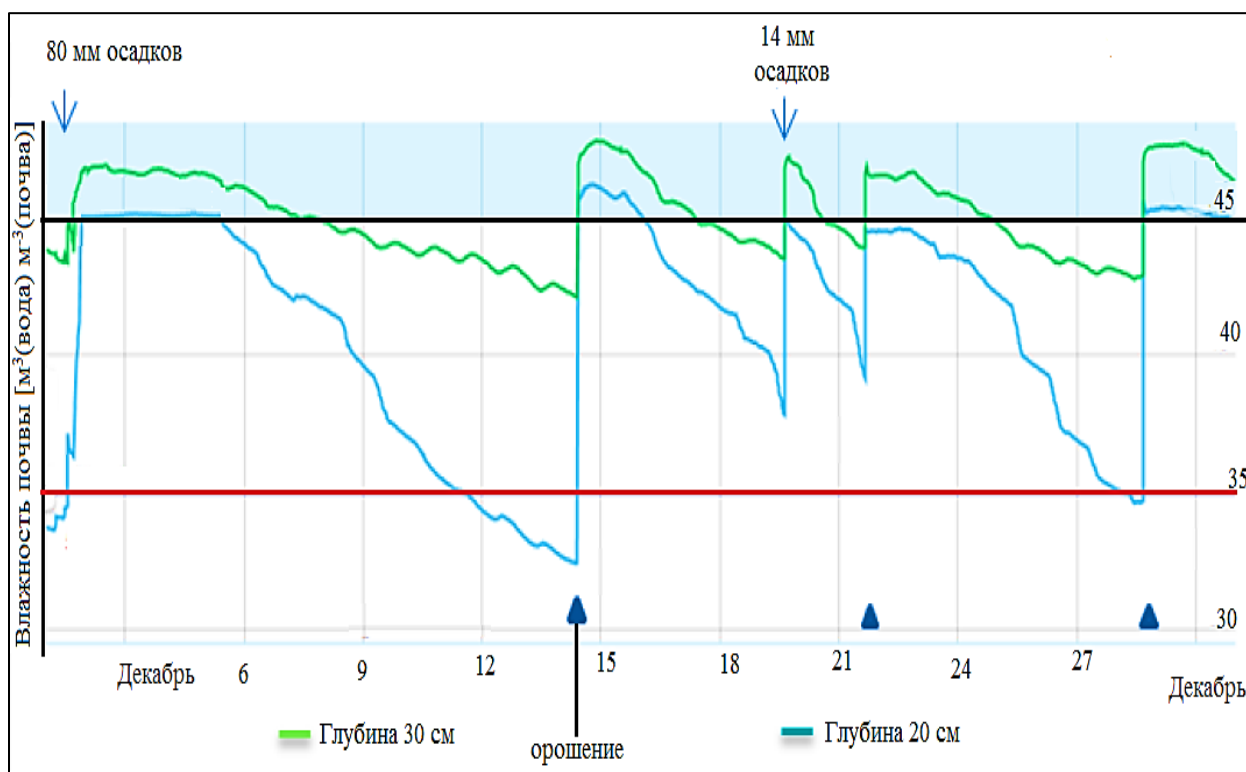


Рисунок 2.11 – Влажность почвы, измеряемая датчиками частотной области (FDR) под поверхностным орошаемым пастбищем

2.6 Анализ методов определения гидравлических пределов орошения (полевая влагоёмкость и точка увядания):

2.6.1 Определения гидравлических пределов орошения на основе текстуры почв

Точные оценки полевой влагоемкости и постоянной точки увядания можно получить, просто зная текстуру почв (Таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Типовые характеристики влажности для различных типов почвы

Тип почвы (Американская классификация текстуры)	Характеристики влажности (M^3/M^3)		
	θ_{FC}	θ_{WP}	$(\theta_{FC} - \theta_{WP})$

почвы)			
Песок	0.07-0.17	0.02-0.07	0.05-0.11
Глинистый песок	0.11-0.19	0.03-0.10	0.06-0.12
Супесь	0.18-0.28	0.06-0.16	0.11-0.15
Суглинок	0,20-0,30	0,07-0,17	0.13-0.18
Иловатый суглинок	0.22-0.36	0.09-0.21	0.13-0.19
Ил	0.28-0.36	0.12-0.22	0.16-0.20
Иловатый тяжелый суглинок	0.30-0.37	0.17-0.24	0.13-0.18
Иловатая глина	0.30-0.42	0.17-0.29	0.13-0.19
Глина	0.32-0.40	0.20-0.24	0.12-0.20

2.6.2 Оценка пределов орошения на местах (в поле) с помощью датчика влажности почвы

в полевых условиях; оценки полевой влагоемкости лучше всего проводить перед вегетационным периодом, так как одно из предположений этой оценки заключается в том, что вода удаляется из профиля почвы только через дренаж из-за силы тяжести, а не путем извлечения растений или испарения.

В репрезентативной части поля перед началом вегетации на почвенных глубинах устанавливают датчики влажности Decagon, на которых должна определяться доступная растению вода. Влажность почвы проверяется сразу после полива или дождя. По прошествии трех дней в большинстве почв уровни содержания воды перестанут существенно изменяться, что предполагает, что оставшееся содержание воды (при условии отсутствия испарения или транспирации) считается полевой влагоемкостью.

В приведенном ниже примере (рисунок 2.12), датчики влажности почвы Decagon 5TE установлены в иловой суглинистой почве на 0,5 м и 1 м на винограднике. 13 и 17 ноября два значительных осадка повысили содержание воды на обеих глубинах. Из рисунка; после второго события 17 ноября очевидно, что почвенные воды уменьшаются, а затем, наконец, выравниваются. Около 25 ноября уровни содержания воды перестают быстро

изменяться, что свидетельствует о замедлении удаления воды из профиля почвы из-за силы тяжести. Сделан вывод, что полевая влагоёмкость составляет 0,25 и 0,20 м³/м³ на глубинах 0,5 и 1 м соответственно.

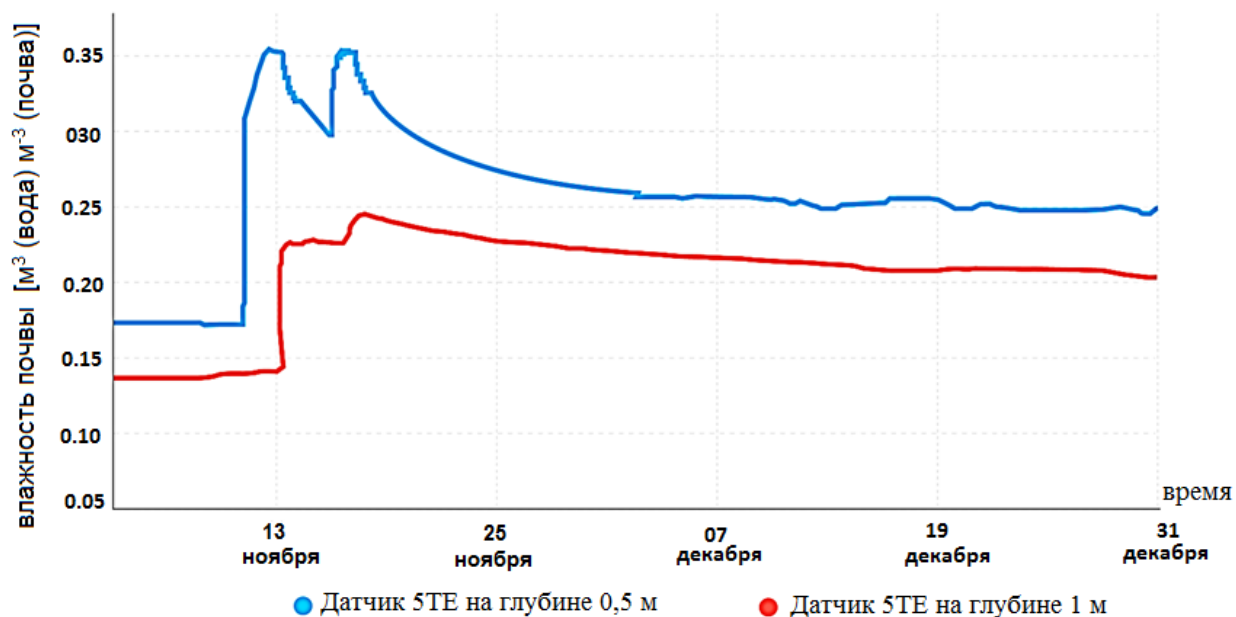


Рисунок 2.12 – Оценка полевой влагоемкости с помощью датчиков влажности почвы Decagon 5TE на разных глубинах

Пределы орошения также могут быть оценены с помощью блока электрического сопротивления, который измеряет влажность почвы, такого как датчик WatermarkTM (Irrometer Co., Riverside, CA). Эти блоки постоянно установлены в почве, а провода от датчиков подключены к портативному устройству, которое измеряет электрическое сопротивление. Измерения сопротивления затем связаны с водным потенциалом почвы, что является показателем того, насколько сильно корни растения должны «тянуть», чтобы извлечь воду из почвы.

Портативное устройство сообщает о влажности почвы в сантибарах, где значения, близкие к нулю, указывают на влажную почву, а высокие значения представляют сухую почву. Предполагается, что полевая влагоёмкость и

постоянная точка увядания представляют собой содержание воды в почве при потенциале - 0,33 и - 15 отрицательная гидравлическая давления или всасывания почвы бар соответственно.

2.6.3 Лабораторная оценка пределов орошения

Экстракторы давления используются для определения влагоудерживающих характеристик образцов почвы. Образцы смачиваемой почвы помещаются в экстрактор, и применяется известное давление, которое заставляет удалять любую воду, удерживаемую в почве при более низком давлении (рисунок 2.13). Анализируя образец при нескольких различных напорах при всасывании, можно определить характерное отношение давления к содержанию воды для почвы. Экстрактор давления обычно используется для определения θ_{FC} и θ_{WP} , но это отнимает много времени и трудоемкая процедура; Кроме того, аппарат может быть недоступен во многих лабораториях.



Рисунок 2.13 – экстрактор давления, содержащий образцы почвы для определения влажности почвы при различных уровнях давления всасывания.

Полевая влагоёмкость почвы также можно определить в лаборатории с помощью с помощью диэлектрических зондов TDR и EDR (емкостное). Для этого образцы почвы в горшках насыщаются водой таким образом, что из нижних отверстий горшков сливается лишняя вода. Горшки покрыты пластиковым листом на 2 дня, чтобы предотвратить испарение и обеспечить возможность перераспределения воды вниз. Затем датчики TDR вставляются вертикально с поверхности почвы, чтобы определить полевая влагоёмкость поля.

Упрощенный способ - заключается в добавлении 100 мл воды к 100 мл сухого грунта, помещенной в воронку. Фильтровальная бумага или кусочек ваты (хлопка) помещают в начале шейки (горловины) воронки, чтобы не

допустить вытекания почвенных гранул (рисунок 2.14). Поскольку объем почвы относительно мала; для перераспределения влаги и просачивания достаточно времени ожидания 1 час. Вода, которая покидает почву под действием силы тяжести, собирается в пробирке, и количество воды, оставшейся в почве, равно полевой влагоемкости [].



Рисунок 2.14 – определения влажности почвы, путем фильтрации определенного объема воды через известный объем почвы

2.7 Математическое выражение содержания почвенной воды и управление орошением

Доступность почвенной воды для роста растений могут быть определены либо путем измерения содержания воды в почве, либо путем измерения того, насколько сильно вода удерживается в почве (потенциал почвенной воды).

Для определения содержания воды в почве использовались многие методы, например гравиметрические измерения. Пробы почвы известного объема высушивают до постоянной массы при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$. Разница между массами пробы до и после высушивания принимается равной содержанию влаги. Влажность рассчитывают в виде объемной доли

почвенной влаги. Органическое вещество может окисляться при высушивании. Это не оказывает существенного влияния на определяемую влажность. Однако высушиванию при более низкой температуре, например при 60°C, могут соответствовать меньшие значения влажности. Поэтому не рекомендуется проводить высушивание при температурах ниже 105°C.

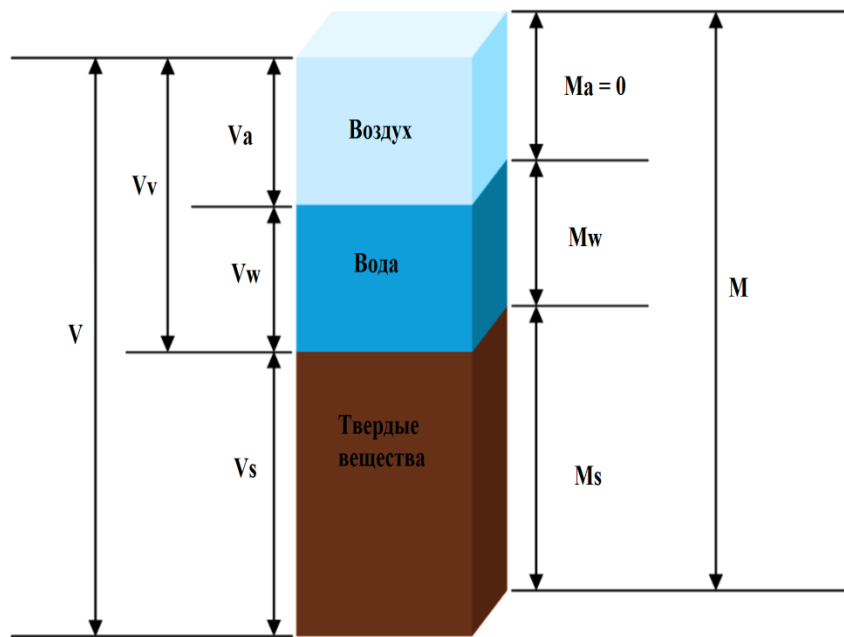


Рисунок 2.15 – Структурный состав почвы, содержащий фракцию почвы (твердые вещества) и поровое пространство для воздуха (воздух) и воды (вода). Диаграмма почвенной смеси иллюстрирующий распределение воды и воздуха, V - полный/насыпной объем почвы, V_s - объем твердых частиц почвы, V_w - объем почвенной воды, V_a - объем почвенного воздуха, V_v - объем пустот в почве ($V_v = V_w + V_a$), M - общая масса почвы, M_s -масса твердых частиц почвы, M_w -масса воды в почве, M_a -масса почвенного воздуха.

Анализ рисунка (2.15) видно, что, содержание воды в почве определяется как по отношению к массе сухой почвы

$$\theta_M = \frac{M_w}{M_s}, \quad (2.23)$$

или по объему почвы

$$\theta_v = \frac{V_w}{V}, \quad (2.24)$$

$$V_w = \theta_v \times V, \quad (2.25)$$

где θ_m - содержание воды в почве по массе (%); M_w - масса воды, (г, кг); M_s - масса сухой почвы (г, кг); V_w - объем воды,(см³); V - суммарный (полный) объём почвы, (см³).

используя Уравнение ($\rho = \frac{m}{V}$):

$$\theta_v = \frac{\frac{M_w}{\rho_w}}{\frac{M_s}{\rho_b}} = \frac{M_w}{\rho_w} \times \frac{\rho_b}{M_s} = \frac{M_w}{M_s} \times \frac{\rho_b}{\rho_w}, \quad (2.26)$$

$$\gamma_b = \frac{\rho_b}{M_s}, \quad (2.27)$$

$$\therefore \theta_v = \theta_m \times \gamma_b, \quad (2.28)$$

где γ_b - относительная плотность почвы (безразмерный параметр).

и, следовательно, объемное содержание воды в почве может быть выражено как

$$V_w = \theta_m \times \gamma_b \times V, \quad (2.29)$$

Вышеупомянутое уравнение может быть использовано для расчета требуемой нормы орошения, которая является оптимальной с учетом роста растений и глубины их корней:

$$A \cdot d = \theta_m \times \gamma_b \times A \cdot D, \quad (2.30)$$

$$d = \theta_m \times \gamma_b \times D, \quad (2.31)$$

где A - площадь поля (га или м²) d - количество поливной воды в мм; D - глубина корня растения (мм);

при орошении содержание влаги в почве поддерживается в пределах оптимально доступной влажности почвы

$$d = (\theta_{fc} - \theta_{wp}) \times P \times \gamma_b \times D, \quad (2.32)$$

$$d = RAW \times \gamma_b \times D, \quad (2.33)$$

Анализ методов определения θ_{fc} , θ_{wp} обсуждались ранее. управление орошением основано на пополнении почвы до оптимального уровня влажности, только после истощения этой влаги в процессе эвапотранспирации. поэтому интервал между поливами рассчитывается следующим образом:

$$II = \frac{d}{ET}, \quad (2.34)$$

где- II: Интервал орошения или время между двумя событиями орошения (в днях); ET- Эвапотранспирация ММ / день.

2.8 Критерии расположения/позиционирования датчиков влажности почвы

Эффективная глубина корневой зоны определяется как верхняя часть корневой зоны, где растения получают большую часть запасенной влаги и питательных веществ. Это важно:

- (1) Определить объем почвы, в котором растения могут потенциально извлекать воду
- (2) Установить схемы поглощения и переноса воды в континуальной системе почва-растение-атмосфера
- (3) Выберите подходящие глубины полива и репрезентативные места мониторинга для почвенной воды.

эффективная корневая зона должна оцениваться как половина максимальной глубины корня. 70% влаги, извлекаемой корнем, получается в верхней половине корневой зоны; около 20% с третьего квартала; и около 10% от почвы в самой глубокой четверти корневой зоны. Применение оросительной воды должно быть ограничено количеством, которое будет проникать только на эффективную глубину корневой зоны. Применения

свыше этого количества приведут к потере воды и дополнительным затратам на перекачку.

Таблице 2.7 - Эффективная глубина извлечения влаги корневой зоны в неограниченных почвах (верхние 50% корневой зоны).

культура	Эффективная глубина корневой зоны (в дюймах)	культура	Эффективная глубина корневой зоны (в дюймах)
редис	6	пшеница	24
салат	6	кукуруза	24
Однолетние цветы	6	овес	24
клубника	6	соевые бобы	24
сельдерей	12	виноград	36
огурцы	18	лук	12
баклажан	18	перец	18
морковь	18	помидоры	24
свеклы	18	яблоки	30
горох	18	люцерна	36
арбузы	24	лук зеленый	6
спаржа	36	картофель	18

Группировка растений в гидрозоны - это подход к проектированию ирригации и посадки растений, когда растения с одинаковыми потребностями в воде группируются вместе. В идеале, каждая зона оросительной системы будет снабжать растения с одинаковыми потребностями в воде с соответствующим количеством воды. Районы с различными потребностями в воде зонироваться отдельно. Орошаемые участки должны быть сгруппированы по зонам с аналогичными характеристиками (почвами, типа растений, мульчи, воздействие солнца и т.д.). Каждая зона должна контролироваться и орошаться отдельно, чтобы максимизировать эффективность использования воды.

Датчики влажности почвы следует размещать в средней точке эффективной корневой зоны растения или культуры. В Таблице 2.7

приведены рекомендации по эффективной глубине укоренения для различных культур. Кроме того, датчики могут быть установлены для обеспечения единой точки и эталона глубины или для обеспечения профиля грунтовых вод с использованием датчиков, которые измеряют объемное содержание воды на дополнительных глубинах. Датчики должны быть в хорошем контакте с почвой после заглубления; вокруг датчика не должно быть воздушных зазоров. Почва должна быть упакована твердо вокруг датчика, любая потеря контакта между зондом и почвой может привести к большим ошибкам измерения. Для управления полива; весь датчик расположен вертикально в почве. с другой стороны, горизонтальная ориентация датчика обеспечивает измерение на определенной глубине почвы.

Один датчик влажности почвы может использоваться для управления поливом для многих зон (где зона орошения определяется электромагнитным клапаном), или несколько датчиков могут использоваться для полива отдельных зон. В случае одного датчика для нескольких зон, зона, которая обычно является самой сухой или наиболее нуждается в поливе, выбирается для размещения датчика, чтобы обеспечить достаточное полив во всех зонах.

Датчики влажности почвы также должны быть размещены в месте, которое получает свет, чтобы учесть эффекты испарения почвы и растений; место также должно быть там, где поверхностный сток не могут накапливать и давать неточные показания. Области, которых следует избегать, включают непроницаемые слои почвы, зоны интенсивного движения и грядки растений разных видов.

Создание четкой картины условий влажности в корневой зоне требует проведения измерений на нескольких глубинах в каждом месте зонда. Влажность следует измерять в нескольких местах по всей глубине корневой

зоны и объединять в единую «резюме / сводку корневой зоны». Усреднение измеренных значений по нескольким показаниям глубины позволяет избежать ошибок, которые могут возникнуть в результате отказа или повреждения одного из датчиков (Рисунок 2.16, 2.17).

Несколько показаний глубины обеспечивают хороший показатель средней влажности по всей корневой зоне, а также могут предоставить важную информацию о влажности на определенных глубинах. Например, группа датчиков в корневой зоне может использоваться для оценки влажности, доступной для растения, в то время как более глубокий датчик ниже корневой зоны может измерять глубокую перколяцию воды (ниже ее доступности для растения).

Множественные показания глубины могут быть получены либо с помощью многоуровневого датчика влажности почвы «датчик профиля влажности», либо нескольких точечных измерительных датчиков (рисунок). Примерами зондов для профиля влажности являются зонд PR2, производимый компанией Delta-T, Великобритания, и EnviroSCAN с 5 датчиками размещены с интервалами глубиной 10 см, произведенный SenTek, США (Рисунок 2.18).

Самый мелкий датчик должен быть расположен на 10 см ниже поверхности почвы; самая глубокая должна быть как минимум на 20% глубже, чем дно корневой зоны зрелого (развитой) растения. Дополнительные датчики должны быть расположены с шагом 10-15 см в пределах этого диапазона.



Рисунок 2.16 – Многократные показания влажности почвы по всей корневой зоне - Датчик влажности почвы типа электропроводности



Рисунок 2.17– Многократные показания влажности почвы- Датчики влажности почвы Decagon 5TM диэлектрические зонды TDR (емкостные)

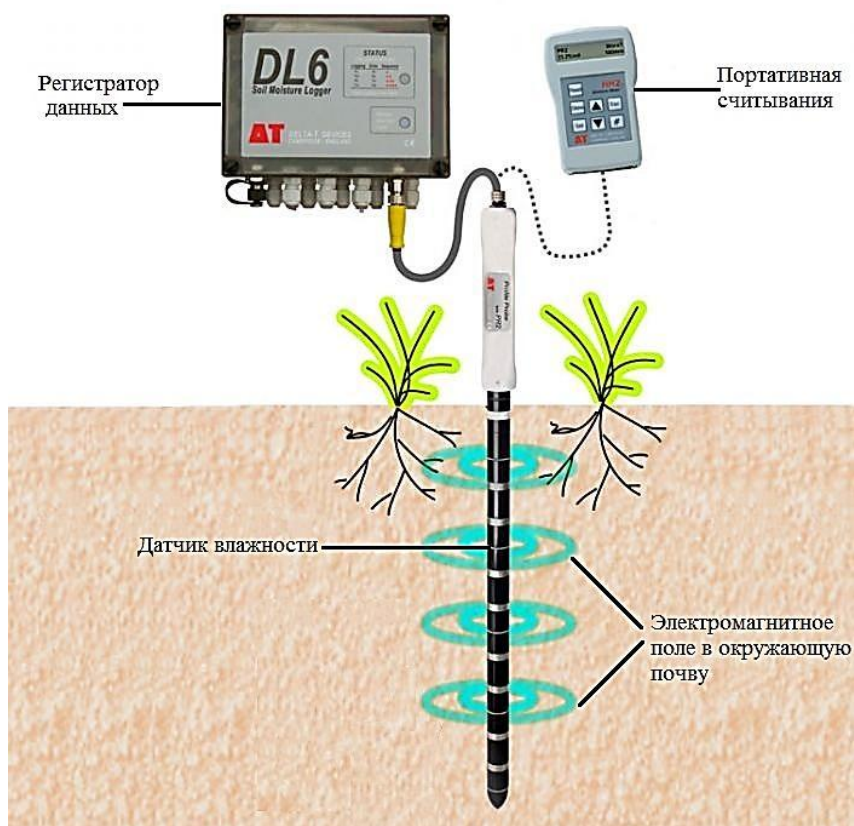


Рисунок 2.18 –Множественные глубинные показания влажности почвы, измеренные многоглубинным зондом влажности почвы PR2 «Зонд влажности профиля»

В садовых и многолетних деревьях; Рекомендуется, по крайней мере, три глубины, которые охватывают корневую зону раннего и среднего роста, а также ниже корневой зоны. Датчики влажности почвы на разных глубинах обеспечивают оценку полевой влагоемкости на любой заданной глубине, для каждого этапа роста урожая. на рисунке 2.19 датчики влажности почвы “Decagon EC-5” установлены в песчаной почве на глубине 15, 30, 45 и 90 см.

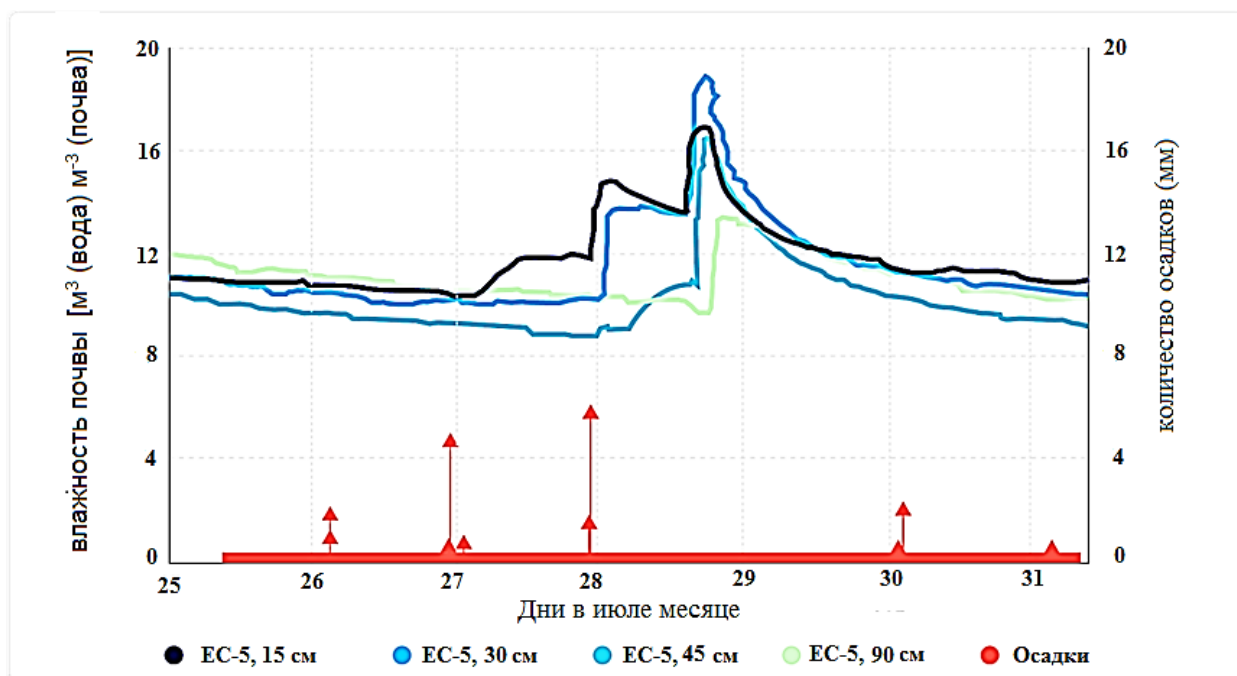


Рисунок 2.19 –наблюдение влажности почвы на разной глубине почвы с помощью 4-х датчиков

28 июля два крупных явления выпадения осадков увеличили содержание воды во всем профиле почвы. С рисунка; потребовалось почти один полный день для дождевой воды, чтобы достичь датчиков. Таким образом, пиковое содержание влаги в почве начинается с 29, а не с 28 июля. Ясно, что почвенная вода быстро уменьшается, а затем, наконец, выравнивается где-то между 30 и 31 июля, или через два-три дня после сильного осаждения, свидетельствующего о том, что удаление воды из профиля почвы из-за гравитации замедлилось. Датчики влажности почвы на разных глубинах обеспечивают оценку полевой влагоемкости на любой заданной глубине. Исходя из рисунка, делается вывод, что полевая влагоемкость на 45 см составляет 10% θ_v .

2.9 Анализ атмосферных факторов, влияющих на потребности растений в воде (Эвапотранспирация)

Эвапотранспирация это испарение и транспирация или суммарное испарение воды растениями и поверхностью почвы, выражается в мм водяного столба за определенное время. Испарение характеризуется процессом преобразования воды в пар (парообразование) и удаления с испаряющей поверхности (удаление пара). Вода испаряется с множества поверхностей, как, например, озера, реки, почвы и с поверхности растительности. Для преобразования молекул воды в молекулы пара требуется энергия. Эта энергия обеспечивается прямой солнечной радиацией и, в меньшей степени, температурой воздуха. Движущей силой, отрывающей пар от поверхности испарения, является разница между давлением паров воды на испаряющей поверхности и в атмосфере. По мере испарения окружающий воздух насыщается паром, процесс испарения замедляется и может прекратиться, если влажный воздух не будет перемещен в атмосферу. Замена насыщенного влагой воздуха более сухим зависит в основном от скорости ветра. Следовательно, при рассмотрении процесса испарения основными факторами являются: солнечная радиация, температура воздуха, влажность воздуха и скорость ветра.

Транспирация процесс превращения воды, содержащейся в тканях растений, в пар и его перемещения в атмосферу. Почти вся вода, взятая корнями из почвы, расходуется на транспирацию и лишь незначительная ее часть используется внутри растения. Транспирация, подобно прямому испарению, зависит от поступления энергии, градиента давления пара и скорости ветра. Следовательно, при оценке транспирации необходимо рассматривать такие факторы, как радиация, температура воздуха, влажность воздуха и параметры ветра. Влажность почвы и ее способность поставлять

воду корням определяют скорость транспирации, так же, как и подтопление земель и их засоленность. На скорость транспирации влияют также характеристики растений, экологические аспекты и практика земледелия. Различные виды растений могут иметь различную скорость транспирации. При оценке транспирации следует учитывать не только тип растения, но его развитие, окружение и управление.

Испарение и транспирация происходят одновременно и нелегко отличить эти два процесса. Кроме наличия влаги в почве, для почв, покрытых растительностью, важна часть солнечной радиации, достигающая поверхности. Эта часть уменьшается в вегетационный период, когда кроны растений затеняют все большую площадь. Пока растение маленькое, вода расходуется в основном на испарение с почвы, но по мере развития растение покрывает почти всю площадь и транспирация начинает преобладать.

Основными метеопараметрами, влияющими на эвапотранспирацию, являются: радиация, температура воздуха, влажность и скорость ветра. Для оценки интенсивности испарения по этим параметрам разработаны некоторые параметры. Испаряющая сила атмосферы выражается эталонной эвапотранспирацией (ЕТо). ЕТо представляет собой эвапотранспирацию со стандартной растительной поверхности.

При оценке эвапотранспирации с культивируемых полей рассматриваются: тип растения, изменчивость и стадии развития. Различия в сопротивлении транспирации, высота растений, их неоднородность, отражательная способность, покрытие площади и характеристика корневой системы растений выражаются в различном уровне ЕТ при различных типах культур при одинаковых экологических условиях. Эвапотранспирация растений при стандартных условиях (ЕТс) соотносится с испарением растениями, растущими на больших полях при оптимальной влажности

почвы, отличном управлении и экологических условиях и достигающими полной производительности при данных климатических условиях.

Эталонная эвапотранспирация (ЕТо)

Скорость эвапотранспирации с эталонной поверхности без дефицита воды называется эталонной эвапотранспирацией и обозначается как ЕТо. За эталонную поверхность принимается гипотетический травяной покров со специфическими характеристиками. Единственными факторами, влияющими на ЕТо, являются климатические параметры. Следовательно, ЕТо является климатическим параметром и может быть подсчитана, исходя из метеоданных. ЕТо выражает испаренную силу атмосферы в конкретной местности и для конкретного времени года и не зависит от сельхозкультур или типа почвы.

Эвапотранспирация культур в стандартных условиях (ЕТс)

ЕТс является эвапотранспирацией с хорошо удобренных, здоровых культур, выращенных на большом поле в оптимальных условиях увлажнения почвы и достигшие полной продуктивности в данных климатических условиях.

Для более точного управления водными ресурсами, эффективного управления ирригации и определения взаимодействия земли и атмосферы; необходима точная оценка эвапотранспирации урожая.

Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) предложила в 1998 году формулу для расчета эталонной эвапотранспирации. Полученные достоверные результаты в различных климатических условиях по всему миру позволяют широко использовать этот метод. (Allen, 2000; Suleiman et al., 2007; Bodner et al., 2007).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}, \quad (2.35)$$

где E_{To} - эталонная эвапотранспирация, [мм сут⁻¹]; R_n - чистая радиация на поверхности растений, [МДж м⁻² сут⁻¹]; G - плотность теплового потока почвы, [МДж м⁻² сут⁻¹]; T - среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м [°C]; u_2 - скорость ветра на высоте 2 м [м с⁻¹]; e_s - давление пара насыщения [кПа]; e_a - фактическое давление [кПа]; $(e_s - e_a)$ - дефицит давления пара насыщения [кПа]; Δ - уклон кривой давления пара [кПа °C⁻¹]; γ - психрометрическая постоянная [кПа °C⁻¹].

Для того, чтобы адаптировать к наличию различных данных, были предложены четыре метода определения эталонной эвапотранспирации: метод Блани-Криддла, метод радиации, и метод эвапориметра. Все эти климатические методы были калиброваны для расчетов на длительные периоды времени или на месяц, но не для одного дня или нескольких часов.

Испарение из емкости, наполненной водой, легко может быть определено. В отсутствие дождя количество воды, испарившейся из емкости, соответствует понижению уровня воды за этот период. Эвапориметр измеряет интегральное воздействие радиации, ветра, температуры и влажности по испарению с открытой водной поверхности. Хотя прибор реагирует одинаково на сходные климатические факторы, влияющие на транспирацию растениями, некоторые факты образуют существенную разницу в потере воды с водной поверхности и орошаемой площади. Отражение солнечной радиации водой в мелкой емкости может отличаться от 23 %, принятых для эталонной травяной поверхности. Накопление тепла внутри емкости может вызвать существенное испарение в ночное время, в то время, как большинство растений транспирируют лишь в дневное время. Имеются различия и в турбулентности, температуре и влажности воздуха непосредственно над соответствующей поверхностью. Кроме того, имеет место передача тепла через стенки емкости, что влияет на энергетический

баланс. Предполагалось, что эвапориметр даст приемлемые результаты в зависимости от его расположения.

Несмотря на разницу между испарением из емкости и эвапотранспирацией с засаженной поверхности, может быть гарантировано использование эвапориметров для предсказания ET_o для периодов 10 дней и более. Испарение с эвапориметра соотносится с эталонной эвапотранспирацией через эмпирически определенный коэффициент эвапориметра:

$$ET_o = K_p E_p, \quad (2.36)$$

где ET_o - эталонная эвапотранспирация [мм/сут]; K_p - коэффициент эвапориметра [-] K_p варьируется от 0,35 до 0,85. Среднее Значение $K_p = 0,70$; E_p - испарение из эвапориметра [мм/сут].

предлагается метод Блани-Криддла для площадей, где есть данные только по температуре воздуха. Метод Блани-Криддла рекомендован для периодов в 1 месяц и больше. Пользователи соблюдают эти условия не всегда и иногда расчеты производятся на ежедневной основе.

$$ET_o = P (0.46 T_{mean} + 8), \quad (2.37)$$

где ET_o - эталонная эвапотранспирация, [мм/сут]; P - процент годовых дневных часов (зависит от широты и месяца года); T_{mean} - среднесуточная температура, ($^{\circ}C$).

Метод радиации был предложен для площадей, где метеоданные содержат измеренные значения температуры воздуха и солнечного сияния, облачности и радиации, но без замеров скорости ветра и влажности воздуха. Зная падающую на землю солнечную радиацию, метод определения эталонного эвапотранспирация

$$ET_o = R_s (0.025 t + 0.08), \quad (2.38)$$

где R_s - чистая радиация на поверхности почвы, [МДж m^{-2} сут $^{-1}$]; t - среднесуточная температура, ($^{\circ}C$).

Для расчета фактической эвапотранспирации, на которую влияют признаки растительности, водный стресс и характер поверхности почвы, можно использовать следующее уравнение (Allen et al., 1998):

$$ET_a = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o, \quad (2.39)$$

В условиях водного стресса $K_s < 1$. При отсутствии водного стресса $K_s = 1$. K_s описывает действие водного стресса на транспирацию растений. При использовании единичного коэффициента культуры, действие водного стресса объединяется в K_s как:

$$ET_a = K_s K_c ET_o, \quad (2.40)$$

где ET_a - действительная (фактическая) эвапотранспирация, [мм сут⁻¹]; K_s - Коэффициент водного стресса; K_{cb} - базовый коэффициент культуры; K_e - коэффициент испарения с почвы

Эвапотранспирация культуры рассчитывается умножением ET_o на K_s коэффициент, выражающий разницу в эвапотранспирации между сельхозугодьями и эталонной травяной поверхностью. Разница может быть объединена в едином коэффициенте или может быть разбита на два фактора, описывающих отдельно разницу в испарении и транспирации между двумя поверхностями. Выбор подхода зависит от целей расчета, требуемой точности, наличия климатических данных и временных интервалов расчета.

$$ET_a = ET_c = K_c ET_o, \quad (2.41)$$

коэффициент культуры

Базовый коэффициент культуры (K_{cb}) определен как отношение эвапотранспирации растений к эталонной эвапотранспирации (ET_c/ET_o). Различные посевы используют разное количество воды в течение своего

вегетационного периода. Основные факторы, влияющие на потребность в воде, включают следующее:

- тип урожая;
- культурный сорт растения / вид;
- стадия роста;
- площадь листа;
- тип листа, устьичное поведение;
- длина и плотность корней.

K_{cb} является индикатором индекса площади листьев LAI (который определяется как односторонняя зеленая площадь листа на единицу площади поверхности земли), и он представляет способность культур транспирация в воду. В начале сезона сельскохозяйственных культур после прорастания; значение K_{cb} очень низкое и достигает максимального значения в середине сезона, когда урожай достиг своего максимального вегетативного развития (рисунок 2.20).

Из-за различий в структуре роста различные культуры или даже разные сорта одного и того же урожая показывают различный спрос на испарение. Длительность урожая напрямую влияет на общую потребность в воде. Сорт пшеницы со сроком созревания 150 дней будет использовать больше воды, чем 120 дней. Время посадки урожая или сезон оказывают влияние на спрос на сельскохозяйственную воду из-за дифференциальной картины энергии для эвапотранспирации.

Некоторые культуры выращиваются как зимой, так и летом / весной. Для урожая летнего сезона, безусловно, потребуется больше воды, чем зимой. Для более молодых растений требуется меньше воды, чем для взрослых. Кроме того, влияние листьев (испарительная поверхность) и

устычного закрытия влияет на эвапотранспирация. В аналогичных условиях окружающей среды растение, имеющее небольшую площадь листа и корневую систему, требует гораздо меньше воды, чем растение с более высокой площадью листа и плотной корневой системой. Кроме того, население сельскохозяйственных культур может влиять на спрос на эвапотранспирацию - снижение численности населения приведет к меньшему эвапотранспирации. Другими факторами, определяющими общую потребность в сельскохозяйственных культурах, являются вегетационный сезон (зима или весна) и продолжительность периода роста (короткий или длительный культурный сорт). В таблице (2.8) значения K_{cb} для некоторых общих культур.

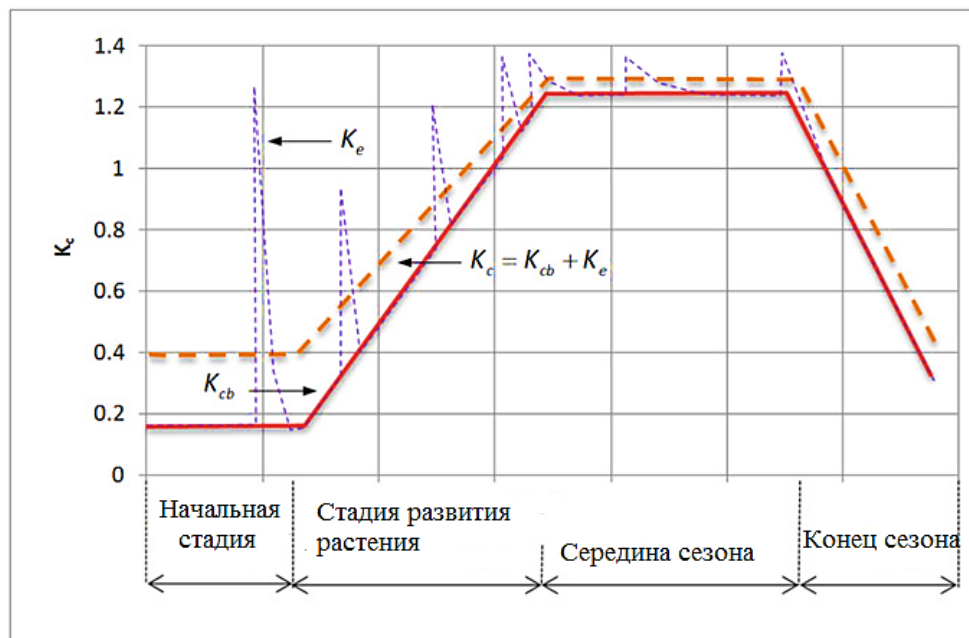


Рисунок 2.20 - Кривые коэффициента урожая, показывающие базальный K_{cb} , испарение почвы K_e и соответствующий единый коэффициент урожая K_c

$$K_c = K_{cb} + K_e, \quad (2.42)$$

Таблица 2.8 - Коэффициент урожайности для некоторых общих культур (Allen et al., 1998)

культура	K_{cb} initial	K_{cb} mid	K_{cb} end
Чеснок	0.15	0.95	0.85
Помидор	0.15	1.2	0.6 – 0.8
Картошка	0.15	1.1	0.28
клубника	0.3	0.8	0.7
Хлопок	0.15	1.1-1.15	0.5-0.4
Трава			
прохладный сезон	0.85	0.9	0.9
теплый сезон	0.75	0.08	0.8
Дата Пальмы	0.8		0.85
Яблоки, Вишня	0.2	1.0	0.4

Коэффициент стресса воды K_s

В почве водный стресс приводит к уменьшению величины коэффициента культур; это описывается путем умножения коэффициента урожая на коэффициент стресса воды K_s (в результате уменьшение доступной воды для эвапотранспирации, уравнения 2.10 и 2.11). Когда содержание воды в поверхности почвы ограничено или когда общее количество воды, которое может быть испарено с поверхности почвы, истощено, K_s становится нулевым. После обильных осадков или орошения, содержание влаги в поверхности почвы находится на уровне полевой влагоемкости. Поверхность почвы остается влажной и предполагается, что испарение с обнаженной почвы в атмосферу будет происходить при максимальной скорости, и поддерживается до кумулятивной глубины испарения D_r .

Извлечение почвенной воды путем эвапотранспирации увеличивает кумулятивную глубину испарения, и когда D_r становится равным или превышает RAW; стресс будет вызван, а истощение корневой зоны будет достаточно высоким, чтобы ограничить эвапотранспирацию до менее потенциальных значений (рисунок 2.21).

- Если легкодоступная вода (RAW) не была полностью исчерпана, то:
 $K_s=1$
- Если RAW уже исчерпан, тогда

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW}, \quad (2.43)$$

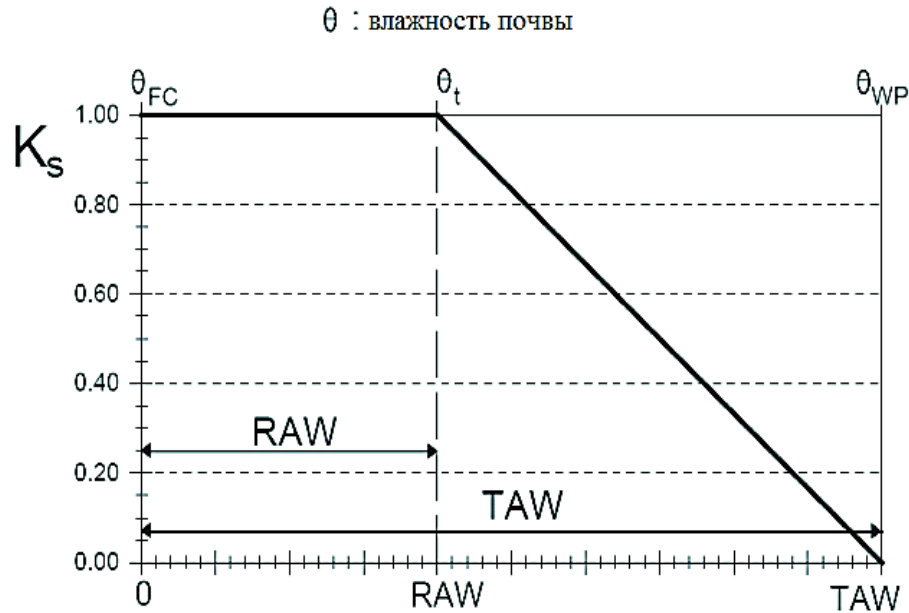


Рисунок 2.21 - Коэффициент водного стресса

Коэффициент испарения с почвы

Коэффициент испарения с почвы K_e описывает компонент испарения E_{Ts} с поверхности почвы. При влажной поверхности почвы, после дождя или орошения, K_e будет максимальным. При сухой поверхности значение коэффициента K_e мало и даже равно нулю, если нет воды, расположенной близко к поверхности почвы.

Факторами, непосредственно влияющими на K_e , являются:

- эталонная эвапотранспирация E_{To}
- n = количество дней после события смачивания

- f_w средний участок почвы, увлажненный осадками или орошением (%)
- f_{ew} Обнаженный участок почвы (%)
- Объем инфильтрации

Зависимость K_e от эталонной эвапотранспирации и от количества дней после смачивания подробно описана в таблице 2.9.

Таблица 2.9 - K_e значение в течение первых 20 дней после смачивания события для средних и тяжелых почв (Allen et al., 1998)

	Ке после события смачивания (сценарий для средних и тяжелых почв после инфильтрационного события с глубиной проникновения > 40 мм)										
дни	ЕТо (мм сут-1)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.10	1.05	1.00
2	1.15	1.15	1.15	1.15	1.10	1.00	0.95	0.85	0.80	0.75	0.70
4	1.15	1.15	1.00	0.85	0.70	0.65	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
7	1.15	1.00	0.70	0.55	0.45	0.40	0.35	0.30	0.30	0.25	0.20
10	1.15	0.70	0.50	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.20	0.15	0.15
20	20	1.15	0.35	0.25	0.20	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10

Тогда фактический коэффициент испарения почвы получается как:

$$K_e = K_e(table) \times f_w \times f_{ew}, \quad (2.44)$$

Там, где величина f_c (Таблицы 2.10, 2.11) не измерена, f_c может быть оценена, по отношению:

$$f_c = \left(\frac{k_{cb} - k_{cmin}}{k_{cmax} - k_{cmin}} \right)^{(1+0.5h)}, \quad (2.45)$$

где f_c - эффективный участок поверхности почвы, покрытый растительностью [0-0,99]; K_{cb} - значение базового коэффициента культуры для определенного дня или периода; K_{cmin} - минимальное значение K_c для сухой обнаженной почвы без покрытия [$\approx 0,15 - 0,20$]; K_{cmax} максимальный K_c непосредственно после увлажнения (уравнение 72; h - высота растения [м]).

Таблица 2.10 - Общие величины f_w участка поверхности почвы, увлажненного орошением или осадками

Увлажнение	f_w
Осадки	1.0
Дождевание	1.0
Бассейновое орошение	1.0
Контурное орошение	1.0
Бороздковое орошение (каждая борозда), узкие грядки	0.6-1.0
Бороздковое орошение (каждая борозда), широкие грядки	0.4-0.6
Бороздковое орошение (чередующиеся борозды)	0.3-0.5
Капельное орошение	0.3-0.4

Таблица 2.11 - Общие величины участков, покрытых растительностью (f_c) и открытых солнечным лучам ($1-f_c$)

Стадия роста культуры	f_c	$1-f_c (f_{ew})$
Начальная стадия	0.0-1.0	1.0-0.9
Стадия развития культуры	0.1-0.8	0.9-0.2
Стадия середины сезона	0.8-1.0	0.2-0.0
Стадия конца сезона	0.8-0.2	0.2-0.8

3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Лабораторная оценка капельниц

Проектирование сети капельного орошения должно основываться на надежных данных лабораторных испытаний, а не на опубликованных данных производителей. Капельницы должны быть протестированы при различных уровнях давления, и те, которые имеют низкие гидравлические характеристики должны быть исключены [14,16,17 exp res]. И именно поэтому первая часть нашего исследования представлена в лабораторной оценке эффективности системы капельного полива и предлагаемые решения по модернизации экспериментальной установки.

Эксперимент проводился в экспериментальном зале учебно-демонстрационного центра Казанского государственного аграрного университета, г. Казань, Россия.

Экспериментальная установка показана на рисунках 3.1, 3.4 и состоит из: резервуара для воды [1], погружного водяного насоса мощностью 1,5 л.с. [2], пяти боковых капельных линий из ПВХ длиной 3 м и диаметром 16 мм [3]. В начале каждой капельной линии был установлен клапан [4] для ручной регулировки давления на входе до желаемых значений, которые были проверены с помощью манометров [5]. Манометры имеют диапазон измерения от 0 до 0,6 МПа. Клапан [6] использовался на линии манифольда [7] для поддержания требуемой постоянной давления во всей системе. Линия обратной промывки [8] используется для возврата избытка воды в резервуар. Капельницы [9] были прикреплены к стенкам боковых линий на расстоянии 30 см. Пять различных типов капельниц были выбраны для эксперимента. Капельницы были изготовлены компанией Rivulis Eurodrip. три типа из них

классифицируются как капельницы с компенсацией давления (Рисунок 3.2, 3.3).

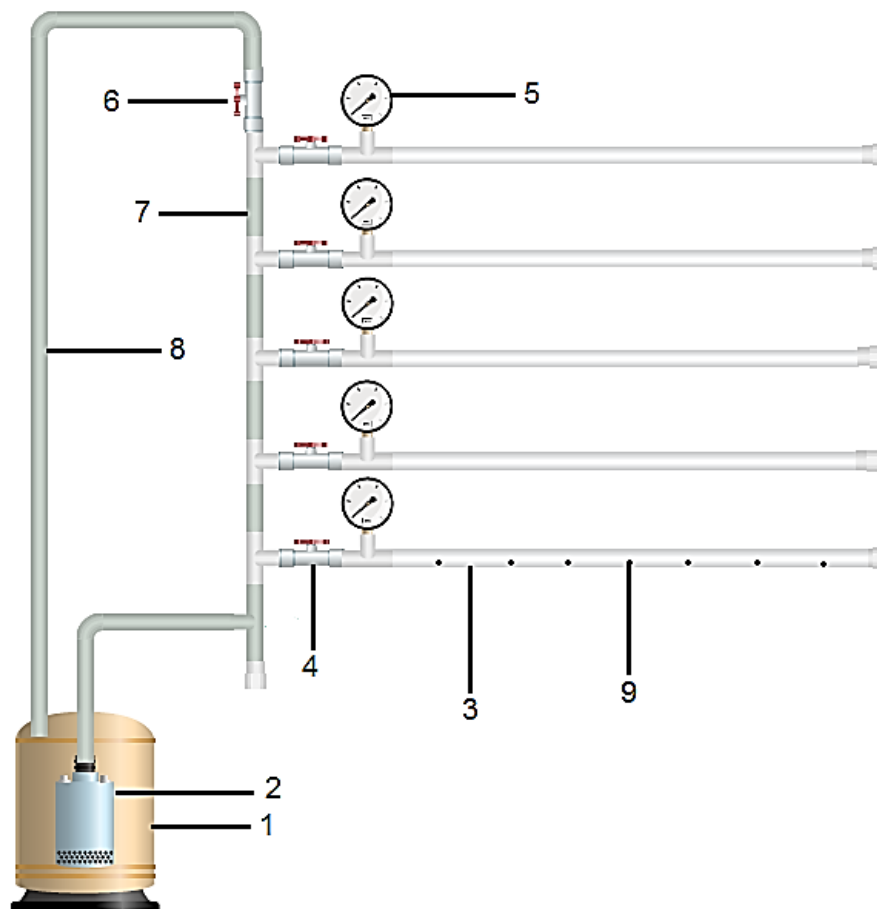


Рисунок 3.1 – Схема экспериментальной установки капельного орошения

В таблице 3.1 указаны тип, символы, номинальные объемные расходы и цвет крышки испытуемых капельниц.

перед началом эксперимента система работала, чтобы удалить любой захваченный воздух и отрегулировать давление на входе в каждой капельной линии до требуемого значения. После этого пластиковые банки объемом 500 мл помещали непосредственно под каждую капельницу. продолжительность эксперимента определялась с помощью секундомера, а количество собранной воды за две минуты измерялось с помощью измерительных весов.

охарактеризовать закономерность изменения расхода капельниц при изменении давления; капельницы были испытаны при трех уровнях давления: 0,05, 0,2 и 0,35 МПа. На каждом уровне давления эксперимент повторяли три раза.



Рисунок 3.2 – Капельницы первого типа, с компенсацией давления



Рисунок 3.3 – Капельницы второго типа, без компенсации давления

Таблица 3.1 – Технические характеристики проверенных капельниц

Тип капельницы	Товарный знак	Символ	Цвет крышки	Номинальный расход (л/ч)
с компенсацией давления	Supertif	A	зеленая	8
		B	черная	3.85
		C	коричневая	2.2
без компенсации давления	E1000	D	черная	4
		E	зеленая	8

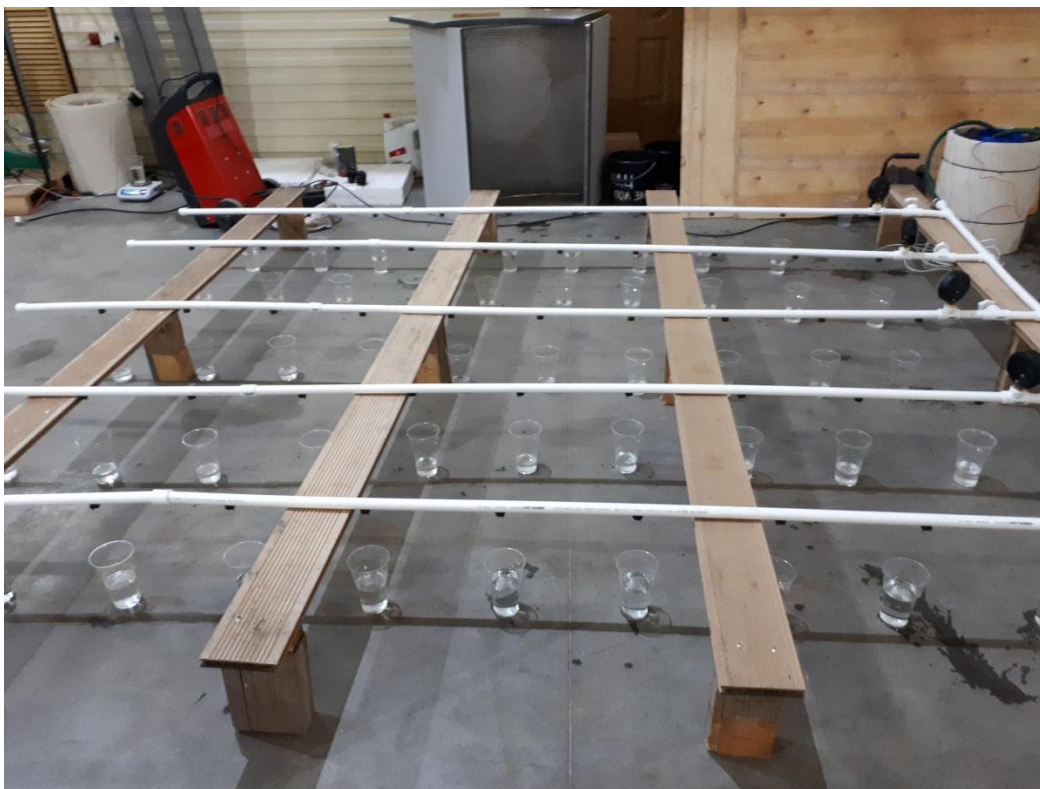


Рисунок 3.4 – Экспериментальная установка во время эксперимента

После лабораторной оценки капельниц, только капельницы, которые показали наилучшую равномерность распределения воды, были отобраны для включения в процесс автоматизации полива на основе датчиков влажности почвы. И было определено, что оптимальное рабочее давление для каждого типа будет поддерживаться во время полевых экспериментов с помощью ручных регулируемых клапанов.

Экспериментальная испытательная установка, показанная на рисунке 3.1, была затем модифицирована путем добавления электромагнитного клапана подачи воды 9, электромагнитных клапанов обратной промывки 10, счетчиков воды 11, и обратной линии промывки от каждой капельной линии 12 (Рисунок 3.5, 3.6 и 3.7).

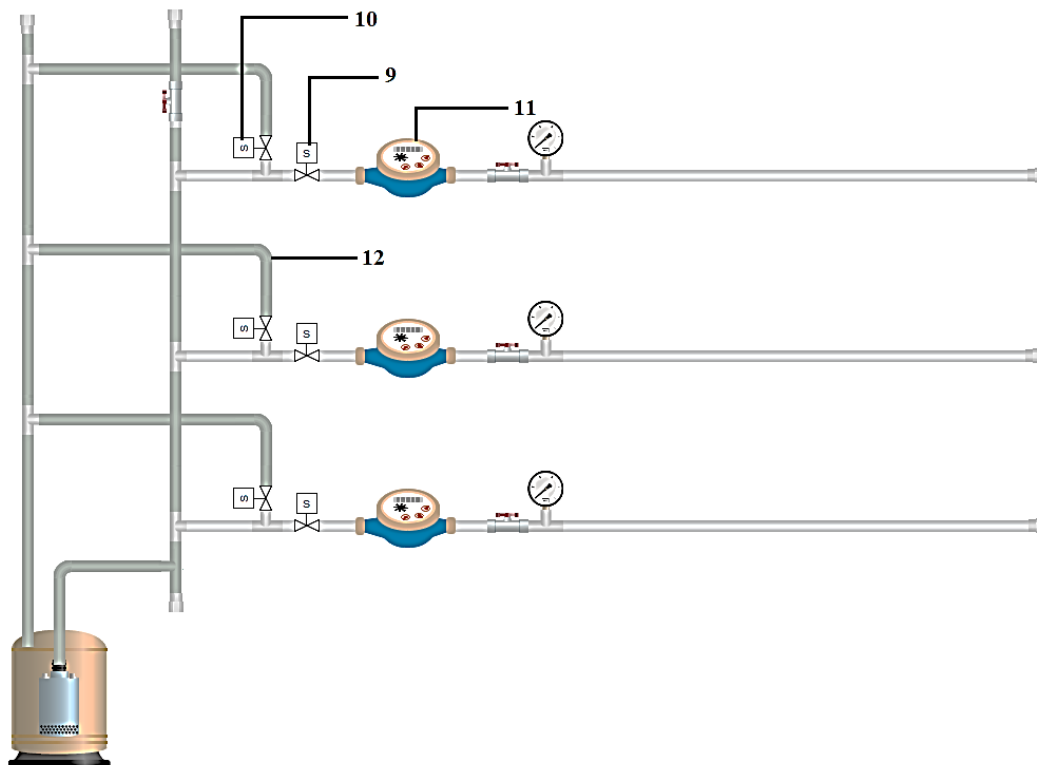


Рисунок 3.5 – модификация испытательной установки с высокопроизводительными капельницами и электромагнитными клапанами



Рисунок 3.6 – подключение электромагнитных клапанов для автоматизации системы



Рисунок 3.7 – подключение электромагнитных клапанов для автоматизации системы

3.2 Модуль автоматического контроля влажности почвы на основе датчиков влажности почвы

Модуль автоматического контроля влажности почвы на основе датчиков влажности почвы показано на рисунке (3.8, 3.9). Печатная плата состоит из реле 12 В 1, потенциометра 2, индикатора питания 3, выхода цифрового переключателя 4, входа датчика 5, входа постоянного тока 6, переменный ток/постоянный ток AC/DC± 7. Модуль работает на напряжение питания 12 В напряжения постоянного тока и входной ток > 100 мА и используется в качестве датчика переключения для устройств в электрической нагрузке 250 В 10 А переменного тока или 30 В 10 А постоянного тока.

увствительный элемент состоит из двух открытых электродов и использует тот факт, что минеральные вещества почвы действуют как изоляторы. Сухие почвы имеют сверхвысокое электрическое сопротивление, и чем больше воды содержится в почве, тем ниже сопротивление между двумя электродами. Степень электропроводности почвы в первую очередь связана с количеством любой свободной влаги в почве и растворенных солей. Калибровка датчика проводилась для разных почв и разных поливных вод.

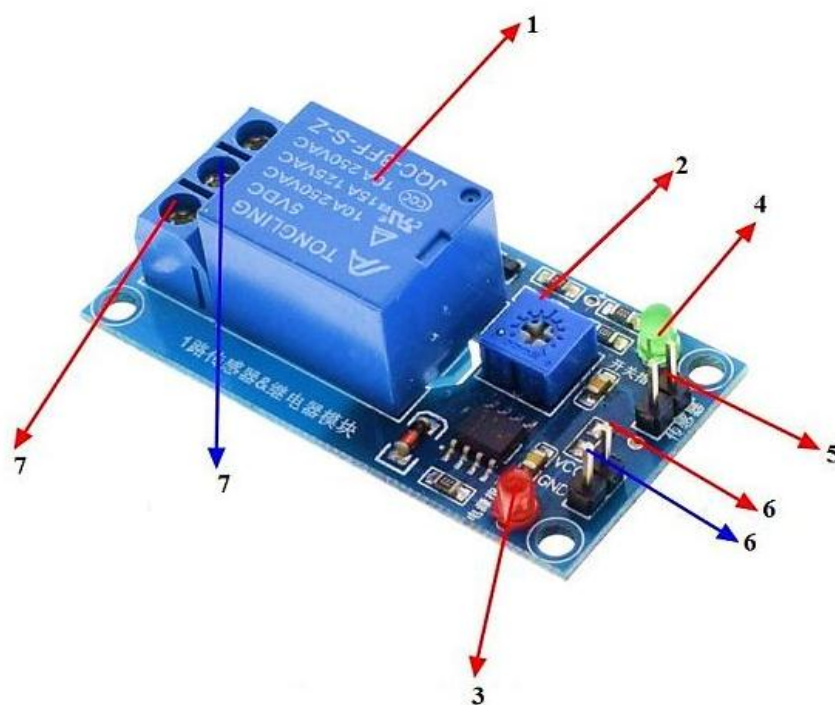


Рисунок 3.8 – Компоненты печатной платы автоматического контроллера полива на основе датчиков влажности почвы

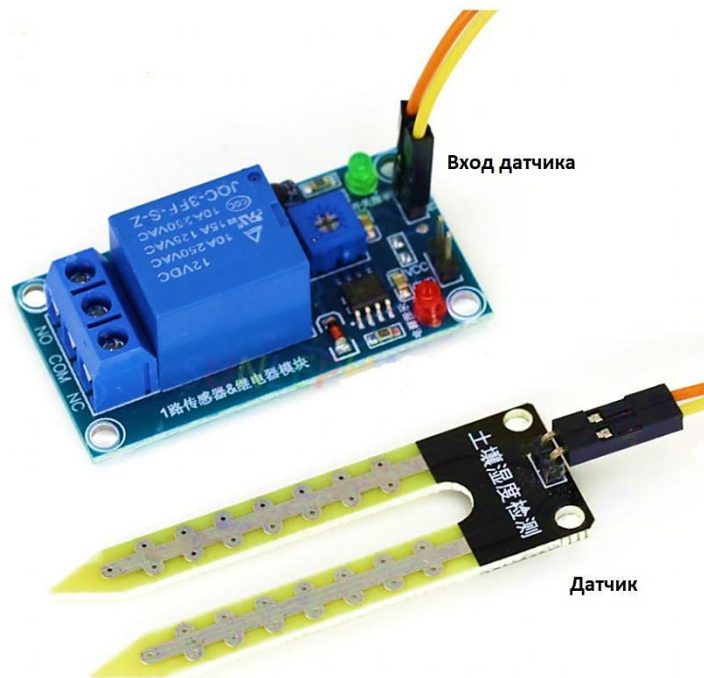


Рисунок 3.9 – Модуль автоматического контроля влажности почвы на основе датчиков влажности почвы

Влажность почвы может регулироваться в широком диапазоне, а соответствующее пороговое значение регулируется с помощью потенциометрического управления (регулировка по часовой стрелке для увеличения порогового значения и против часовой стрелки для уменьшения). Когда содержание влаги в почве ниже заданного значения, реле запускается, а когда влажность почвы достигает желаемой влажности, реле автоматически отключается, и полив прекращается. Красный светодиод указывает на то, что система подключена к электричеству, а зеленый светодиод - это индикатор переключателя (для электромагнитного клапана или контактора). При недостатке воды реле активирует насос / соленоид, чтобы открыть, и зеленый светодиод включается в качестве индикатора переключателя. После орошения и при достижении оптимально установленного уровня влажности почвы реле отключает соленоид / контактор, и, следовательно, зеленый

светодиод выключается, схема элементов и режим работы показаны на рисунках (3.10 , 3.11) .

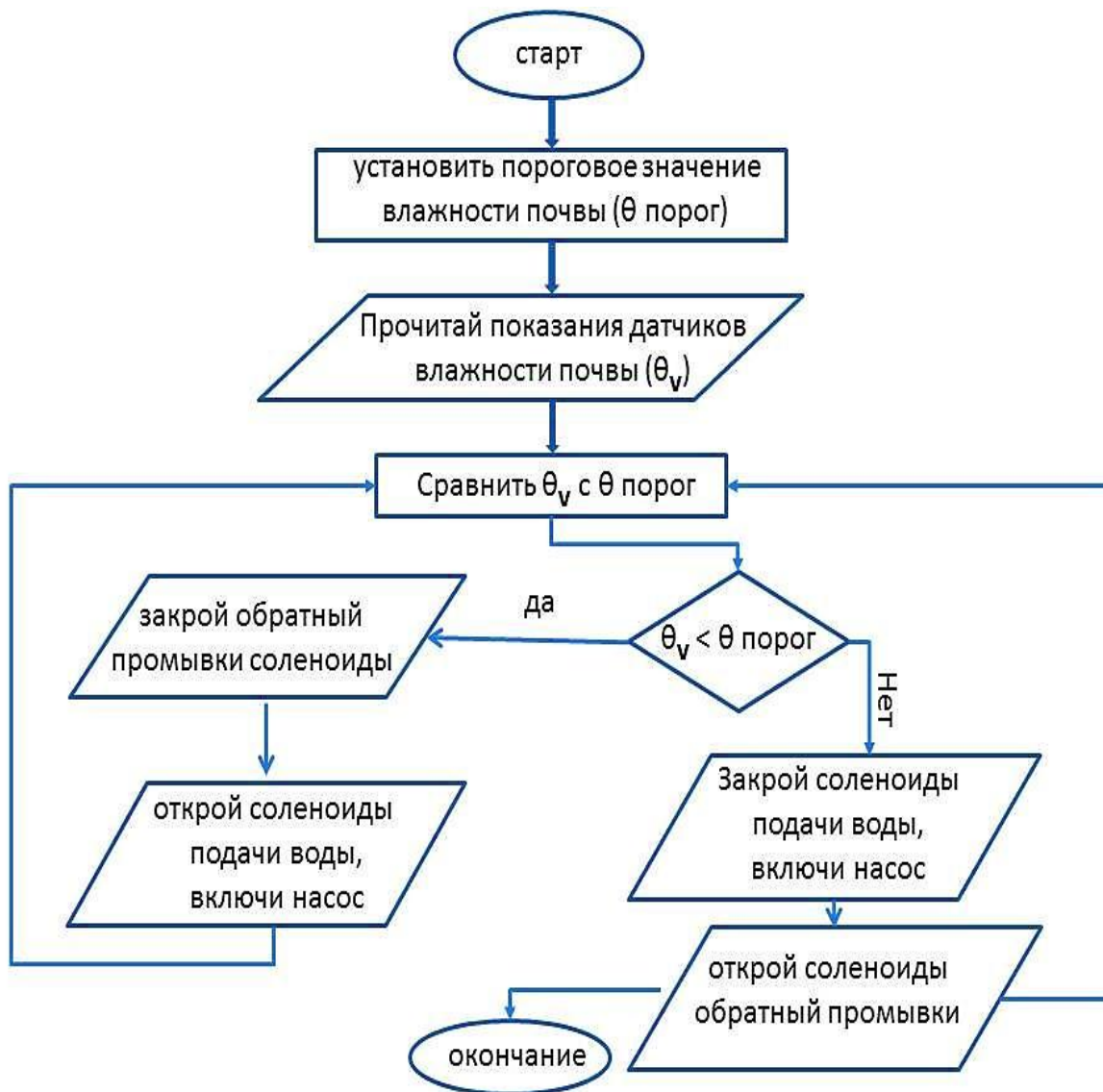


Рисунок 3.10 – Блок-схема работы в системе автоматического капельного орошения на основе датчиков влажности почвы

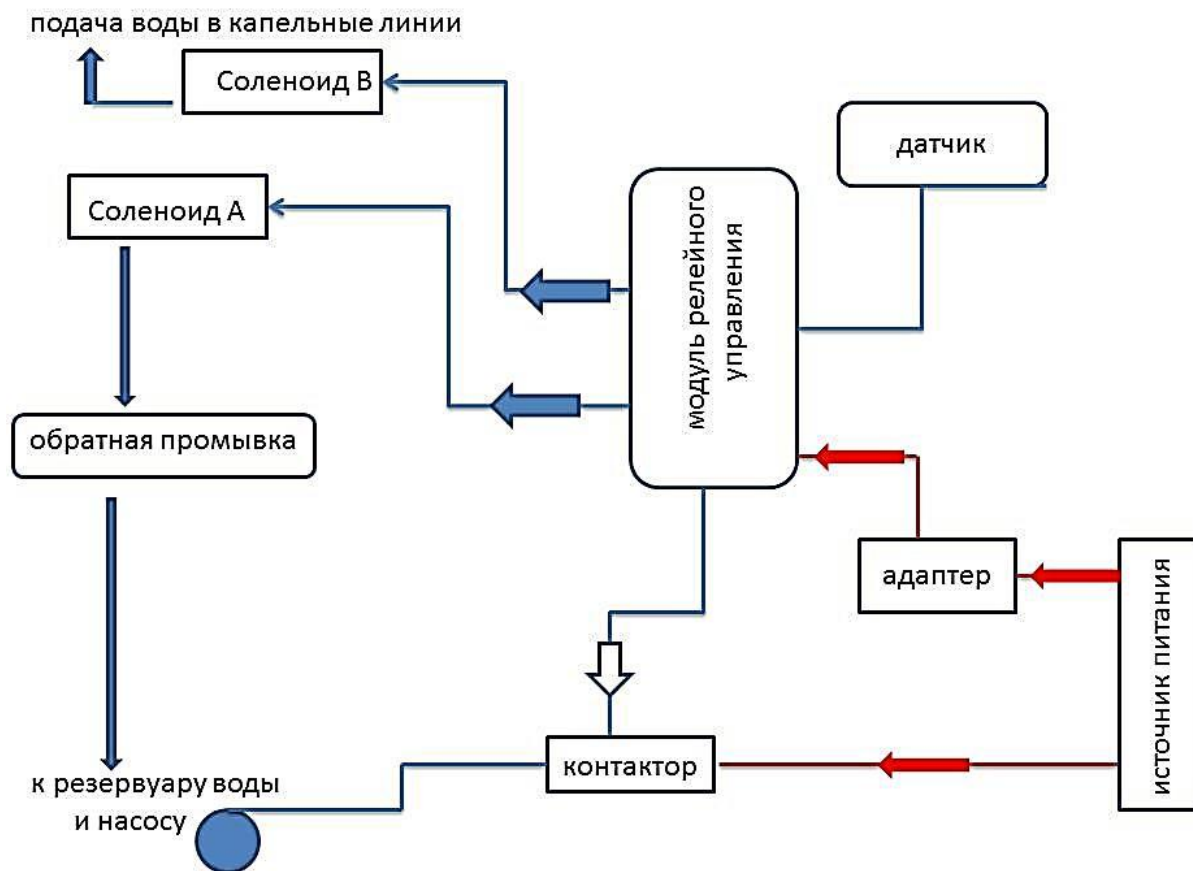


Рисунок 3.11 – схема элементов управления автоматического капельного орошения на основе датчиков влажности почвы

3.3 Калибровка датчиков влажности почвы

Образцы почвы позволяли высохнуть на воздухе, распределяя их по газете в лаборатории (Рисунок 3.12). Любые камни, корни или другие нежелательные материалы были удалены, а любые большие комки почвы были разбиты. Периодически почву переворачивают или перемещают, поэтому сушка происходит равномерно по всему образцу. Воздушная сушка почвы может занять от нескольких дней до нескольких недель, в зависимости от исходного содержания влаги в почве и от того, насколько сухой / горячий воздух находится в лаборатории.

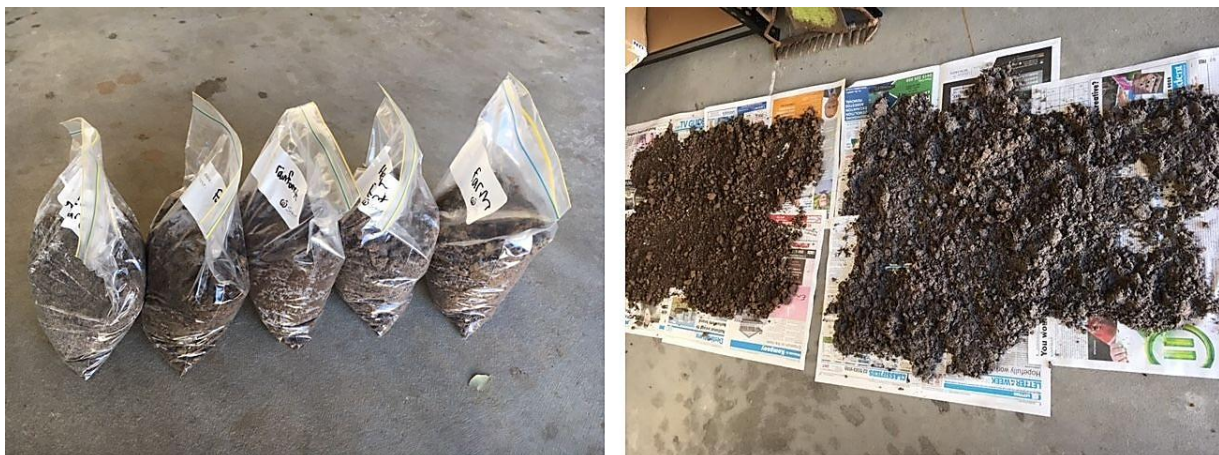


Рисунок 3.12 – воздушная сушка образцов почвы

Как только почва стала достаточно сухой, почва была перенесена в пластиковые контейнеры, которые были достаточно большими, чтобы вместить всю длину датчика влажности почвы (используемые датчики влажности почвы были длиной 5 см). Согласно [matula] достаточно 3 пластиковых контейнеров с 3 различными уровнями влажности, но, предпочтительно, чем больше контейнеров, тем точнее калибровка. По нашему опыту, 10 пластиковых контейнеров были использованы для калибровки.



Рисунок 3.13 – Составление шкалы влажности почвы

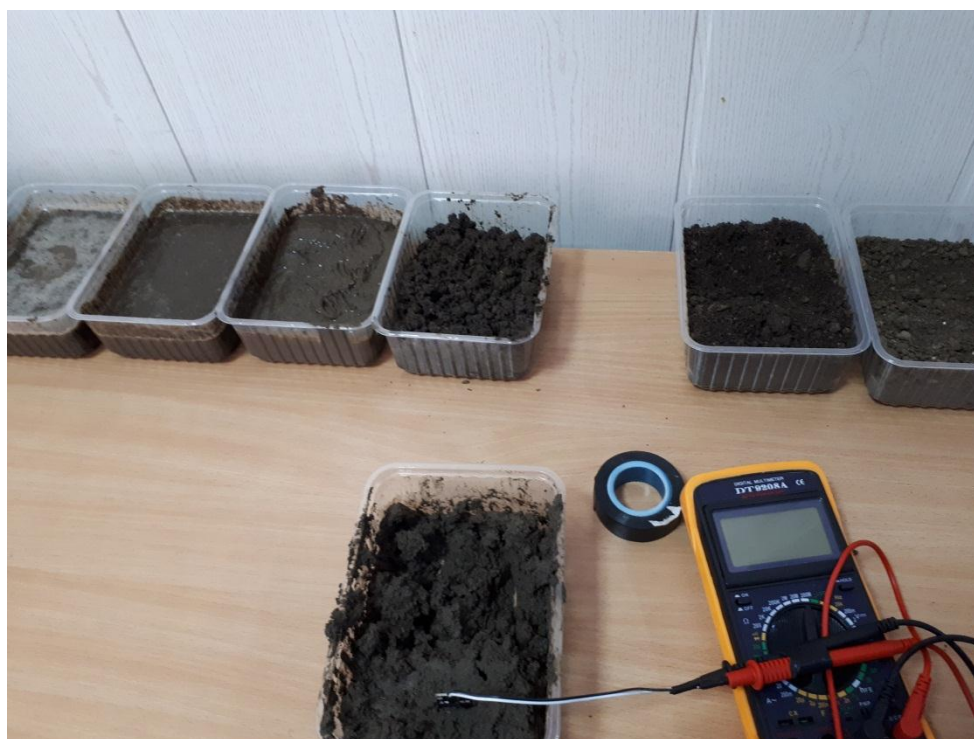


Рисунок 3.14 – подключение датчика к авометру и запись выходного сигнала датчика при различных уровнях влажности почвы

После заполнения пластиковых контейнеров почвой был создан спектр влаги во всех ваших контейнерах. Первый контейнер был помечен как высушенный на воздухе образец, и влажность постепенно увеличивалась в других контейнерах до насыщения (диапазон влажности почвы от очень сухого до очень влажного) (Рисунок 3.13). Соответствующие значения показаний датчиков влажности почвы для различных уровней влажности были записаны с помощью ампервольтомметр. Эту же процедуру можно повторить при использовании разных типов почвы или поливной воды.

После перекодирования сырых милливольт (мВ) или значений электрического сопротивления, измеренных датчиками, часть почвы из каждого контейнера удаляли и взвешивали на весах, а влажный вес регистрировали. После того, как часть почвы из всех контейнеров была взвешена, они были помещены в сушильный шкаф, установленный на 105 ° С, до достижения постоянного веса. Сухой вес регистрируют и рассчитывают объемное содержание воды. была установлена зависимость между объемным содержанием воды в почве и корреспондентский показания датчика в Ом (или мВ). с помощью калибровки можно было настроить датчик на любую влажность почвы в качестве порогового значения.



Рисунок 3.15 – Измерение времени отклика датчиков влажности почвы



Рисунок 3.16 – печная сушка образцов почвы



Рисунок 3.17 – проверка температуры внутри сушильного шкафа с помощью инфракрасного термометра MS6530



Рисунок 3.18 – Дистанционный измеритель температуры (пирометр) MS6530

3.4 Технические и внешние характеристики модуля автоматизации полива на основе датчиков влажности почвы

Технические характеристики используемых электромагнитных клапанов приведены в таблице (3.2), соленоид и его схема показаны на рисунках (3.16). Для каждой капельной линии использовались два электромагнитных клапана. Первый электромагнитный клапан использовался для контроля подачи воды в ирригационные капельные линии и второй для механизма обратной промывки, для того чтобы слить воду, чтобы избежать негативных последствий повышения давления, представленного в разрыве соединения между коллекторами и капельными линиями в дополнение к неравномерному распределению воды капельниц.

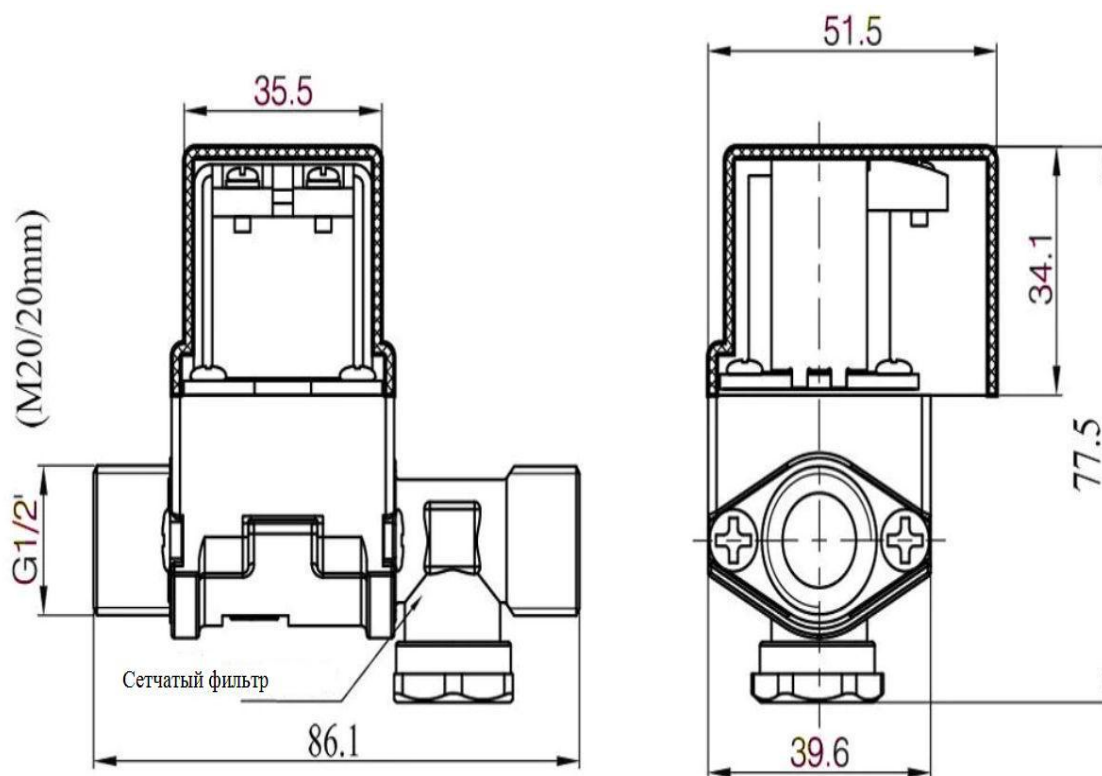


Рисунок 3.19 – Схема конструкции электромагнитного клапана

Таблица 3.2 – Технические и внешние характеристики

Материал	латунь
Область применения	вода и жидкости с низкой вязкостью.
диапазон рабочего давления	0.02 - 0.8 МПа
Максимальная температура жидкости, С	80
Диаметр резьбы	1/2"
Источник питания (Напряжение)	12 В постоянного тока
Электрический ток	250 мА
Тип клапана	Диафрагма, Пилотный электромагнитный клапан
Режим работы	- Нормально закрытые (НЗ), клапан А. - Нормально открытые (НО), клапан В.

Электромагнитный клапан В был назначен для орошения и был установлен в нормально открытый режим (что означает, что электричество не проходит через него и клапан закрыт), и это в отличие от соленоида А. В соответствии с сигналом, воспринимаемым датчиком, когда содержание влаги в почве ниже порогового значения, реле посылает сигнал на соленоид, позволяющий электричеству проходить через катушку клапана, и открывает клапан для запуска полива.

Connected to the normal circuit connection :

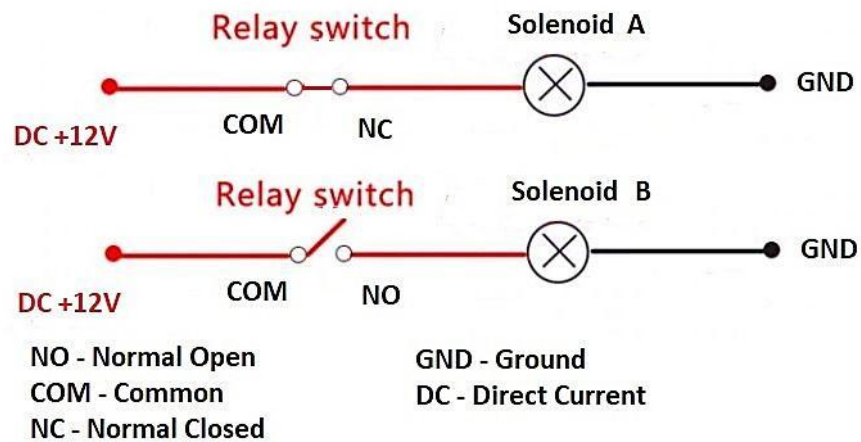
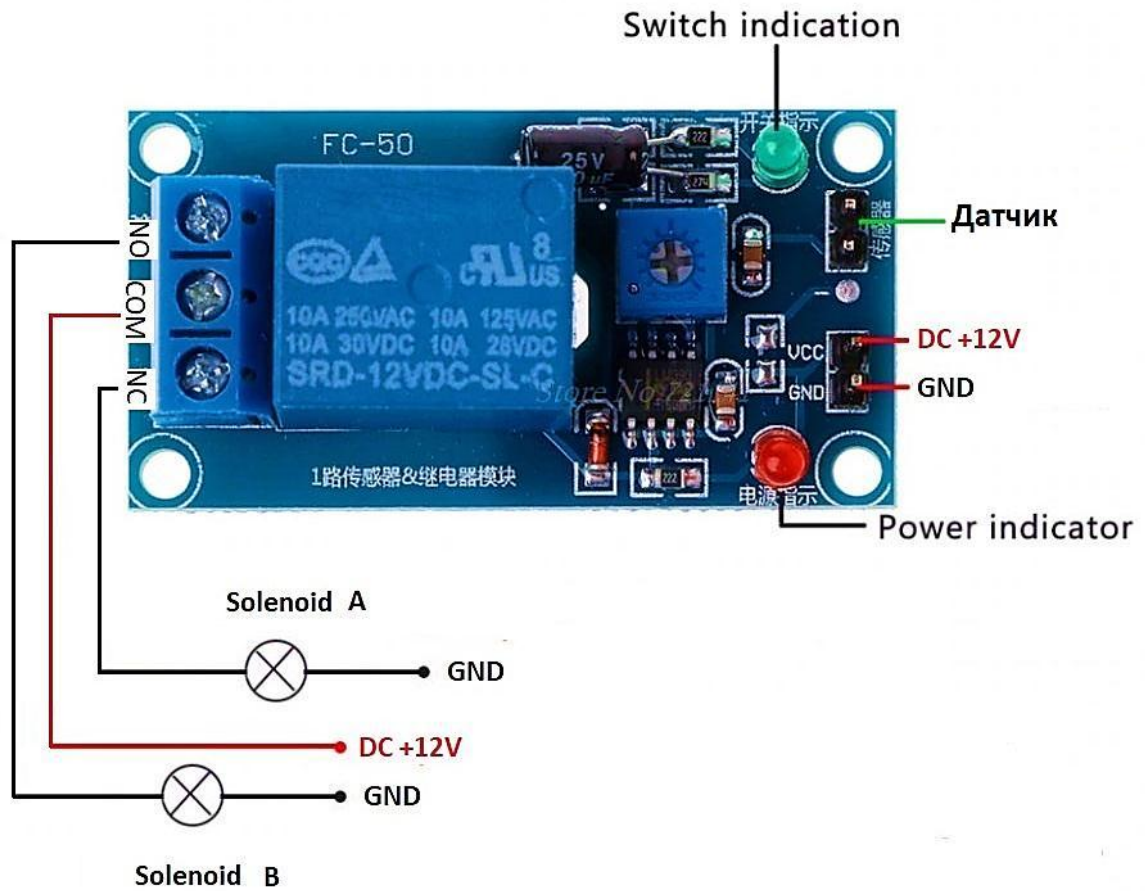


Рисунок 3.20 – схема подключения электромагнитных клапанов и реле контроллера

После ирригации содержание влаги в почве снова возвращается к пороговому значению, и реле закрывает соленоид В и открывает соленоид А для обратной промывки водой.

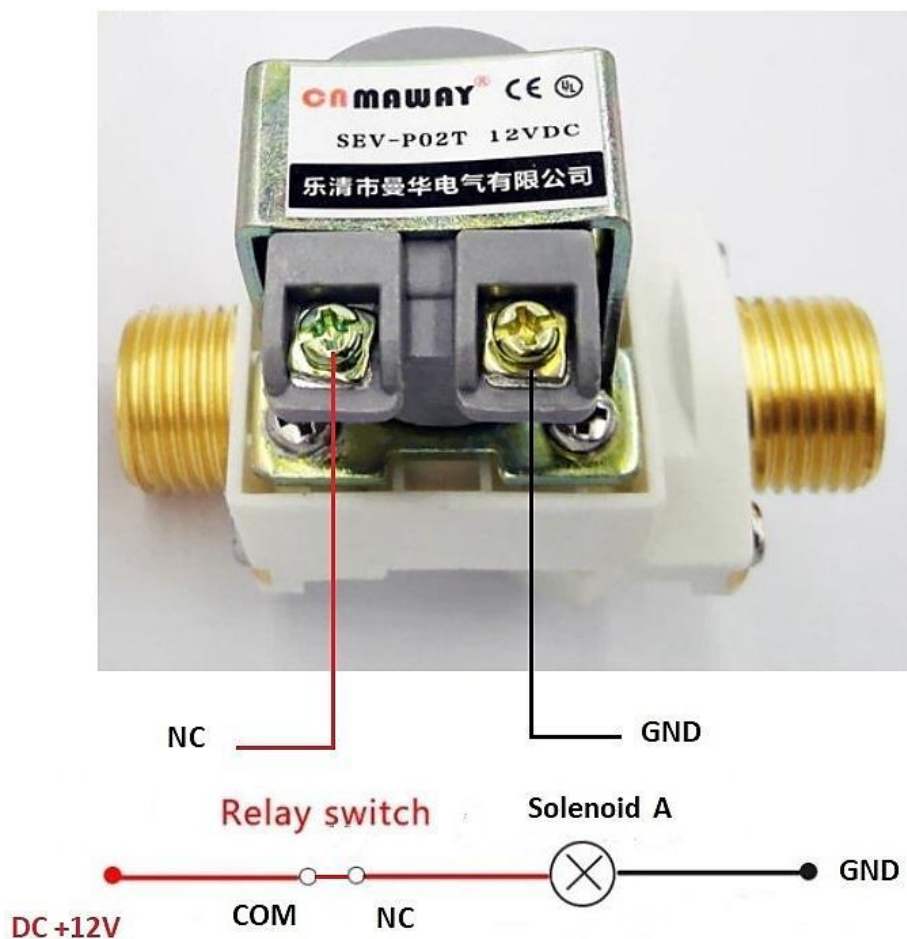


Рисунок 3.21 – Электромагнитный клапан А, назначен для обратной промывки

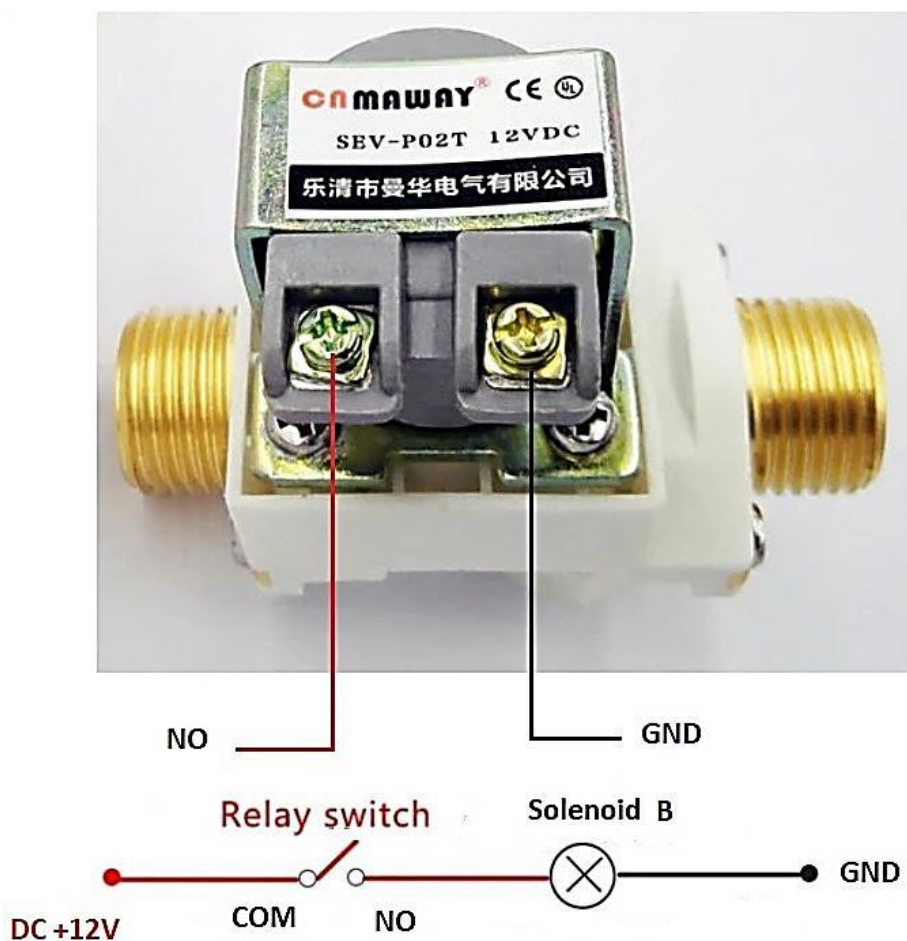


Рисунок 3.22 – электромагнитный клапан В, назначен для орошения

Модуль датчика влажности почвы и электромагнитные клапаны нуждаются в стабильном питании 12 В, и поэтому для обеспечения защиты цепи был использован адаптер (модель S-360-12) для переключения перенапряжения 220 В (домашнее электричество) на 12 В. проверка как соленоида, так и модуля датчика влажности почвы с адаптером показана на рисунке (3.22). Из рисунка видно, что красный светодиод включен, что означает подключение к электричеству, а включение зеленого светодиода означает, что датчик посылает признаки/индикация недостаточной влажности и, следовательно, соленоиды и насосы активируются для включения.

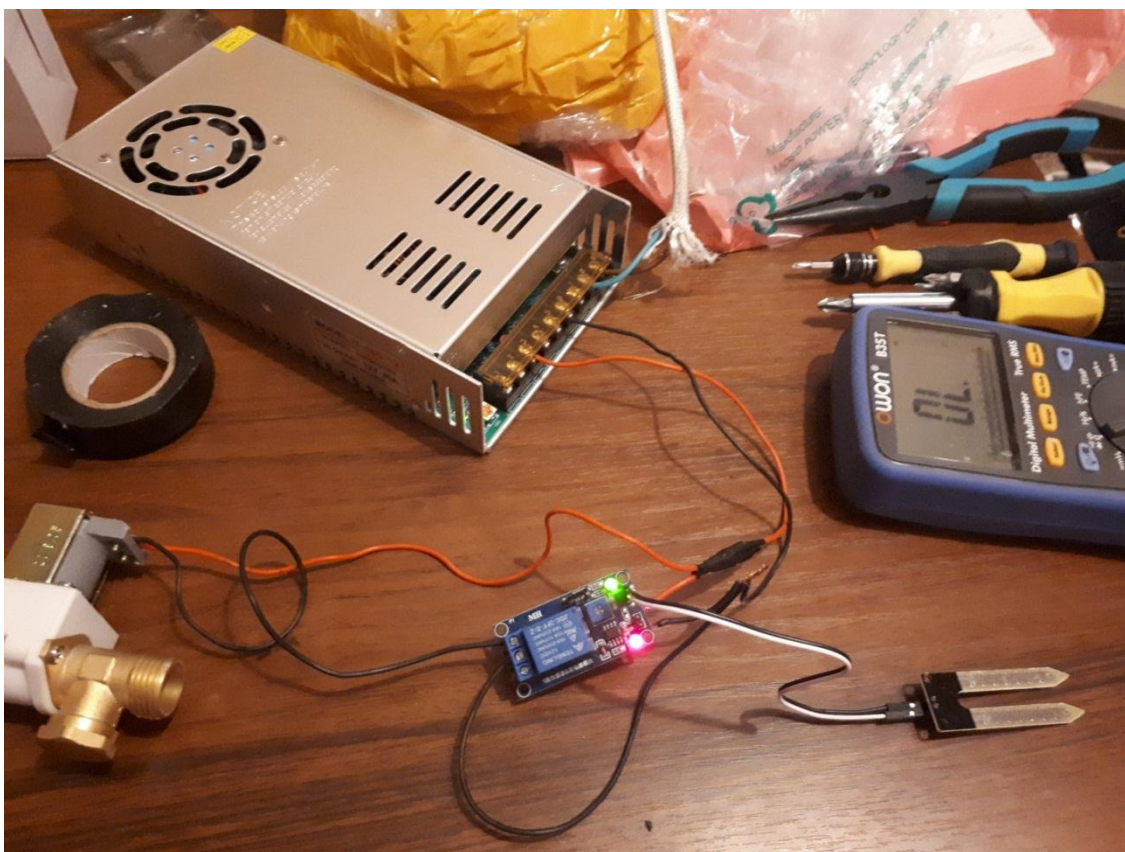


Рисунок 3.23 – Лабораторная проверка модуля соленоида и датчика влажности почвы с адаптером (поставщик сетевого питания)

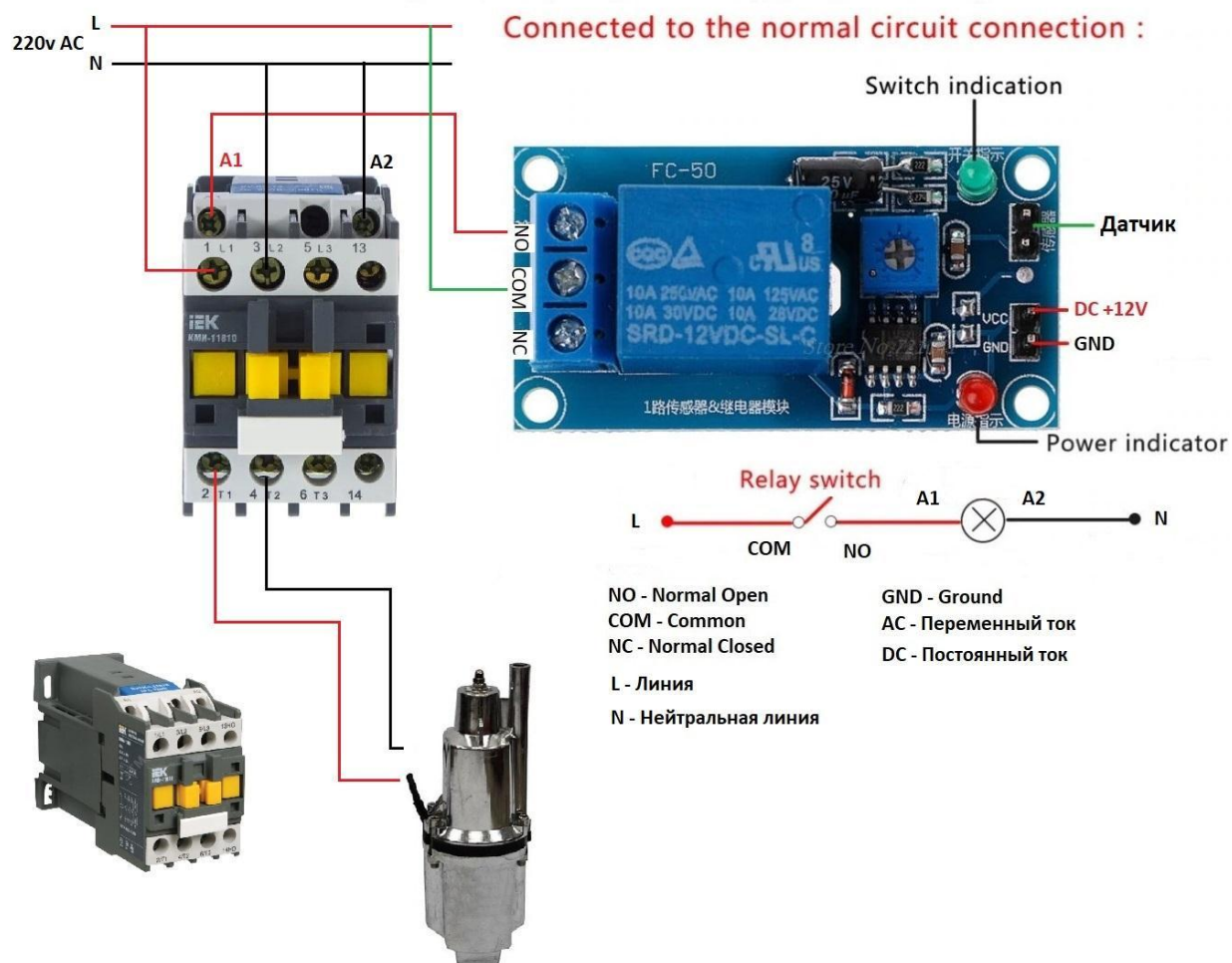


Рисунок 3.23 – Схема подключения контактора и насоса к контроллеру реле

3.5 Проверка системы автоматического капельного орошения на основе влажности почвы

Для проверки работоспособности системы в полевых условиях; Система была установлена в тепличном комплексе Казанского государственного аграрного университета (Рисунок 3.24, 3.25). Были отобраны только капельницы, которые показали наилучшую равномерность распределения воды в лабораторных экспериментах. Давление системы было установлено на значение, при котором; была достигнута самая высокая равномерность распределения воды. Порог влажности почвы был установлен

в соответствии с процедурой калибровки. Редис и салат выбрали в качестве овощных культур, чувствительных к водному стрессу.

использованная почва была того типа готовый грунт универсальный, со следующими характеристиками

Таблица 3.3 Характеристики почвы

содержание солей (мг/л)	
Азот (NH ₄ +NO ₃)	240
Фосфор (P ₂ O ₅)	290
Калий (K ₂ O)	330
Кислотность pH KCL солевой суспензии	5.4-6.5

выращивание растений было в 2-литровых контейнерах (прямоуг.высокий 186*132 мм). капельные линии были проложены на деревянных подставках а расстояние между поверхностью почвы в контейнерах и светодиодными светильниками составляло 50 см. рекомендуемая температура внутри теплицы поддерживалась с помощью электротепловентилятора (Рисунок 3.26).



Рисунок 3.24 – установка системы в теплице



Рисунок 3.25 – система на стадии роста



Рисунок 3.26 – электротепловентилятор ЭЛАРА ТВ 9

Система также была испытана на предприятии по производству овощей,, расположенном в городе Нижнекамск.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Влияние давления на расход капельницы

Системы капельного полива предназначены для подачи равномерного количества воды в необходимую зону, однако, в практике присутствует неравномерность увлажнения почвы. Равномерность распределения воды является важным аспектом в любой ирригационной системе, поскольку неравномерное распределение влаги дозаторами-капельницами приводит к тому, что некоторые участки области полива подвергаются чрезмерному увлажнению, в то время когда другие участки страдают от нехватки влаги, что может нанести ущерб росту растений [14].

Тестирование и валидация (верификация) системы капельного полива является интегральным шагом на пути к оценке эффективности технологии с точки зрения оптимизации эффективности использования воды и минимизации потерь воды в орошаемых системах земледелия. Системы капельного орошения могут быть оценены в лабораторных условиях или на местах (в полевых условиях). Например, оценка коэффициента изменчивости производительности относительно расхода воды через капельную ленту, обычно требует высокой степени точности, и, следовательно, необходимо проводить эксперименты в лабораторных условиях, где условия окружающей среды, такие как ветер и температуру можно легко контролировать [13, 15].

Качественное конструктивное исполнение капельниц и гидравлические характеристики являются двумя основными факторами, которые влияют на распределение воды в системах капельного орошения. Вода выходит через очень маленькие отверстия в капельницах (обычно диаметром менее 2 мм), и, следовательно, небольшое отклонение в диаметре в результате

производственного несовершенства может привести к большим отклонениям в объёмных расходах [15]. В дополнение к качеству изготовления капельниц особое влияние на равномерность распределения воды оказывают следующие параметры: рабочее давление, расстояние между капельницами, размер и длина боковой линии, гидравлические характеристики потока (например, трение и т.п.) [16].

Чтобы определить гидравлические характеристики капельниц при капельном орошении, необходимо определить влияние давления на расход капельницы.

Результаты показали, что для всех видов капельниц объёмный расход увеличивался с увеличением давления (Рисунок 4.1 и 4.2). При увеличении давления с 0,05 до 0,35 МПа расход увеличился с (7,4 до 8,4), (с 3,6 до 4,9), (с 2,1 до 2,4), (с 3,1 до 8,2) и (от 5,7 до 15,2) л / ч для капельниц А, В , С, D и Е соответственно.

с увеличением давления капельницы с компенсацией давления стали менее чувствительными, чем капельницы без компенсации. Из таблицы 4.1 видно, что компенсаторы давления были более стабильными. Процент изменения расхода из-за изменения давления в случае регулирующих давление капельниц меньше, чем без компенсации давления.

Этот результат согласуется с (Kirnak et al., 2004, Abd-Elsalam 2014), они сообщили, что: теоретически капельницы с механизмом компенсации давления не должны показывать каких-либо изменений в расходе воды при различных давлениях. Но в реальных измерениях разряда были различные разряды при переменных давлениях.

Таблица 4.1 – Измеренный расход при разных уровнях давления и процент изменения от номинального расхода.

Тип капельницы	Номинальный расход (л/ч)	Измеренный расход и процент изменения					
		0.05 МПа	Δq %	0.2 МПа	Δq %	0.35 МПа	Δq %
A	8	7.4	-7.5*	7.9	-1.3	8.4	5.0
B	3.85	3.6	-6.5	4.3	11.7	4.9	27.3
C	2.2	2.1	-4.5	2.2	0.0	2.4	9.1
D	4	3.1	-22.5	5.9	47.5	8.2	105.0
E	8	5.7	-28.8	11.5	43.8	15.2	90.0

* Отрицательный знак указывает процент снижения

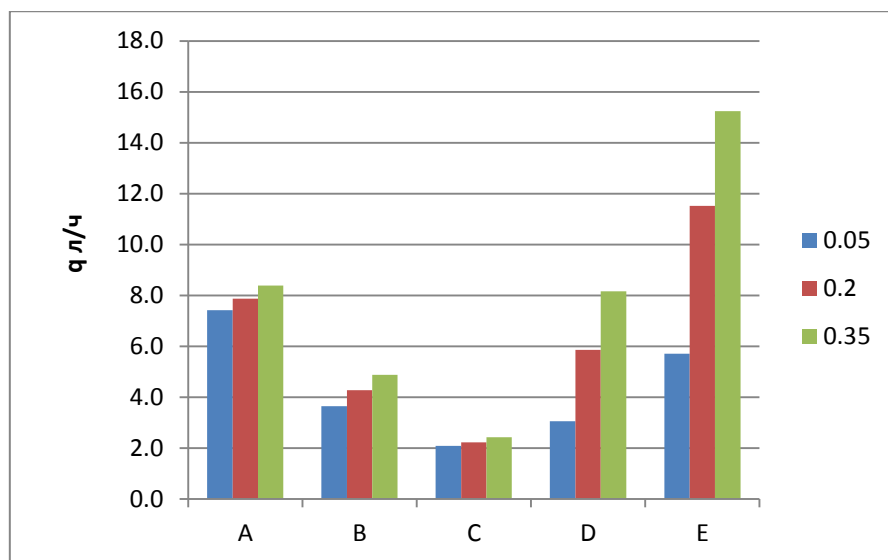


Рисунок 4.1 – поведение капельницы на каждом уровне давления

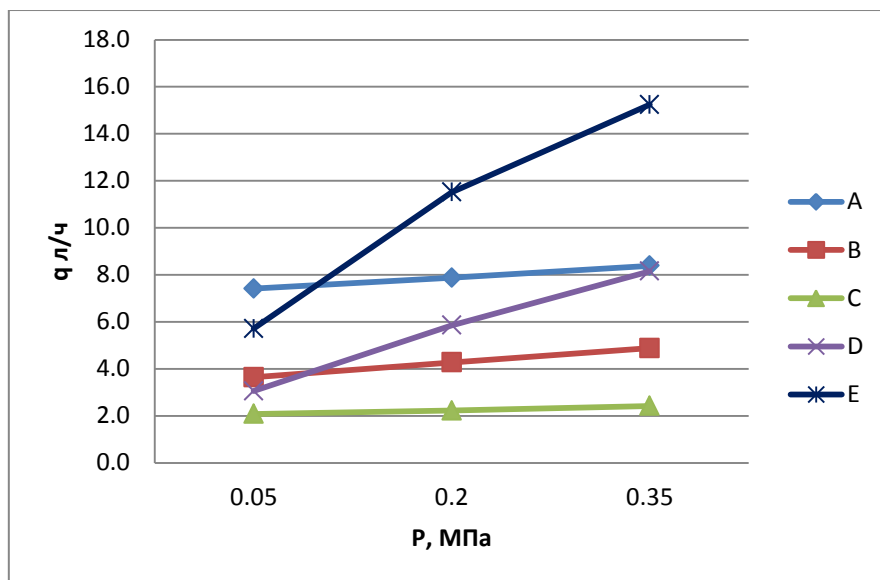


Рисунок 4.2 – Зависимость объемного расхода капельниц от давления. где А, В, С, D и E: представляют тип капельницы

Согласно уравнениям (2.6 и 2.7), чем выше значение показателя x , тем больше будет влиять давление на величину расхода q , и наоборот. Значение экспоненты x для капельниц компенсирующих и не компенсирующих давление составляет приблизительно 0 и 1 соответственно.

Анализ рисунка 2.1 и уравнения 2.7 показывает, что для дешевых и простых по конструкции капельниц, значение $x=1$, это означает то, что они очень чувствительны к изменению давления. Изменение давления на 10% приведет к соответствующему изменению объемного расхода. В компенсирующих давления; капельницах содержится диафрагма, которая позволяет поддерживать стабильный расход вне зависимости от изменений давления ($x = 0$) Таким образом, скорость потока воды будет постоянной в пределах всей системы капельного орошения и равномерность водовылива теоретически будет идеальной. [12, 16 обзор pap].

В случае использования не компенсационных устройств, значение экспонента X будет зависеть от того, какой эмиттер используется с ламинарным или турбулентным течением.

Для эмиттеров с турбулентным потоком воды, в том числе с ультратонким водовыпуском, расход воды Q будет меняться прямо пропорционально квадратному корню рабочего давления системы капельного орошения. Другими словами, значение экспонента X для таких устройств равно половине. Это значит что изменение 20% в давлении соответствующее к изменению 10% в объемном расходе потока.

Результаты показали, что для капельниц типа А и В значение x составляло 0.05 и 0.07 соответственно (рисунок 4.3 и 4.4). для типа капельницы В $x = 0.14$ (рисунок 4.5). для капельниц типа D; $x = 0.45$, поэтому они классифицируются как капельницы с вихревым потоком. Для капельниц

типа Е; $x = 0.5$, поэтому они классифицируются как капельницы с турбулентным потоком(рис. 4.6 и 4.7). Ни одна из протестированных капельниц не показала характеристики ламинарного потока.

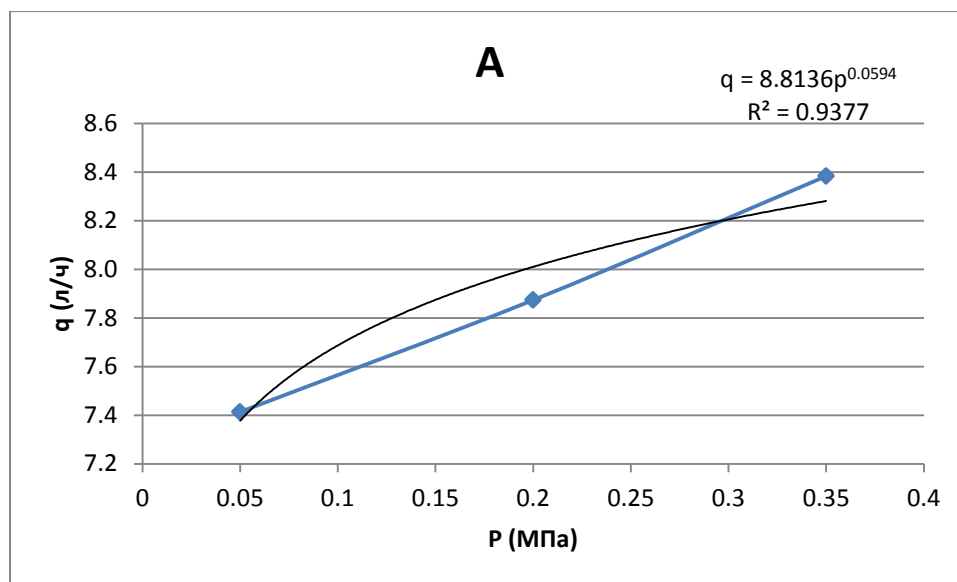


Рисунок 4.3 – соответствующий объемный расход капельницы типа А по отношению к давлению

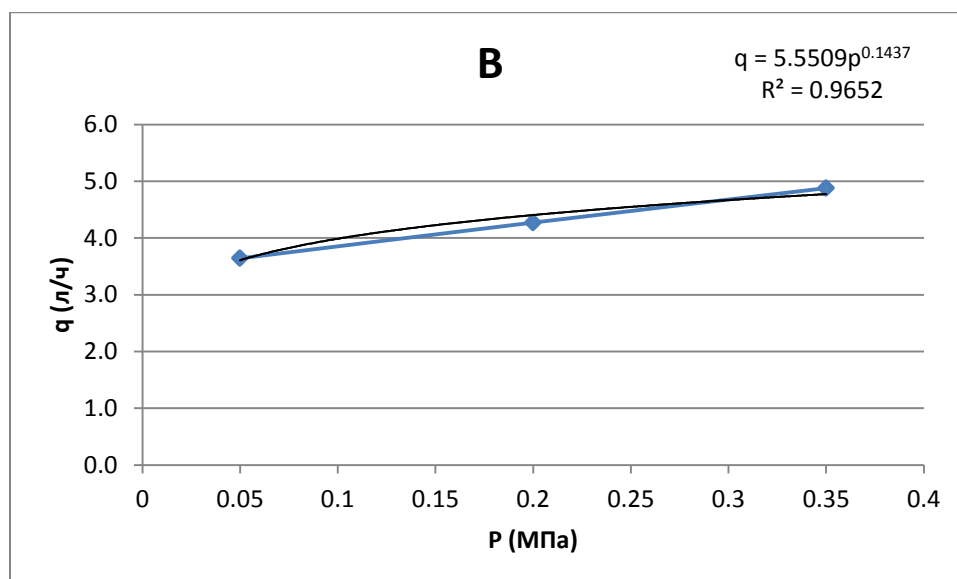


Рисунок 4.4 – соответствующий объемный расход капельницы типа В по отношению к давлению

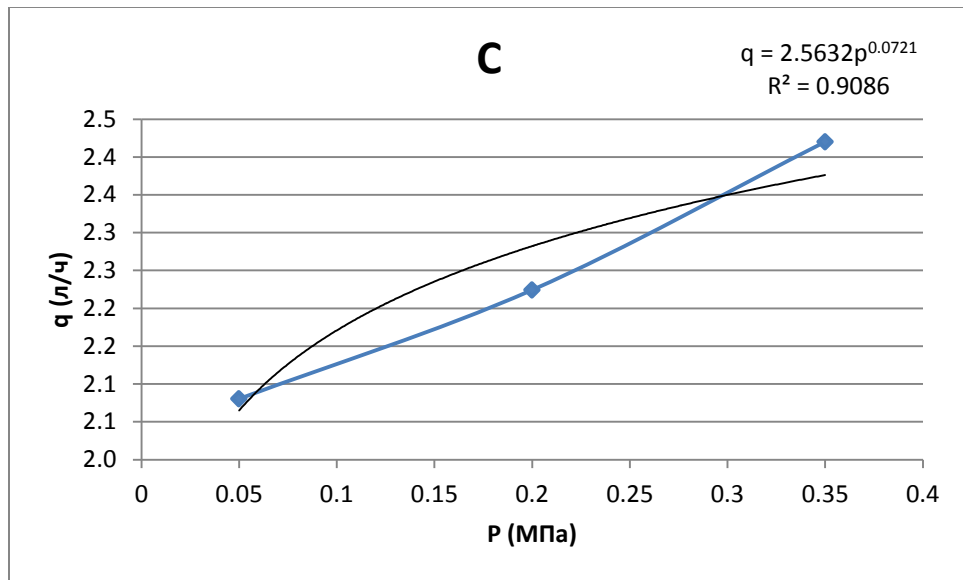


Рисунок 4.5 – соответствующий объемный расход капельницы типа С по отношению к давлению

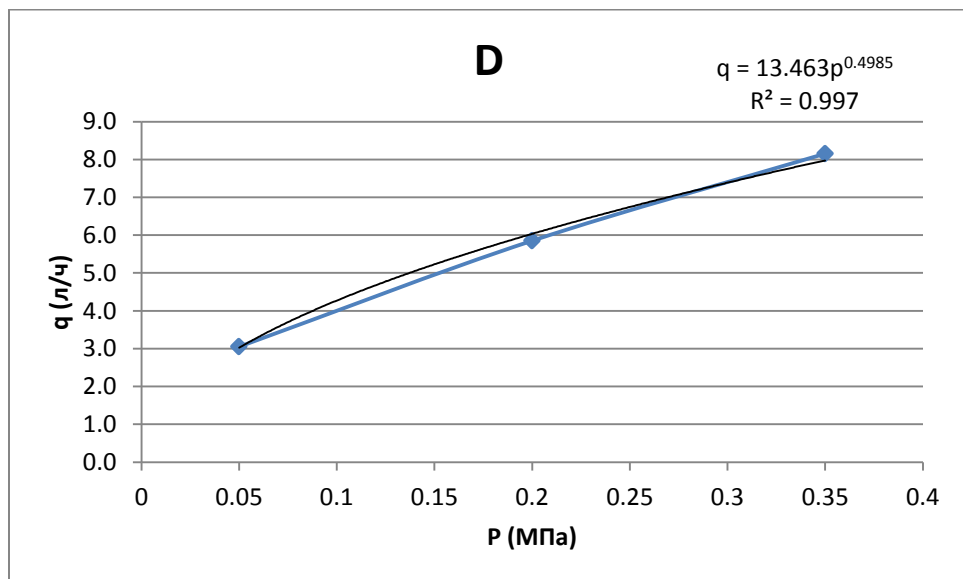


Рисунок 4.6 – соответствующий объемный расход капельницы типа D по отношению к давлению

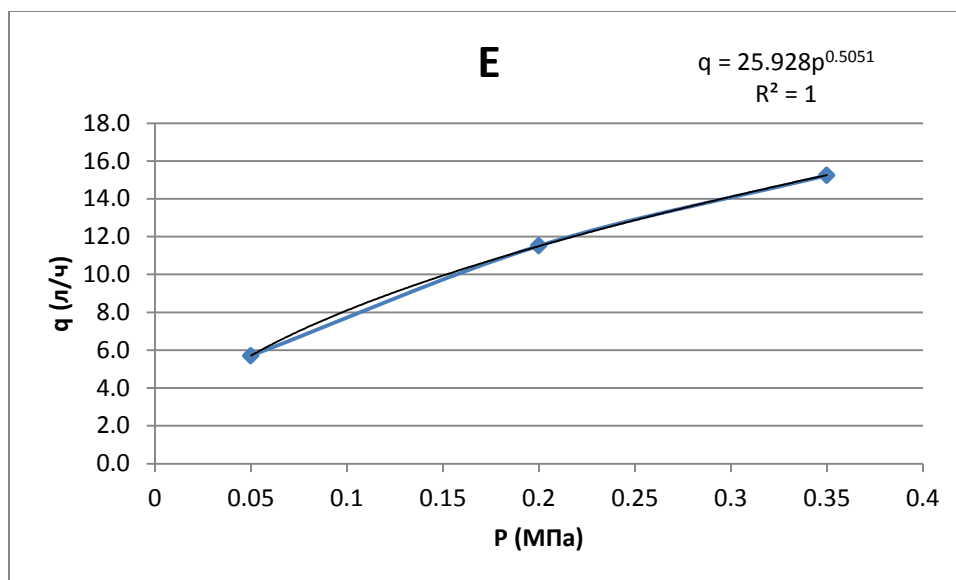


Рисунок 4.7 – соответствующий объемный расход капельницы типа D по отношению к давлению

4.2. Оценка равномерности водораспределения капельниц путем оценки коэффициента вариации

В таблице 4.2 приведен коэффициент вариации C_v расхода капельниц от номинального расхода. Значения C_v капельниц без компенсации давления увеличивались с увеличением давления и были высокими на всех уровнях давления. согласно ГОСТ ISO 9261-2004, а также Американского общества инженеров сельского хозяйства и гражданских инженеров (ASACE); C_v значения капельниц без компенсации давления выше, чем 10% (и > 15% в ASCE). и в результате капельницы типа D и E были классифицированы как некачественные капельницы.

Таблица 4.2 – коэффициент вариации расхода капельниц от номинального при разных уровнях давления

давление	Cv				
	A	B	C	D	E
0.05 МПа	0.10	0.07	0.05	0.25	0.30
0.2 МПа	0.05	0.12	0.03	0.49	0.46
0.35 МПа	0.06	0.32	0.11	1.00	0.95

для капельниц типа А и С, Наивысшая равномерность распределения воды и наименьшие отклонения от заданного номинального расхода были достигнуты при рабочем давлении 0,2 МПа.

для капель типа В равномерность распределения воды снижалась с увеличением давления. средняя равномерность расхода воды и средние отклонения от заданного номинального расхода были достигнуты в условиях низкого давления.

4.3 результаты калибровки датчиков влажности почвы

Косвенные методы определения влажности почвы должны быть откалиброваны перед их использованием для конкретных условий почвы. Обычно некоторые общие калибровочные уравнения предоставляются производителем для минеральной и органической почвы. Тем не менее, для более точных измерений рекомендуется проводить калибровку для конкретной почвы. С помощью известного уравнения калибровки можно определить объемное содержание влаги в почве для любого показания датчика (в ом / мВ) и отрегулировать пороговое значение до требуемого уровня влажности почвы.

Процесс калибровки датчиков влажности почвы (модели HL-69) включал подготовку шкалы влажности почвы через различные образцы почвы. три датчика влажности почвы были откалиброваны, и было записано среднее значение показаний соответствующих датчиков при каждом содержании влаги в почве. После считывания датчиком различных уровней влажности почвы, объемное содержание влаги в почве определяли методом печной сушки образцов почвы. Соответствующее значение датчика для каждого содержания влаги в почве показано в таблице 4.3.

Таблица 4.3– Влажность почвы с соответствующими показаниями датчика

M1	M2	θ_m	θ_v	показания датчика в Ом		
				д 1	д 2	д 3
41	37.01	10.78	14.0	110	113	103
57.4	49.75	15.38	20.0	85	89	83
66	55.21	19.54	25.4	69	69	70
73	59.1	23.52	30.6	48	45	55
76.5	60	27.50	35.8	33	36	41
81.3	62	31.13	40.5	25	28	20

где M1: влажная масса почвы (г), M2: сухая масса почвы(г), θ_m : содержание влаги в почве по массе (%), θ_v : объемная влажность почвы (%), д1..3 номер датчика.

Датчик влажности почвы - модель HL 69 - датчик электрического сопротивления. Его выходом является электрическим сопротивлением в почве между двумя зондами. Полученные графики для калибровки трех датчиков приведены на рисунках 4.5, 4.6 и 4.7. Значение сопротивления почвы уменьшается с увеличением содержания воды. Графики показывают, что более высокое содержание влаги в почве (40,5%) дает выходной сигнал датчика 25, 28 и 20 Ом для датчиков 1, 2 и 3 соответственно. Более низкое содержание влаги (14%) дало выходной сигнал датчика 110, 113 и 103 Ом для датчиков 1, 2 и 3 соответственно.

Это согласно с [], которые заявили, что «Поскольку вода является единственным компонентом почвы, который (1) имеет высокое значение диэлектрической проницаемости и (2) является единственным компонентом, кроме воздуха, который изменяет концентрацию, устройство, чувствительное к диэлектрической проницаемости или электрическое сопротивление может быть использовано для оценки объемного содержания воды ».

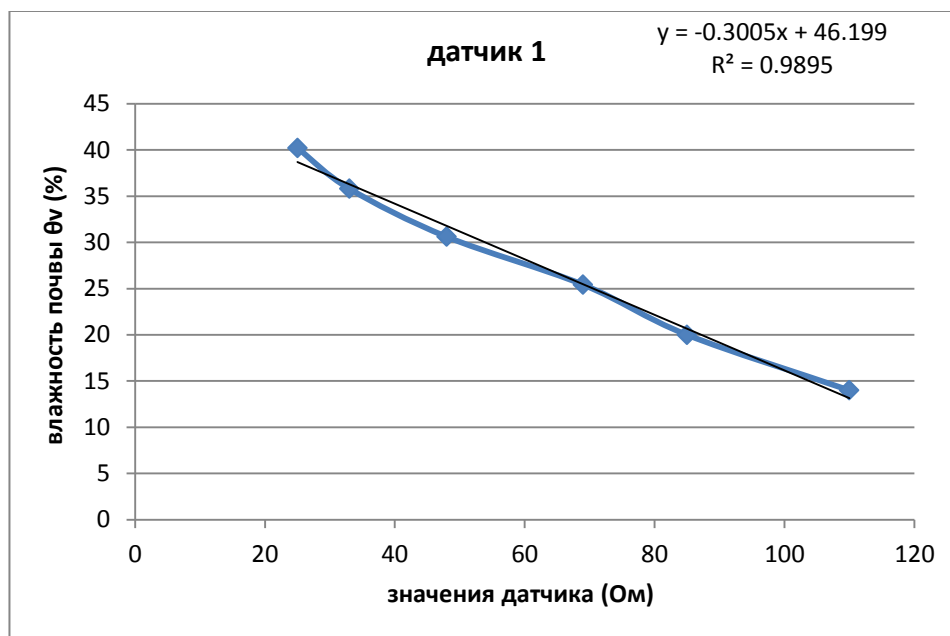


Рисунок 4.1 – поведение капельницы на каждом уровне давления

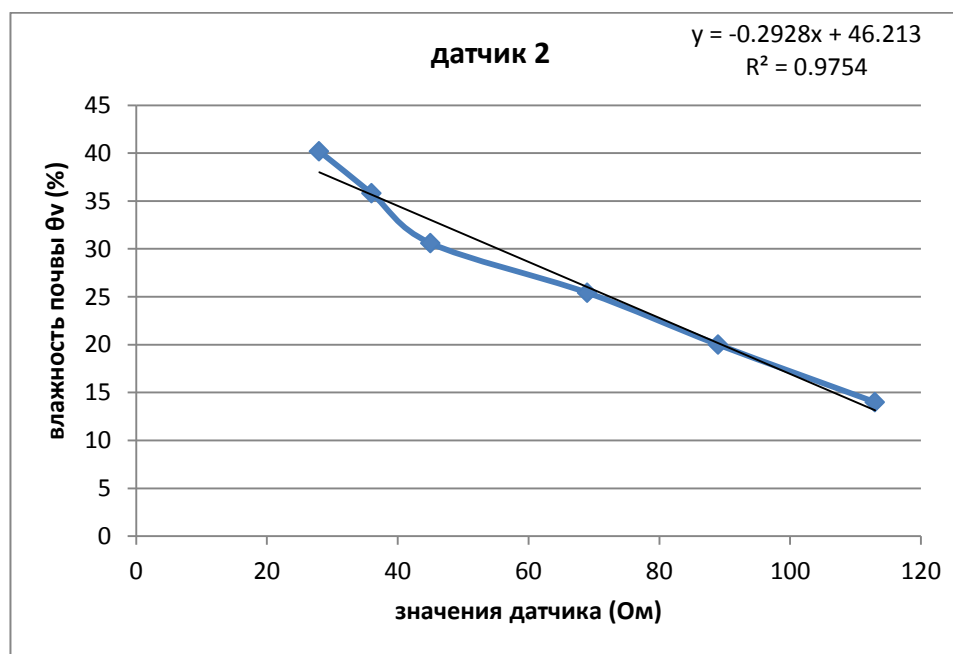


Рисунок 4.1 – поведение капельницы на каждом уровне давления

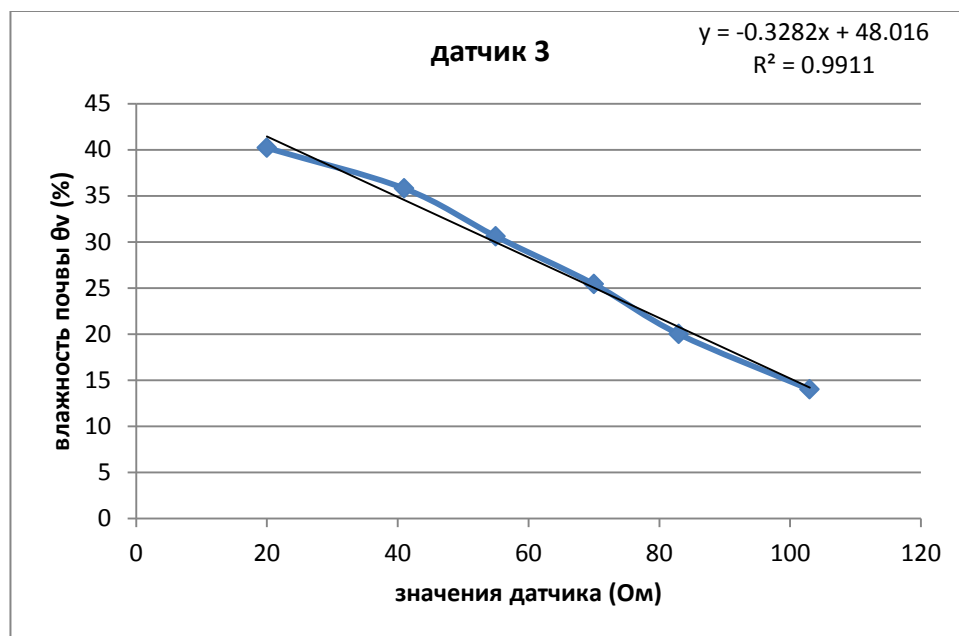


Рисунок 4.1 – поведение капельницы на каждом уровне давления

4.4 Эффективность использования воды

Эффективность использования воды (WUE) является мерой способности культуры преобразовывать воду в растительную биомассу. Нехватка воды для орошения становится все более серьезной проблемой в сельскохозяйственном производстве. В этом случае очень важно, чтобы фермеры приняли меры для повышения эффективности использования оросительной воды, особенно в районах с дефицитом воды.

$$WUE = \frac{Y}{W}, \quad (4.1)$$

$$WUEB = \frac{Y_t}{W}, \quad (4.2)$$

где WUE – Эффективность использования воды (кг/м³); Y – масса экономичного (съедобного) урожая (кг), W – общее количество использованной воды (м³), $WUEB$ – эффективность использования воды на основе общего выхода биомассы (кг/м³); Y_t – общая биомасса растений (кг).

результаты показали, что средняя общая масса растения составляла 15, 15.5 и 18 г, а средняя масса свежего корня составляла 10.3, 10.8 и 12.6 г для капельниц А, В и С соответственно.

эффективность использования воды (WUE) составила 85.8, 87.5 и 210 г/л и эффективность использования воды на основе общего выхода биомассы (WUEB) 125, 129 и 300 г/л для капельниц А, В и С соответственно.

Выводы. Проектирование сети капельного орошения должно основываться на надежных данных лабораторных испытаний, а не на опубликованных данных производителей. для всех капельниц; расход потока увеличивается с увеличением давления. экспериментально доказано, что капельницы с компенсацией давления менее чувствительны к изменениям давления. под рабочим давлением 0,35 МПа ; расход воды увеличился на 5, 27.3 и 9,1% для капельниц типа А, В и С соответственно. капельницы типа D и E имели самую низкую равномерность воды при всех уровнях давления. и расход воды увеличился на 105% и 90% при 0,35 Мпа по сравнению с номинальным расходом для капельницы D и E соответственно.

в полевых условиях рекомендуется устанавливать манометры для определения изменения давления и расчета последующего расхода. система автоматического капельного орошения была эффективной в сокращении человеческого труда. Рекомендуется использовать капельницы типа С под давлением 2,2 МПа, так как это обеспечивает максимальную эффективность использования воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абделфаттах А.Х. Анализ процессов автоматизации полива на основе интеллектуальных систем / А.Х. Абделфаттах, Б.Г. Зиганшин, Д.Т. Халиуллин, И.М. Гомаа. // Достижения техники и технологий в АПК: материалы международной научно-практической конференции. - Ульяновск: Изд-во Ульяновского ГАУ, 2018 С. 13-21.
2. Абделфаттах А.Х. Управление орошением почвы с использованием датчиков влажности / А.Х. Абделфаттах, Д.Т. Халиуллин, И.М. Гомаа // Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса. Материалы международной научно-практической конференции ИМиТС. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ. – 2018. – 265с. С. 18-26.
3. Абделфаттах А.Х. Энергоэффективное использование водных ресурсов в сельском хозяйстве / А.Х. Абделфаттах, И.М. Гомаа., Д.Т. Халиуллин // Агроинженерная наука XXI века. Труды региональной научно-практической конференции. Научное издание. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ. – 2018. – 416с. С. 335-339.
4. Авраамов Г.Н. и др. Расположение капельниц у ствола при поливе садов. // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии, 1981, № 6, с. 44-46.
5. Багров М.Н., Кружилин И.П. Прогрессивная технология орошения сельскохозяйственных культур. - М.; Колос, 1980, 272 с.
6. Валиев А.Р. Система земледелия Республики Татарстан: Ч.3. Система организации и управления производством в земледелии / А.Р. Валиев, И.Х.Габдрахманов, Р.И. Сафин, Б.Г. Зиганшин и др. - Казань: Центр инновационных технологий. - 2014. – 280 с.

7. Валиев А.Р. Техническое обеспечение системы земледелия Республики Татарстан: Современное состояние и направления развития / А.Р. Валиев, Р.И. Сафин, Н.И. Семушкин, Б.Г. Зиганшин // Вестник Казанского ГАУ.- 2012. - № 4. - С. 65-70.
8. Габдрахманов И.Х. Логистика работ в земледелии. / Габдрахманов И.Х., Файзрахманов Д.И., Новичков В.Л., Валиев А.Р., Сафин Р.И., Кадырова Ф.З., Еров Ю.В., Низамов Р.М., Зиганшин Б.Г., Семушкин Н.А. // Система земледелия республики Татарстан в 3-х частях. Казань, 2014. С. 101-120.
9. Герчук И. Системы орошения для плодовоовощных культур (рекомендации).Изд.: Кишинев: CNFA/PDBA, 2008 г.
10. Голованов А.И., Кузнецов Е.В. Основы капельного орошения.- Краснодар: КГАУ, 1996, 96 с.
11. Зюбенко, С.И. Надёжность закрытых трубопроводов / С.И. Зюбенко. - М.: Доклады ВАСХНИЛ, № 1, 1976. – С. 43-44.
12. Ионова З. М., Бойко СИ. Основные достижения в применении капельного орошения. - М.: ВАСХНИЛ, 1985, 62 с.
13. Капельное орошение (Пособие к СНиП 2.06.03-85 "Мелиоративные системы и сооружения"). -М.: Союзводпроект, 1986, 150 с.
14. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. — Москва: Изд-во АН СССР, 1958 г.
15. Кашапов И.И. Энергосберегающие технологии в АПК / И.И. Кашапов, Б.Г. Зиганшин, Н.А. Корсаков, А.Р. Валиев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы VI международной научно-практической конференции. - Саратов: ООО «ЦеСАин», 2015. - С.88-90.
16. Кашапов И.И. Энергосбережение и энергоэффективность. Перспективы развития в России и мире / И.И. Кашапов, А.А. Мустафин, Б.Г.

- Зиганшин, Н.А. Корсаков // Труды Международной научно-практической конференции «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы». - Казань, 2015. -С. 175-181. ISBN:978-5-905201-10-3.
- 17.Кашапов И.И. Энергосбережение и энергоэффективность. Перспективы развития в России и мире / И.И. Кашапов, А.А. Мустафин, Б.Г. Зиганшин, Н.А. Корсаков // Труды Международной научно-практической конференции «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы». - Казань, 2015. -С. 175-181.
- 18.Кирейчева Л.В., Дубенок С.Н. Оптимизация использования дренажно-сбросных вод на орошаемых землях. // Современные проблемы мелиорации и пути их решения. / Сб. н. тр. ВНИИГиМ. - М.: ВНИИГиМ, 1999, т. II, с. 342-356.
- 19.Кондрашов, В. Ф. Машины для орошения : учеб. пособие / В. Ф. Кондрашов, Т. А. Гаврилов. - Петрозаводск : ПетрГУ, 2013 г.
- 20.Мазитов Н.К. Владо-енергосберегающая технология и техника возделывания подсолнечника / Н.К. Мазитов, Л.З. Шарафиев, Д.Т. Халиуллин, С.М. Яхин, Р.Ф. Садриев // Современное состояние, проблемы и перспективные развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2017 .
- 21.Мазитов Н.К. Энергоресурсосберегающие технологии и техника для обработки почвы и посева в засушливых условиях / Н.К. Мазитов Н.К., Б.Г. Зиганшин, А.Р. Валиев, Л.З. Шарафиев., И.Р. Рахимов, Х.Х. Шайдуллин, М.К. Шайхов, С.М. Яхин, Хисамеев Ф.Ф. // Вестник Казанского ГАУ. – 2013. – № 4 (30). – С.65-75.

- 22.Ольгаренко Г.В. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. / Г.В. Ольгаренко, В.И. Городничев, А.А. Алдошкин, В.И. Булгаков и др. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.
- 23.Плугарь М., Бейкал М., Бейкал З, Капельное орошение и урожайность плодовых культур. // Сельское хозяйство Молдавии, 1981, № 5, с. 38-39.
- 24.Сабиров М.К. Способы полива садов и виноградников в Узбекистане. // Технология орошения интенсивных садов. - Мичуринск, 1981, вып. 33, с. 91-93.
- 25.Сафин Р.И. Формирование системы точного земледелия в Республике Татарстан / Р.И. Сафин, А.Р. Валиев, Р.В. Миникаев, Б.Г. Зиганшин и др. // Вестник Казанского ГАУ. – 2010. – № 2 (16). – С.153-156.
- 26.Слюсаренко, В. В. Машины и оборудование для орошения сельскохозяйственных культур: Учебное пособие / В. В.Слюсаренко, А. В. Хизов, А. В. Русинов, Л. А. Журавлева, С. А. Левченко, Д. А. Соловьев, О. В. Кабанов, Н. С. Отрадных. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2011 г.
- 27.Тагиров М.Ш. Сберегающие технологии – основа повышения эффективности в земледелии / М.Ш. Тагиров, Р.Н. Минибаев, А.С. Салихов, Р.И. Сафин, Б.Г. Зиганшин, А.Р. Валиев и др. - Казань: Казанского ГАУ. - 2006. – 50 с.
- 28.Угрюмов А.В., Носенко В.Ф., Ландес Г.А. Тенденции развития механизации и техники полива в 80-е годы. // Гидротехника и мелиорация, 1983, № 3, с. 40-44.
- 29.Файзрахманов Д.И., Матяшин Ю.И., Зиганшин Б.Г., Сафин Р.И. Алгоритм проектирования производства сельскохозяйственной

- продукции - начало технологического реформирования АПК РТ. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2008. Т. 3. № 2 (8). С. 157-162.
30. Файзрахманов Д.И., Нежметдинова Ф.Т., Зиганшин Б.Г., Валиев А.Р. Безопасность продуктов питания в условиях ВТО // Сельский механизатор. - 2013. - № 11 (57). - С. 4-6.
31. Федорец А.А. Эффективность систем капельного орошения. // Сельское хозяйство Молдавии, 1981, № 12, с. 30-31.
32. Храброе М.Ю. Технология малообъемного орошения. // Мелиорация и водное хозяйство. — М., 2000, № 4, с. 30-32.
33. Шарафиев Л.З. Способ и технические средства для обработки эрозионно опасных почв в условиях недостаточной влагообеспеченности / Л.З. Шарафиев, Н.Ф. Вафин., Б.Г. Зиганшин, Н.К. Мазитов. // Техника и оборудование для села. 2018. № 2. С. 8-11.
34. Штепа Б.Г. Технический прогресс в мелиорации. - М.: Колос, 1983, с. 97-111.
35. Щедрин В.Н., Колганов А.В., Васильев С.М., Чураев А.А. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В.Н. Щедрин, А.В. Колганов, С.М. Васильев, А.А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013– В 2 ч. – Ч. 1. – 283 с.
36. Abd-Elsalam M.T., Elsebsy A.A., Abdullah Y.I., Rashad M.A. (2014). Hydraulic performances of various drippers used in irrigation systems in north Sinai, Misr J. Ag. Eng., 31 (2): 523 - 536
37. Allen, R.G., 2000. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. Journal of Hydrology 229 (1–2), 27–41.

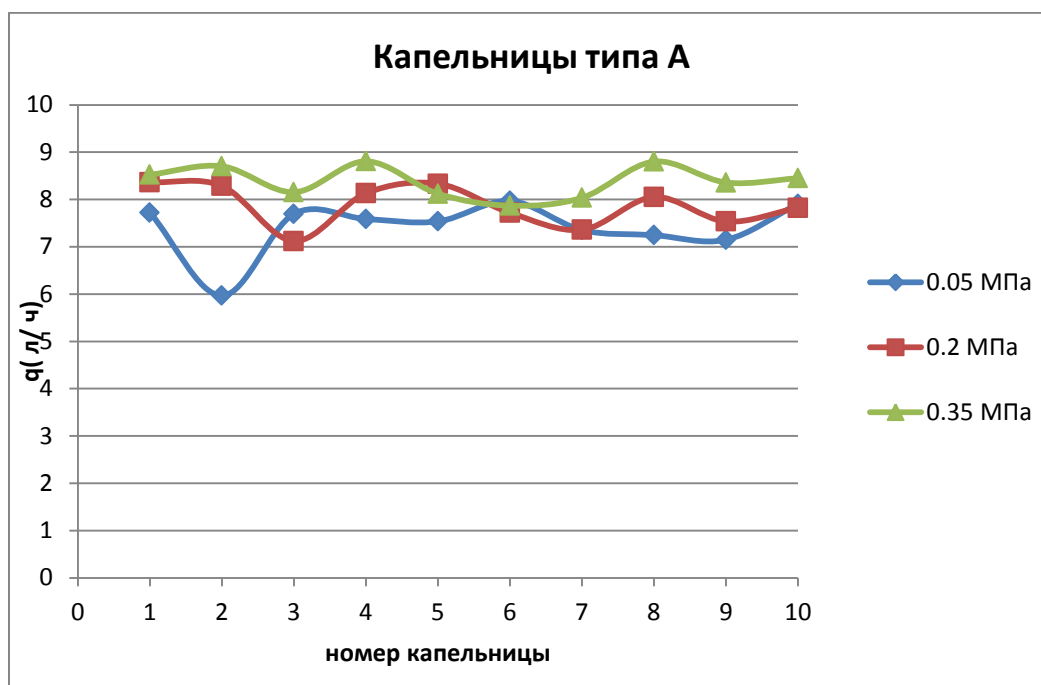
- 38.Allen, R.G., I.A. Walter, R. Elliot, T. Howell, D. Itenfisu, and M. Jensen (eds). 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. American Society of Civil Engineers Environmental and Water Resource Institute (ASCE-EWRI).
- 39.Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO, Roma. 328 pp.
- 40.ASABE (American Society of Agricultural Biological Engineers), S313.3: Soil Cone Penetrometer, ASABE Standards, ASABE, St. Joseph, MI, USA, 2006.
- 41.BODNER, G., Loiskandl, W., Kaulm, H., 2007. Cover crop evapotranspiration under semi-aridconditions using FAO dual crop coefficient method with water stresscompensation. *AgriculturalWater Management* 93 (3), 85–98.
- 42.Bronson, K.F.; Booker, J.D.; Bordovsky, J.P.; Keeling, J.W.; Wheeler, T.A.; Boman, R.K.; Parajulee, M.N; Segarra, E. & Nichols, R.L. (2006) Site-specific Irrigation and Nitrogen Management for Cotton Production in the Southern High Plains. *Agronomy Journal*, 98, 212-219.
- 43.C. Bodole, et al., Laboratory evaluation of dripper performance (2016), *Flow Measurement and Instrumentation* 50(2016) 261–268.
- 44.Cardenas-Lailhacar B., M.D. Dukes and G.L. Miller 2005. Sensor based control of irrigation in Bermudagrass. ASAE. Paper no: 052180. Tampa, Fl: ASAE.
- 45.Dalton, F.N. and Van Genuchten, M.T. 1986. The time-domain reflectometry method for measuring soil water content and salinity.*Geoderma* 38: 237-250.

- 46.Dane and Top (2002), Methods of Soil Analysis, Vol. 4 Methodology, Soil Science Society of America Book Series, ISBN-13: 978-0891188414, USA.
- 47.Das, Ipsita; Shah N.G. & Merchant, S.N. (2010). AgriSens: Wireless Sensor Network in Precision Farming: A Case study. LAP Lambert Academic Publishing, Germany, ISBN: 978-3- 8433-5525-4, Germany.
- 48.Deb S.K., Shukla M.K., Mexal J.G., 2012. Simulating deep percolation in flood-irrigated mature orchards with RZWQM2. Trans. ASABE. 55 (6), 2089–2100.
- 49.Dukes M.D., Scholberg J.M. 2005. Soil moisture controlled subsurface drip irrigation on sandy soils. Applied Engineering in Agriculture 21(1):89-101.
- 50.Dukes, M.D. & Scholberg, J.M. (2004) Automated Subsurface Drip Irrigation Based on Soil Moisture. ASAE Paper No. 052188.
- 51.Durner, W. and Or, D. (2006): Soil water potential measurement. Encyclopedia of Hydrological Sciences.
- 52.FSSS. 2015. *Website of FSSS. Russia in figures 2015*. Federal State Statistics Service.
- 53.Haijun L., Guanhua H. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent 2009, Agricultural water management (9) 745-756.
- 54.Hedley, C.B. & Yule, I.J. (2009). Soil Water Status Mapping and Two Variable-Rate Irrigation Scenarios. Precision Agriculture, 10, 342-355.
- 55.Hess, A. 1996.A microcomputer scheduling program for supplementary irrigation. In: Irrigation Scheduling: From Theory to Practice, Proceedings ICID/FAO Workshop, Sept. 1995, Rome. Water Report No. 8, FAO, Rome.
- 56.Hillel, D., 2004. Encyclopedia of Soils in the Environment, 1st Edition. Academic Press.

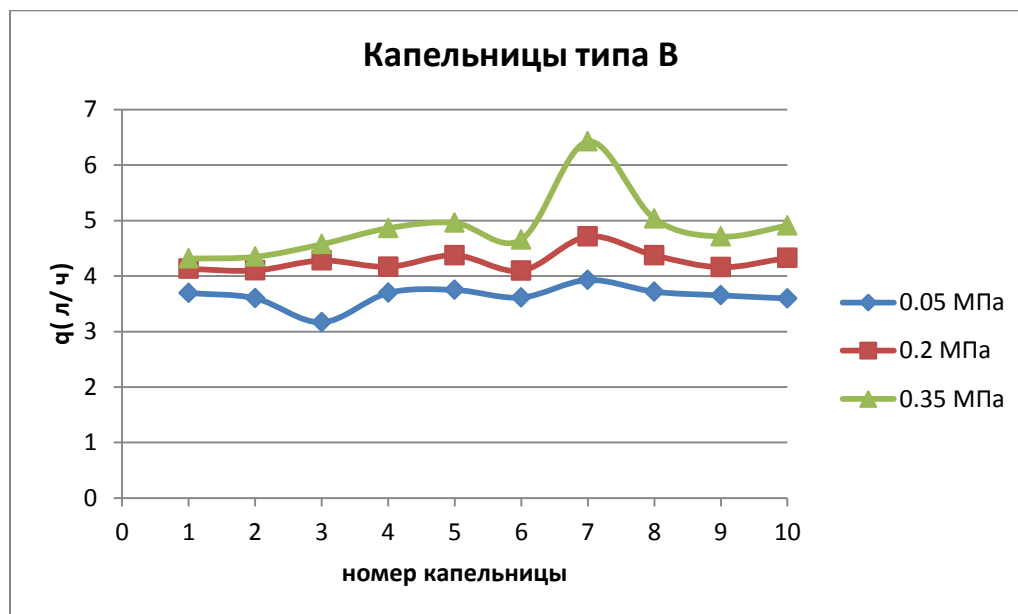
- 57.ISO 9260, Agricultural Irrigation Equipment–Emitters: Specifications and Test Methods, 1991.
- 58.ISO 9261, Agricultural irrigation equipment —Emitting-pipe systems: Specification and Test Methods, 1991.
- 59.Irrigation Association [IA]. 2005. Landscape Irrigation Scheduling and Water Management. <http://www.irrigation.org/gov>.
- 60.Kirnak, H.; E. Dogan; S. Demir and S. Yalcin, (2004). Determination of hydraulic performance of trickle irrigation emitters used in irrigation systems in the Harran Plain. Turk. J. Agric. Forest., (28): 223-230.
- 61.KUTILEK M., Nielsen D.R. (1994): Soil Hydrology. Catena Verlag, Cremlingen, Germany, 1994, pp.370.
- 62.M. Naderi-Boldaji, M. Younesi, A. Sharifi, B. Jamshidi, F. Abbasi, S. Minaee, A combined sensor for on-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance: moisture sensor design and calibration, in: 2nd International Conference on Machine Control and Guidance Proceeding, University of Bonn, Germany, 2010, pp. 163–170.
- 63.Mondal, P. & Tewari, V.K. (2007). Present Status of Precision Farming: A Review, *International Journal Agricultural Research*. 2(1), pp 1–10.
- 64.Moreira Barradas, J. M., Abdelfattah, A., Matula, S., Dolezal, F. 2014. Effect of Fertigation on Soil Salinization and Aggregate Stability. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, American Society of Civil Engineers. ISSN: 0733-9437; eISSN: 1943-4774.
- 65.Munoth P, Goyal R, Tiwari K (2016) Sensor based irrigation system: A review. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), NCACE-2016 Conference Proceedings, 4 (23):86-90.

- 66.R.K. Koech, Water density formulations and their effect on gravimetric water meter calibration and measurement uncertainties Flow Measurement and Instrumentation 45 (2015)188–197.
- 67.Riley M. (2005). The cutting edge of residential smart irrigation technology. California Landscaping. July/August Pages 19-26.
- 68.Sadler, E.J.; Evans, R.G.; Stone, K.C. & Camp, C.R. (2005). Opportunities for Conservation with Precision Irrigation. Journal of Soil and Water Conservation, 60(6), 371-379.
- 69.Sharma H., et al. (2016). Soil moisture sensor calibration, actual evapotranspiration, and crop coefficients for drip irrigated greenhouse chile peppers. Agric. Water Manage, Pages 1-11.
- 70.Shiklomanov LA (1999) World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. IHP Report. Paris, France: UNESCO.
- 71.Suleiman, A.A., Tojo, S.C., Hoogenboom, G., 2007.Evaluation of FAO-56 crop coefficient procedures for deficit irrigation management of cotton in a humid climate. Agricultural Water Management 91 (1–3), 33–42.
- 72.T.Müller, C.Ranquet Bouleau and P.Perona (2016) Optimizing drip irrigation for eggplant crops in semi-arid zones using evolving thresholds, Agricultural Water Management, Volume 177, Pages 54-65.
- 73.USDA (United States Department of Agriculture), Part 623 Irrigation National Engineering Handbook, chapter 7: Microirrigation, USDA, Natural Resources Conservation Service, USA, 2013.
- 74.William L.Kranz Dean E. Eisenhauer and Mary T.Retka (1992): Water and energy conservation using irrigation scheduling with center-pivot irrigation systems Agricultural Water Management , Volume 22, Issue 4, Pages 325-334.

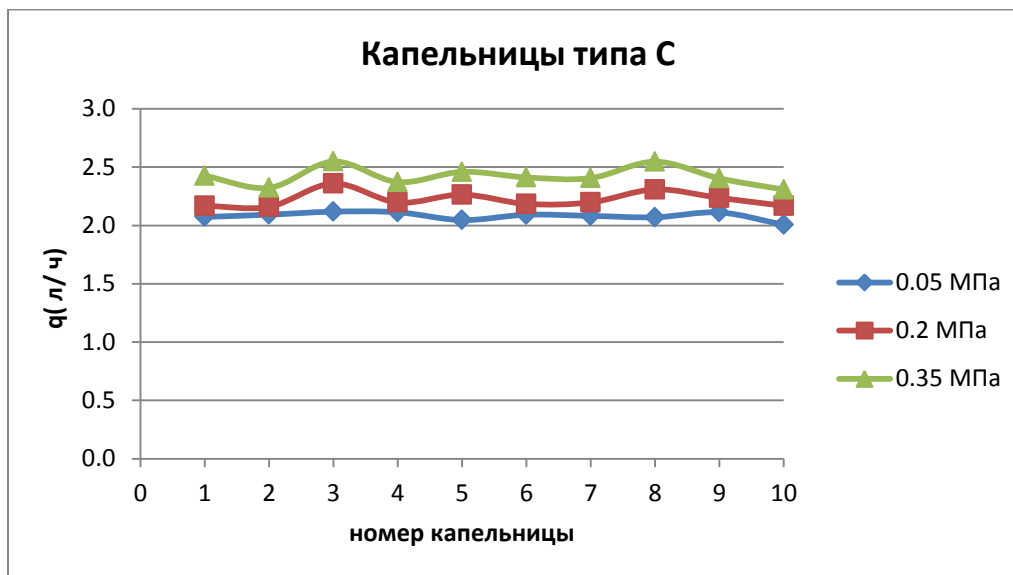
- 75.Y. Sun, P.S. Lammers, D. Ma, J. Lin, Q. Zeng, Determining soil physical properties by multi-sensor technique, *Sens. Actuators: A* 147 (2008) 352–357.
- 76.Zhang, P. (2008) *Industrial control technology: a handbook for engineers and researchers*, William Andrew publication, USA.
- 77.[http://agrostimul.com.ua/help/itemlist/tag/Капельное орошение.html](http://agrostimul.com.ua/help/itemlist/tag/Капельное%20орошение.html)
- 78.<http://ingsvd.ru/main/articles/734-elektromagnitnyy-solenoidnyy-klapan-i-vse-o-nem.html>
- 79.<http://racechrono.ru/pochvovedenie/3064-granulometricheskiy-sostav-pochv.html>
- 80.<http://www.agroacadem.ru/?p=6294>
- 81.<http://www.autoopt.ru/articles/products/20774560/>
- 82.<http://www.bibliotekar.ru/2-8-50-pochvovedenie/21.htm>
- 83.http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/egy/
- 84.http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/RUS/
- 85.<https://tameson.com/solenoid-valve-types.html>
- 86.<https://www.decagon.com/en/support/how-do-i-determine-field-capacity/>



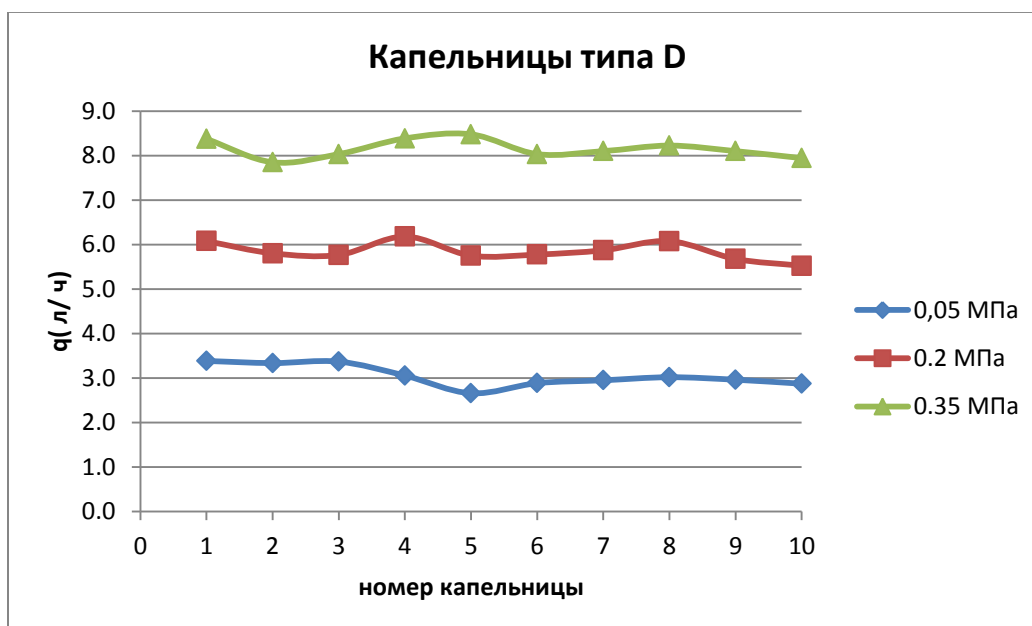
Приложение 1- Изменение расхода вдоль капельной линии при различных уровнях давления, капельницы типа А (Номинальный расход 8л/ч)



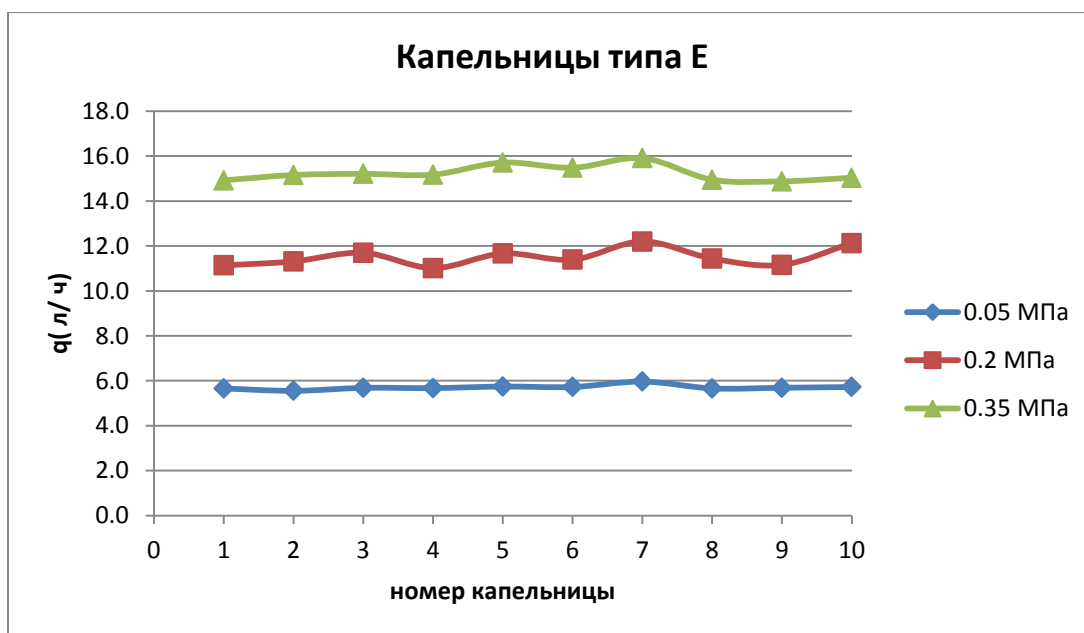
Приложение 2 - Изменение расхода вдоль капельной линии при различных уровнях давления, капельницы типа В (Номинальный расход 3.85 л/ч)



Приложение 3 - Изменение расхода вдоль капельной линии при различных уровнях давления, капельницы типа С (Номинальный расход 2.2 л/ч)



Приложение 4 - Изменение расхода вдоль капельной линии при различных уровнях давления, капельницы типа D (Номинальный расход 4 л/ч)



Приложение 5 - Изменение расхода вдоль капельной линии при различных уровнях давления, капельницы типа Е (Номинальный расход 8 л/ч)