

## **Тема: «Аэрозольное орошение»**

**Цели и задачи:** ознакомиться с аэрозольным орошением.

**План:**

1. Сущность мелкодисперсного увлажнения
2. Преимущества и недостатки аэрозольного орошения
3. Технические средства для аэрозольного орошения
4. Мелкодисперсное (аэрозольное) увлажнительное дождевание

Основной причиной резкого снижения урожайности сельскохозяйственных культур является засуха – как почвенная, так и атмосферная. Атмосферная засуха наблюдается при высокой температуре и низкой влажности приземного слоя воздуха даже при высокой влажности почвы, так как в этом случае корневая система не успевает подавать воду наземным частям растений.

При увеличении температуры воздуха выше определённого предела фотосинтез прекращается (рис. 51), что вызывает резкое снижение продуктивности растений. При низкой влажности и высокой температуре воздуха на транспирацию затрачивается избыточное количество почвенной влаги.

При поверхностном орошении и при дождевании частично улучшается микроклимат орошаемых участков, но это влияние недостаточно, кратковременно и распространяется лишь на часть орошаемого массива.

Кардинальным образом повышение влажности и понижение (а при заморозках и повышение) температуры приземного слоя воздуха обеспечивается при мелкодисперсном (аэрозольном) увлажнении. При таком способе орошения с помощью специальных установок создаются мельчайшие капли воды (аэрозоли), которые увлажняют приземный слой воздуха, наземную часть растений и частично поверхность почвы. При этом в результате испарения диспергированной воды происходит охлаждение растений. Можно предположить, что увлажнённый воздух, имеющий повышенную плотность, будет стелиться по земле, мало перемешиваясь с находящимися над ним слоями воздуха, вследствие чего образуется интенсивный ограждающий слой.

Сущность мелкодисперсного увлажнения (аэрозольное дождевание) сводится к распылению (диспергированию) оросительной воды на мелкие капли (50-300 мкм), которые покрывают листовую поверхность растений и не скатываются с неё на почву, а остаются до полного испарения. Этот процесс сопровождается повышением относительной влажности воздуха, снижением температуры листовой поверхности. Он сокращает расход влаги на суммарное водопотребление, защищает растения от атмосферной засухи, способствует активизации процесса фотосинтеза и повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Опыты по мелкодисперсному увлажнению (размер капель 10-100 мкм) были начаты в 1935 г. (инж. И. И. Заикин). Опытные установки для создания искусственного тумана были разработаны в Корнельском университете в США, в Национальном институте сельскохозяйственной техники в Англии, в Италии и других странах.

Во время суховея относительная влажность воздуха составляет 30% и менее, температура поднимается до 30-35<sup>0</sup>С и выше, а скорость ветра возрастает до 5-6 м/с. В этих условиях транспирация растений увеличивается в несколько раз, корни не успевают подавать из почвы наземным частям необходимое количество воды, листья обезвоживаются, возникают необратимые повреждения (некроз тканей), снижается продуктивность растений, а в ряде случаев они гибнут.

Если при суховее вести мелкодисперсное увлажнение, температура растений и приземного слоя воздуха понизится на 5-10°C и одновременно повысится относительная влажность. В период суховея установки мелкодисперсного дождевания должны работать эпизодически, а в засушливые годы – от 3-5 до 20-30 дней и более за сезон.

Проведенные расчёты показывают, что при неустойчивой стратификации защитное действие диспергированной воды распространяется на расстояние 1-1,5 км, а при устойчивой – на 5-6 км при расходе воды на диспергирование 1 м<sup>3</sup>/ч на каждый гектар.

Физиологи установили, что в аридной и субаридной зонах летом в полуденные часы температура воздуха превышает оптимальное для фотосинтеза значение. Процесс ассимиляции замедляется, а при температурах порядка 30-35°C фотосинтез у большинства сельскохозяйственных культур прекращается, и идёт активный процесс дыхания, то есть происходит потеря органического вещества, а, следовательно, и урожая. В жаркие летние дни депрессия фотосинтеза нередко начинается в 10 часов утра и длится до 18-19 часов, т.е. основную часть светового дня растения не только не синтезируют органическое вещество, но даже теряют его (рис.52).

Устранить депрессию фотосинтеза можно путём охлаждения листового покрова. Опыты проф. А. Д. Александрова показывают, что при мелкодисперсном увлажнении (норма 0,1-0,3 м<sup>3</sup>/га в ч) урожай пшеницы и чая возрастает на 80% и более по сравнению с обычным дождеванием, а кукурузы – в три раза по сравнению с выращиванием без полива.

Мелкодисперсное увлажнение в жаркое время дня и при низкой относительной влажности вызывает сокращение расхода воды на транспирацию, так как основная часть воды, транспирируемой растениями из почвы, не участвует в биохимических превращениях, а расходуется на защиту растений от излишней инсоляции и компенсацию пониженной влажности приземного слоя воздуха.

Защита растений от заморозков при помощи мелкодисперсного увлажнения может достигаться за счёт повышения температуры как приземного слоя воздуха, так и непосредственно наземной части растений. Повышение температуры приземного слоя воздуха или растений происходит в результате выделения тепла при фазовом переходе, при замерзании мелкодиспергированной воды, а также за счёт повышенной температуры оросительной воды.

Опыты, проведенные при температуре окружающего воздуха –10°C, показали, что при противозаморозковом мелкодисперсном увлажнении с расходом воды 16 л/с/га температура растений равна – 1°C.

Таким образом, мелкодисперсное увлажнение защищает растения от ранних и поздних заморозков и позволяет удлинить вегетационный период, благодаря чему сельскохозяйственные культуры не повреждаются, и повышается их продуктивность.

Особенно эффективно применение противозаморозкового увлажнения для многолетних насаждений – садов, виноградников, цитрусовых.

Способ мелкодисперсного увлажнения уже сейчас может найти применение в оранжереях.

### **Преимущества и недостатки аэрозольного орошения**

Сл.7 Мелкодисперсное или аэрозольное орошение предназначены для регулирования микроклимата над полем. Их применение наиболее эффективно и целесообразно на территориях со сложным рельефом, большими уклонами, при дефиците водных ресурсов, высокой сухости климата. Дисперсные распылители образуют капли диаметром менее 0,5...1 мм, а туманообразующие установки создают облако мелкораспыленной воды с диаметром капель 300...500 мк. Распыление над полем 100...400 л/га в жаркие часы суток позволяет за 1,5...2 ч снизить температуру воздуха на 6...12 °C и повысить его влажность.

Применение мелкодисперсного и аэрозольного орошения в сочетании с обычным дождеванием позволяет улучшить микроклимат в приземном слое воздуха, режим питания растений, установить оптимальные температурный и водный режимы растений, сэкономить поливную воду и повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

Технические средства можно также использовать для борьбы с болезнями и вредителями растений, внесения микро- и макроэлементов.

Целесообразность применения мелкодисперсного и аэрозольного орошения зависит от природно-климатических (климат, рельеф, обеспеченность водой, качество оросительной воды) и хозяйственно-экономических условий (состав и особенности сельскохозяйственных культур, их физиологические потребности, условия возделывания, ресурсообеспеченность).

Для правильного выбора режима мелкодисперсного и аэрозольного орошения нужно иметь сведения не только о числе дней с критическими температурами и влажностью воздуха, но и о продолжительности этих периодов в течение суток. Например, для картофеля продолжительность такого периода в течение суток в июне составляет 6...7 ч. Поддержание дневных температур воздуха в пределах физиологически оптимальных показателей очень важно для повышения продуктивности посевов в условиях жаркого климата. Хорошие результаты дает применение мелкодисперсного и аэрозольного орошения для борьбы с суховеями в степной зоне на богарных и орошаемых массивах и для защиты растений от заморозков.

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 замерзает непосредственно на поверхности растений или в атмосфере. При этом температура инверсионного слоя воздуха повышается.

Аэрозольное орошение наиболее эффективно и целесообразно на территориях со сложным рельефом, большими уклонами, при дефиците водных ресурсов, высокой сухости климата, а также неблагоприятными условиями зимовки двулетних и многолетних культур. Хорошие результаты дает применение аэрозольного орошения для борьбы с суховеями в степной зоне на богарных и орошаемых массивах, для защиты растений от заморозков.

Основные преимущества таких систем:

- ускорение созревания и повышение урожайности (в 2 - 3 раза), что сказывается
  - на повышении производительности сельского труда; значительное сокращение
  - потребностей в поливной воде; возможность сельскохозяйственного использования
  - косогоров, засушливых земель и песков пустынь; возможность массового
  - выращивания особо ценных пищевых и лекарственных растений, размножения
  - селекционного материала различных культур; быстрое укоренение зеленых черенков;
  - использование в качестве защиты растений и урожая от заморозков, града и воров.

возможность использования техники для аэрозольного орошения в других целях - дождевания, внесения подкормок и удобрений, гербицидов и т. п.

Применение в засушливых почвенно-климатических регионах аэрозольного орошения, в сочетании с обычным дождеванием, позволяет улучшить микроклимат в приземном слое воздуха, режим питания растений, установить оптимальные температурный и водный режимы растений, сэкономить поливную воду и повысить урожайность сельскохозяйственных культур. Технические средства, применяемые при аэрозольном орошении, можно также использовать для борьбы с болезнями и вредителями растений, внесения микро- и макроэлементов.

Защита растений от заморозков с помощью аэрозольного орошения основана на повышении температуры приземного слоя воздуха или, непосредственно, растений. Повышение температуры приземного слоя или растений осуществляется за счет тепла, выделяемого при переходе воды из одного физического состояния в другое. Мелкораспыленная вода замерзает непосредственно на поверхности растений или в атмосфере. При этом происходит повышение температуры инверсионного слоя воздуха. Этот способ защиты растений эффективен только при радиационных заморозках, при адвективных его применение нецелесообразно.

Противозаморозковое аэрозольное орошение можно широко применять в садах, виноградниках, на citrusовых плантациях. В настоящее время разрабатывается технология аэрозольного орошения для регенерации корневой системы озимых культур после крайне неблагоприятных условий зимовки.

Поддержание дневных температур воздуха в пределах физиологически оптимальных показателей очень важно для повышения продуктивности посевов в условиях жаркого климата.

Сочетание обычных способов полива (например, дождевание) с аэрозольным орошением наиболее эффективно в зоне неустойчивого увлажнения.

К основным недостаткам аэрозольного орошения можно отнести высокую стоимость применяемого оборудования, установок и машин, а также зависимость эффективности этого способа орошения от скорости ветра.

Целесообразность применения аэрозольного орошения, а также его режим зависят от множества факторов.

Основными из них являются:

- природно-климатические условия (климат, рельеф, обеспеченность водой, качество оросительной воды, водно-физические свойства почвогрунтов, залегание и минерализация грунтовых вод и др.);

- хозяйственно-экономические условия, (состав и особенности сельскохозяйственных культур, их физиологические потребности, условия возделывания, ресурсообеспеченность).

При выборе режима аэрозольного орошения учитывают физиологические потребности культур. Так, энергия фотосинтеза, которая определяет рост, развитие и продуктивность растений, зависит от интенсивности и напряжения солнечного освещения, температуры окружающей среды и самого растения, водного режима растений. Для каждого вида и сорта растений, в соответствии с их филогенезом, определена оптимальная для фотосинтеза температура окружающей среды.

Для правильного выбора режима аэрозольного орошения нужно иметь сведения не только о числе дней с критическими температурами и влажностью воздуха, но и о продолжительности этих периодов в течение суток. Например, для картофеля продолжительность такого периода в течение суток в июне составляет: при 50%-ной обеспеченности температурой 7 ч., при 75%-ной обеспеченности – 6 ч., или, соответственно, с 10 до 17ч. и с 11 и до 17 ч.

#### **Технические средства для аэрозольного орошения**

Для аэрозольного орошения используют передвижные, полустационарные и стационарные системы.

В передвижных системах используют *машины типа ТОУ* (туманообразующие установки "ТОУ-Шохина"), *опрыскиватели ОП450, ОВТ-1 и ОН-400*. Эти технические средства рекомендуется использовать на небольших массивах, примыкающих к естественным водоисточникам (озеро, пруд, река).

Сторона прямоугольного поля, перпендикулярная водоисточнику, должна равняться половине пути, на котором машина при заданной скорости движения израсходует объем воды из прицепной цистерны или навесной емкости. Например, для ТОУ-5 при норме увлажнения 800 л/га и радиусе захвата 100 м эта длина будет равна 500 м.

Внутри участка через каждые 100 м нужно прокладывать дороги шириной 2,5-3 м, с учетом направления господствующих ветров.

Установки аэрозольного орошения типа ТОУ относятся к типу машин, снабженных транспортной емкостью, заполненной жидкостью для диспергирования. Жидкость диспергируется скоростным газо-воздушным потоком, создаваемым с помощью отработавшего свой ресурс авиадвигателя ГТД-3Ф. Установка работает следующим образом: атмосферный воздух засасывается в компрессор, сжимается там и поступает в камеру сгорания, куда подается топливо. Разогретый до 1000-11000С воздух с продуктами

сгорания направляется в двухступенчатую газовую турбину, служащую приводом компрессора, а затем поступает в суживающее сопло с температурой 400-4500 С.

Здесь золовоздушная смесь циркулирует со скоростью порядка 400-450 м/с, расширяется, создавая давление, близкое к атмосферному. На выходе из сопла в струю газозооушной смеси подается вода из перфорированных по длине патрубков, соединенных с водораспределительным коллектором гибкими шлангами, которые укреплены на шарнирах, позволяющих сводить и разводить их по отношению к оси струи.

Из сопла смесь воды и воздуха выходит в виде турбулентной двухфазной струи и распределяется по посеву. Через некоторое время скорость струи уменьшается, капли воды выпадают из потока и осаждаются на листьях растений.

Серийно выпускаемые опрыскиватели ОП-450, ОВТ-1, ОН-400 и другие агрегируют с тракторами класса 1.4 Т.

**Полустационарные системы** включают водопроводящую сеть для передвижных дождевальньх машин, состоящую из подземных или надземных (разборньх) трубопроводов. На них через каждые 200 м располагают гидранты.

Для заправки емкостей машин водой трубопровод должен иметь пропускную способность, обеспечивающую заправку цистерн в течение 5-7 мин.

К полустационарным системам относятся и оросительные системы, в которых применяют дождевальнье машины типа ДДА-100 МА. В этом случае оросительная сеть сохраняется такой же, как и при обычном дождевании, но у нее уменьшается пропускная способность, за исключением регионов, где обычное дождевание необходимо сочетать с аэрозольньм орошением.

Использование ДДА-100 МА для аэрозольного орошения представляет большой интерес. Как показывает опыт ряда научноисследовательских институтов и хозяйств, дооборудование агрегата для этой цели несложно и может быть выполнено силами хозяйств. Это оборудование или заменяет уже имеющееся на ДДА-100 МА, или дополняет его. Производительность переоборудованной ДДА-100 МА достигает 50 га за вегетационньй период. При этом ДДА-100 МА становится универсальньм агрегатом с его помощью можно проводить обычное и аэрозольное орошение, внесение микро- и макроудобрений, борьбу с болезнями и вредителями и др.

**Стационарные системы аэрозольного орошения** проектируют двух типов: для увлажнения листовоу поверхности и для увлажнения приземного слоя воздуха. Первые представляют собой густую сеть трубопроводов, расположенную на некоторой высоте от поверхности земли в зависимости от высоты растений.

Для типового (эталонного) участка площадью 3,24 га рабочие трубопроводы диаметром 40-80 мм (165 пог. м) укладывают через каждые 30 м. Вся протяженность труб, приведенньх к диаметру 200 мм, составляет 44,5 м/га. На рабочих трубопроводах по сетке 30х30 м устанавливают струйнье аппараты с диаметром сопла 3,2 мм. Напор в сети – 6-7 кПа.

Эталонньй участок увлажняется в течение 100 с.

По данным ВНИИГиМ, в течение часа за 36 циклов будет увлажняться площадь 116,5 га.

**Системы для увлажнения приземного слоя воздуха** представляют собой сеть трубопроводов: распределительньх, диаметром 20-50 мм, укладываемьх через 100 м: проводящих, диаметром 50-80 мм, укладываемьх по границе участка, и стояков высотой 10-15 м, диаметром 40-50 мм, устанавливаемьх по 1-2 на 1 га, а по границе участка в направлении, перпендикулярном господствующим ветрам, - через 20-30 м.

На верху стояка на поперечном патрубке (антенне) диаметром 10-20 мм и длиной 510 м монтируют 6-12 насадок с диаметром отверстия 1-2 мм. Расход воды через стояк - 0,14-0,18 л/с. Напор у насадок - 2,4 кПа. Эталонньм является участок площадью 49 га (700х700м), увлажняемый непрерывно, с суммарньм расходом воды 13-14 л/с и с удельной протяженностью трубопроводов, приведенньх к диаметру 200 мм, примерно 35 пог. м/га.

Стационарная система работает в режиме чередующихся циклов "увлажнение-пауза".

Продолжительность увлажнения составляет 20-30 мин. в зависимости от метеоусловий и водоудерживающей способности листьев.

Продолжительность паузы зависит от интенсивности процессов испарения и восстановления температуры листьев и приземного слоя воздуха до поливных значений. При размещении дождевателей на участке надо обязательно учитывать преобладающее направление ветра.

В любом случае площадь одновременного полива должна быть не менее 5-10 га, что устраняет явление краевого эффекта, при котором влажность и температура воздуха на участке под влиянием аэрозольного орошения изменяется в незначительных пределах из-за выноса частиц за пределы участка и рассеивание их в общей массе воздушного потока.

Равномерность распределения капель существенно снижает действие краевого эффекта.

Технологический процесс аэрозольного орошения должен тесно увязываться с агротехникой. Высокое качество увлажнения в период закладки и формирования генеративных органов способствует повышению продуктивности посева, а следовательно, и получению гарантированного урожая независимо от складывающихся погодных условий года.

При анализе процессов аэрозольного орошения исследуют распределение воды по листовой поверхности почвы под растениями и снесенных ветром за пределы увлажняемого поля, а также испарение. При этом рассматривают период от распыления жидкости (средний размер капель, распределение их размеров) до осаждения капель воды на листьях растений, последнее имеет определяющее значение для эффективности аэрозольного орошения.

Большое значение имеет и соударение капель с поверхностью листьев растений, в результате которого капля может прилипнуть к поверхности, отскочить или скатиться с нее. Степень растекания капель аэрозоля по поверхности листьев растений во многом зависит от смачивания этих поверхностей жидкостью. Если жидкость хорошо смачивает поверхность – то осевшие на ней капли сильно растекаются.

На полностью смачиваемой поверхности жидкость распределяется в виде сплошной пленки определенной толщины, избыток воды стекает. Если смачивание плохое, то капли не растекаются по поверхности и легче скатываются с нее.

Смачивание листа в сильной степени зависит от его морфологии и состава поверхностных тканей. Хорошо смачиваются листья с гладкой поверхностью, не имеющие сильного воскового налета (листья свеклы, фасоли, лимона, горчицы). В то же время многие растения (горох, лен, капуста, люцерна) имеют плохо смачивающиеся листья.

Удержание мелкораспыленной воды листьями растений определяется углом падения капель, их размером, нормой расхода жидкости видом растений. Угол падения капель – важный фактор удержания на растении. При увеличении угла падения удержание капель на листьях резко уменьшается. В исследованиях по аэрозольному орошению сельскохозяйственных культур, проведенных в ВолжНИИГиМ, капли диаметром 100-150 мкм удерживались некоторыми культурами (пшеница, кукуруза) даже при вертикальном положении поверхности листьев.

Крупные капли диаметром 500-700 мкм скатываются с листьев пшеницы, капусты, в то время как на листьях кукурузы, картофеля, сои эти капли удерживаются достаточно хорошо. Листья люцерны лучше увлажняются каплями диаметром 300-500 мкм. Капли диаметром больше 800 мкм частично стекают с поверхности ее листьев.

Распыление воды на очень мелкие капли снижает эффективность аэрозольного орошения за счет увеличения интенсивности испарения капель, энергозатрат. Такие капли сильно подвержены влиянию ветра.

Нижним пределом среднего диаметра капель при аэрозольном орошении можно считать 100-150 мкм.

Оптимальный диаметр капель – 500-600 мкм.

Абсолютное удержание воды растениями определяется общей площадью их листовой поверхности. Так, картофель в начале вегетационного периода имеет площадь листового покрова меньше площади почвы, занятой посевом, а в середине вегетационного периода (фазы бутонизации и цветения) эта площадь превышает площадь почвы в 5-6 раз (листья растений располагаются в несколько ярусов).

В связи с этим интенсивность аэрозольного орошения и диаметр капель должны увеличиваться во время вегетации, так как возрастает водоудерживающая способность посева.

*Нормы разового увлажнения* влияют на степень и длительность изменения параметров фитоклимата посева. Распыленная вода должна удерживаться листовым покровом, находясь обычно в пленочном или капельном состоянии. Практически капельной влагой покрываются в основном листья верхнего яруса, а листья нижних ярусов увлажняются стекающей жидкостью. Средняя норма разового увлажнения в зависимости от вида растений и их возраста составляет 0,6-1,2 м<sup>3</sup>/га.

Минимальная норма разового воздействия, обеспечивающая повышение влажности воздуха на 15-17 %, не должна быть менее 0,15-0,20 м<sup>3</sup>/га.

*Интервал между увлажнениями* – важный показатель, влияющий на технико-экономические параметры средств аэрозольного увлажнения. При испарении капель воды температура воздуха и посева снижается, а влажность воздуха в среде посева повышается.

Испарение капель при аэрозольном орошении происходит на трех этапах: при формировании факела распыленной воды, при транспортировке капель ветром, после осадения их на листья растений. Постепенно влияние импульса аэрозольного орошения ослабевает, а значения параметров фитоклимата увлажненного посева и почвы, где аэрозольное орошение не проводилось, сближаются. Этот промежуток времени по параметрам фитоклимата различен.

Поэтому интервал между увлажнением устанавливается по времени испарения капель, а также периода последствия, который в 1,5 – 2 раза превышает время испарения. На посевах сельскохозяйственных культур рекомендуется выдерживать часовой цикл увлажнений.

Мелкодисперсное увлажнение (МДУ) проводят, как правило, только в дневные часы, когда температура воздуха превышает физиологические оптимальные значения для развития сельскохозяйственных культур. Норма разового полива колеблется в пределах 80-600 л/га в 1 ч.

Диспергирование воды при МДУ осуществляется туманообразующими установками ТОУ-6, ТОУ-7 и др. Туманообразующая установка ТОУ-7 состоит из двух основных частей: генератора высокоскоростного потока воздуха, в качестве которого используют газотурбинные авиадвигатели ГТД-3Ф, отработавшие лётный ресурс, и соплового аппарата с водораспределительным устройством. Длина факела активного распыления воды изменяется от 70 до 150 м в зависимости от скорости и направления ветра. Расход воды составляет 100-300 л/мин, но не более 29-30 м<sup>3</sup>/ч на 1 га. Агрегат на новую позицию перемещает трактор через 3-4 ч. При полном развороте сопла на 360<sup>0</sup>, средней длине факела 100 м с одной позиции можно увлажнять около 4 га с затратами воды около 20 м<sup>3</sup>/га. Дневная производительность установки при 5-7 увлажнениях – до 100 га. Установка может работать от закрытой сети с размещением гидрантов через 200 м.

Для проведения увлажнения установка ТОУ может забирать воду из автоцистерны ЗИЛ-130 ёмкостью 12 м<sup>3</sup>. При скорости передвижения агрегата 9 км/ч расход воды на увлажнение составит около 2 м<sup>3</sup>/га, а за оросительный сезон - 120 м<sup>3</sup>/га. За десятичасовой рабочий день агрегат может однократно увлажнить площадь 900-1000 га. Для заправки цистерны на каждые 100 га достаточно иметь один гидрант.

**Сл.20.** Во ВНПО «Радуга» разработана конструкция стационарной системы МДУ, которая включает насосную станцию, трубопроводную сеть и мачты с самоустанавливающейся штангой с форсунками. Высота мачты 10 м, общий расход форсунок 0,3-0,85 л/с, рабочий напор 15-40 м, количество форсунок 22. На орошаемой площади мачты расставляют по треугольной схеме.

Во ВНИИГиМ разработано специальное оборудование, позволяющее осуществлять



Рис. 1- Туманообразующая установка

Во ВНИИГиМ разработано специальное оборудование, позволяющее осуществлять мелкодисперсное увлажнение переоборудованной дождевальной машиной ДДА- 100МА, которая может выполнять как дождевание, так и мелкодисперсное увлажнение, вносить удобрения и гербициды. Ширина захвата агрегата 115 м, скорость перемещения 7 км/ч, обслуживаемая площадь 55 га, расход воды 4 л/с, давление 0,55 МПа, количество форсунок 102. Основная причина, сдерживающая широкое применение МДУ, ограниченное количество специальной техники. Вместе с тем практически каждое хозяйство располагает тракторными опрыскивателями ОН-400-3, ОВТ-1А, ОВС-А, ОП-450 и другими, которые используются в борьбе с сорняками и болезнями сельскохозяйственных культур.

Эти опрыскиватели, как показали опыты, проведенные в УИИВХ и других организациях, можно успешно применять и для МДУ.

С повышением температуры воздуха у растений увеличивается испарение (транспирация), предохраняющее их от перегрева. При продолжительном действии



высоких температур транспирация резко увеличивается, содержание воды в тканях растений уменьшается ниже оптимального уровня, начинается депрессия фотосинтеза. В результате обезвоживания жизнедеятельность растений снижается. Депрессия фотосинтеза у большинства культур начинается при + 18-28°C и продолжается с 8 ч утра до 18 ч вечера. Периоды с температурой выше 25°C могут длиться от 44 до 120 дней и сопровождаться суховеями со скоростью ветра 1,8-4,3 м/с и штилями продолжительностью от 5 до 35 дней. Одним из путей защиты растений от действия повышенных температур является увлажнение воздуха, снижение его температуры и восстановление водного баланса растений.

Мелкодисперсное дождевание (МДД) предназначено для увеличения влажности приземного слоя воздуха и уменьшения температуры листьев растений при неблагоприятных состояниях внешней среды (воздушные засухи и суховеи).

Системы МДД применимы во всех зонах орошаемого земледелия для освежительных поливов садов, ягодников, чайных плантаций, овощных, кормовых, технических культур, многолетних трав и пастбищ, а также для борьбы с воздушными засухами и суховеями. Регулирование микро- и фитолимата на сельскохозяйственных полях в условиях продолжительных воздушных засух позволяет повысить интенсивность фотосинтеза, а в ряде случаев и предотвратить гибель растений.

МДД может быть использовано как самостоятельный способ орошения в регионах с достаточным увлажнением, а для районов с умеренным и недостаточным увлажнением – как составная часть комбинированных систем, например, с капельной системой орошения, так как при капельном орошении на создание микролимата надземной части растений расходуется не более 2 % подаваемой оросительной воды, что недостаточно в периоды депрессии фотосинтеза. При применении аэрозольного увлажнения основная часть оросительной воды (95-98 %) расходуется на увлажнение воздуха, практически не создавая запаса влажности в почве.

Эффективный размер диспергированных капель воды – 50-600 мкм. Но по группам растений этот показатель отличается. У растений с листьями, имеющими выраженный восковой налет оптимальная крупность капель 50-300 мкм. Крупные капли (400-500 мкм и более) сползают по поверхности, смыкаются и скатываются с поверхности листа на землю. Количество воды, подаваемое за один импульс или проход агрегата, должно, с одной стороны, обеспечивать достаточно сильное и продолжительное влияние на фитолимат посевов, с другой – полностью удерживать влагу на листовом покрове. Разовая норма увлажнения должна находиться в пределах 0,8-1 м<sup>3</sup> /га. Максимальная водоудерживающая способность поверхности сельскохозяйственных культур составляет 3-4 м<sup>3</sup> /га при достаточно равномерном распределении капельной влаги по листовой поверхности, но на практике из-за неравномерности увлажнения растительного покрова максимальная норма разового увлажнения должна быть в 1,5-2 раза меньше. Периодичность подачи воды в термически напряженное время суток – через 1-2 ч. Необходимое число циклов увлажнения определяется скоростью испарения капель диспергированной воды с поверхности растений. Объем расходуемой за сутки влаги должен обеспечивать поддержание регулируемых параметров фитолимата посевов в рекомендуемых пределах. По данным многих авторов, средняя за вегетационный период суточная норма увлажнения находится в пределах 2-7 м<sup>3</sup> /га.

Наибольший эффект от мелкодисперсного дождевания достигается при частом или непрерывном распределении водного аэрозоля над орошаемой площадью.

Для расчета времени испарения капель воды с поверхности растительного покрова Б.К. Рассоловым и А.И. Шахмейстером предложен ряд формул. Для растительного покрова с изменяющимися параметрами фитолимата формула имеет вид:

$$\tau = 1,3 \frac{d^2}{\Delta t} \cdot 10^{-3}, \text{ мин.}$$

где  $\tau$  – время испарения, мин;  $d$  – средний диаметр капель, мкм;  $\Delta\ell$  – разность концентрации водяного пара в растительном покрове и над растительным покровом, мб.

Время испарения капель для ДДА-100МА определяется по формуле

$$\tau = \frac{200}{\Delta\ell}, \text{ мин.}$$

а для туманообразующей установки (ТОУ):

$$\tau = \frac{300}{\Delta\ell}.$$

А.П. Лихацевич, используя широко применяемые в метеорологии уравнения состояния идеального газа и допустив некоторые упрощения, аналитически получил уравнение, позволяющее рассчитывать необходимую для конкретных условий интенсивность ( $q$ ) мелкодисперсного увлажнения:

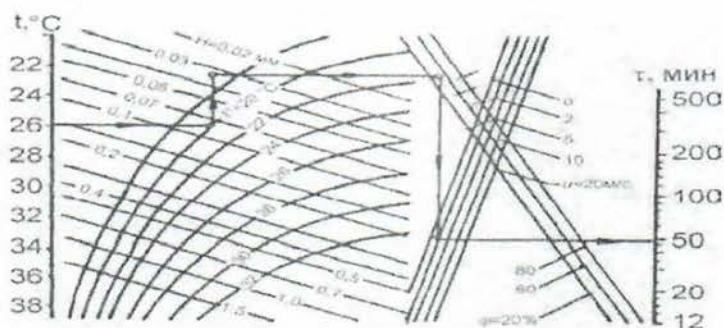
$$q = \frac{H}{\tau} = \frac{\alpha^1 \cdot \mu_n P h E (T - T_0)}{K \beta \rho_a R H T T_0}, \text{ мм/мин.}$$

где  $H$  – слой воды, поданный на площадь при мелкодисперсном увлажнении, мм;  $\tau$  – время воздействия одного цикла мелкодисперсного увлажнения на микроклимат зоны обитания увлажняемых растений, мин;  $\alpha^1$  – коэффициент, учитывающий плотность растительности в данном объеме;  $\mu_n$  – молекулярный вес пара, кг/моль;  $P$  – общее давление влажного воздуха, мб;  $h$  – высота вегетационной массы увлажняемой культуры, м;  $E$  – интенсивность испарения капелек воды, мм/мин;  $T$  – фактическая температура влажного воздуха,  $^{\circ}\text{K}$ .  $T_0$  – относительная температура влажного воздуха,  $^{\circ}\text{K}$ ;  $K$  – коэффициент пропорциональности;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий потери мелкодиспергированной воды;  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/ $^{\circ}\text{K}$ ·моль.

Уравнение (6.3), по мнению А.П. Лихацевича, является универсальным и может быть использовано в любой зоне и для любой культуры. Однако с учетом того, что определение коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $K$  затруднено, им установлена эмпирическая зависимость для определения межполивного интервала при мелкодисперсном увлажнении многолетних трав на торфяных почвах Белорусского Полесья вентиляторными опрыскивателями ОП-450 и ОВТ-1А.

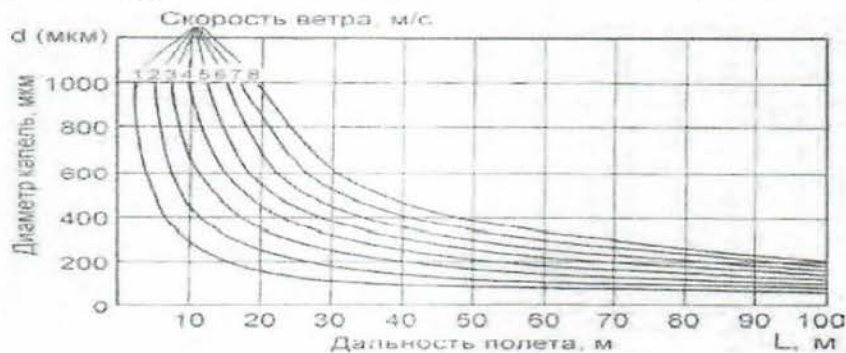
$$\tau = \frac{1,85 \cdot 10^{-5} H^2 (1 + 0,00366 t_a)}{(1 - 0,01 a) (1 + 0,23 v_a) (t_a - 20)}, \text{ мин.}$$

Построенная на основании формулы (6.4) номограмма (рис. 6.14) позволяет оперативно корректировать разовую норму увлажнения и межполивной интервал применительно к сложившимся условиям. В ходе проверки формулы в полевых условиях полученные фактические данные отличались от расчетных не более чем на 2 мин.



При рассредоточенной установке стационарных диспергаторов на равномерность распределения влаги по площади участка большое влияние оказывает диаметр образующихся капель, наличие и сила ветра, высота установки насадки. Чем мельче капля, тем дальше и равномернее идет распределение влаги по площади. На рис. 6.15 приведены

данные зависимости дальности полета капли от ее диаметра и скорости ветра. Экспериментальными исследованиями установлено, что стационарная система мелкодисперсного дождевания может обеспечивать удовлетворительную равномерность распределения слоя осадков только при скоростях ветра более 1,8 м/с. В этом случае коэффициент эффективного полива достигает значения 0,6.



Основные способы диспергирования воды – гидродинамический, гидромеханический и пневмогидродинамический. Для этого используют форсунки различных конструкций, которыми оснащают машины или установки для мелкодисперсного дождевания (рис. 6.16).



Рис. 4 - Типы форсунок: а – струйная ( $2\alpha = 10 - 15^\circ$ ); б – центробежная с завихрителями ( $2\alpha = 50 - 110^\circ$ ); в – струйная с полым коническим факелом; г – струйная с плоским факелом; д – струйная с боковым факелом; ж, з, и, к, л – струйные с отражающим дефлектором; м – центробежная с завихрителем и подсосом воздуха; н – струйная с завихрителем; о – с разбрасывающим диском; п – струйная с соударяющимися струями; р – тангенциальная; с, т – фоггер (блок насадок).

Краткие технические данные имеющихся технических средств для МДД приведены в таблице.

Таблица 1 - Стационарные системы мелкодисперсного (аэрозольного) увлажнительного дождевания (МДД)

Показатели	Система МДД разработана		
	ВНИИ «Радуга»		УкрНИИОС
Тип основного рабочего органа	Дождеватель		Насадка
Схема расстановки рабочих органов, м	38x37	17x17	4x2,5
Число рабочих органов на 1 га	5-7	36	1000
Высота установки насадок, м	9-10	5	
Давление воды у рабочего органа, МПа	0,3-0,4	0,15-0,6	0,15-0,4
Расход распылителя, л/с	0,08-0,11	0,015-0,023	0,008
Интенсивность водоподачи, на 1 га л/с	0,48-0,66	1,62-2,48	1
Площадь, обслуживаемая одним оператором, га	100	10	50
Удельная протяженность трубопровода, м/га	300	850	2213
Средний диаметр трубопроводной сети, мм	42	20	29

На стационарных системах для надкоронового мелкодисперсного дождевания в садах применяют оборудование, включающее в себя мачту высотой 9-12 м и поворотную штангу с диспергаторами (форсунками). Штанга самоустанавливается перпендикулярно направлению ветра (рис. 6.17).

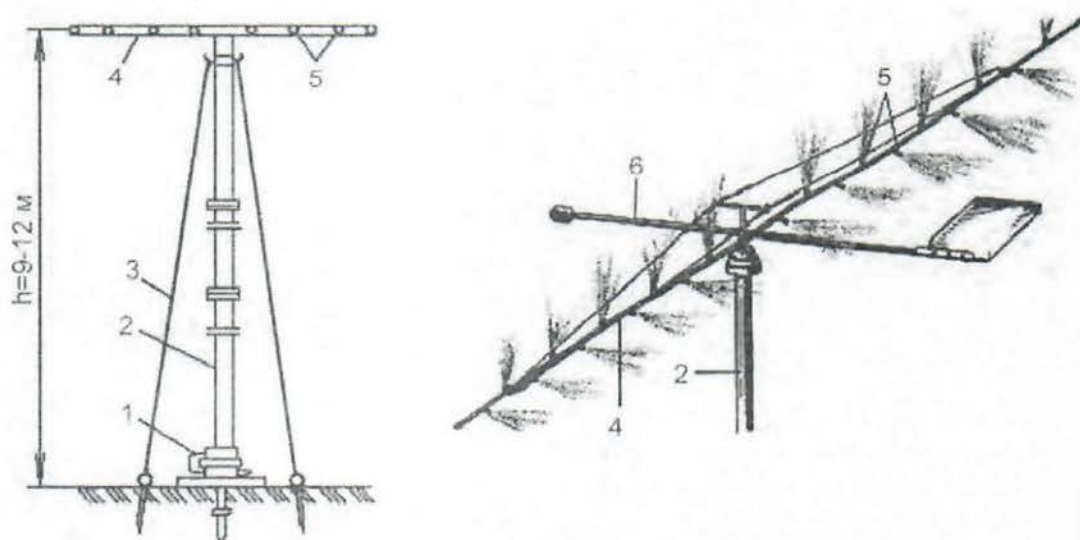


Рис.5-Схема мелкодисперсной стационарной установки ВПО «Радуга»: 1 – основание стойки; 2 – стойка; 3 – растяжки; 4 – штанга поворотная; 5 – форсунки; 6 – флюгер

Оборудование работает по принципу гидродинамического диспергирования воды. При скорости ветра 3-6 м/с средняя интенсивность дождя составляет не менее 0,06 мм/ч. Сезонно-стационарный комплект мелкодисперсного (аэрозольного) увлажнения КАУ-1М (рис. 6.18), конструкции ВНИИ «Радуга», представляет собой типовой модуль площадью 1 га для увлажнительного импульсного орошения садовых и овощных культур. Комплект аэрозольного орошения КАУ-1М предусмотрен для работы в режиме импульсного автоматического полива на протяжении периода термически неблагоприятных условий окружающей среды (засухи, суховея, термически напряженные периоды времени суток, заморозки).

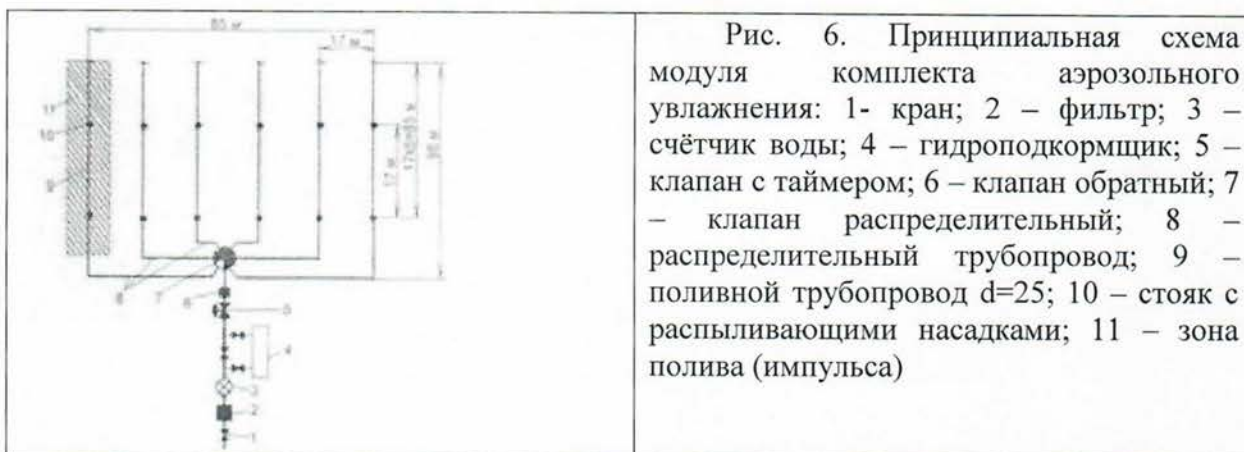


Рис. 6. Принципиальная схема модуля комплекта аэрозольного увлажнения: 1- кран; 2 – фильтр; 3 – счётчик воды; 4 – гидроподкормщик; 5 – клапан с таймером; 6 – клапан обратный; 7 – клапан распределительный; 8 – распределительный трубопровод; 9 – поливной трубопровод  $d=25$ ; 10 – стояк с распыливающими насадками; 11 – зона полива (импульса)

Энергонезависимый блок управления позволяет задавать импульсы водоподачи и паузы между ними в интервалах, соответствующих расчетным параметрам разовых объемов водоподачи и времени обсыхания влаги с листовой поверхности. Стояки комплекта выполнены в виде стальной трубчатой конструкции переменного сечения высотой 5 м и весят менее 13 кг, что позволяет одному оператору проводить их техническое обслуживание.

Основание стояка выполнено в виде полого стакана с крестообразным ограничителем глубины, служащим и для обеспечения устойчивости к вращению и наклону (рис. 6.19). Основание заглубляется в грунт на 0,7 м, в него помещается стояк и крепится болтом, чтобы избежать произвольного вращения.

Для комбинированного полива сельскохозяйственных культур аэрозольное увлажнение можно сочетать с дождеванием, капельным или внутрипочвенным орошением.

Стационарная автоматизированная система МДД конструкции УкрНИИОС предназначена для одновременного проведения надкroнового и подкroнового мелкодисперсного дождевания на участках с уклоном до 0,5 при скорости ветра до 5 м/с. Она включает в себя водозаборный узел, насосную станцию, устройство для очистки воды и внесения удобрений, сеть трубопроводов, водовыпуски и блок автоматизированного управления поливом. Элементы системы выполнены из полимерных материалов. Система состоит из блоков одновременного полива площадью по 6 га. Система автоматизированного управления обеспечивает прерывистый полив в режиме «полив малой продолжительности – длительная пауза» (например, 5 и 40 мин).

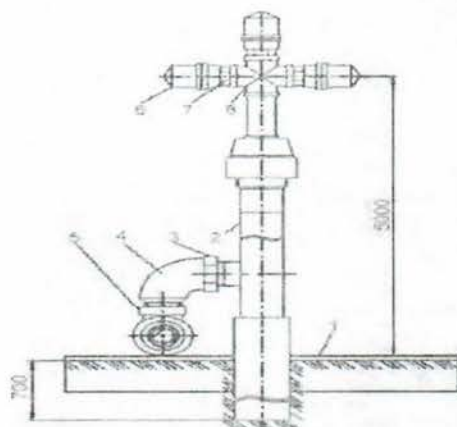


Рис. 7 -Дождеватель: 1 – основание (анкер); 2 – трубчатый стояк; 3 – контргайка; 4 – угольник; 5 – тройник; 6 – насадка; 7 – ниппель; 8 – крестовина

Во ВНИИГиМ разработано несколько модификаций туманообразующих установок для аэрозольного орошения (табл. 6.4).

Газодинамическая установка МДД-ТОУ-7 конструкции ВНИИГиМ создана на базе емкости машины РЖТ-3 с газотурбинным двигателем и сопловым аппаратом с водяным коллектором. Жидкость диспергируется скоростным газоздушным потоком. Установка работает следующим образом: атмосферный воздух засасывается в компрессор, сжимается там и поступает в камеру сгорания, куда подается топливо. Разогретый до температуры 1100 °С воздух с продуктами сгорания направляется в двухступенчатую газовую турбину, служащую приводом компрессора, а затем поступает в суживающееся сопло с температурой 400-450 °С. В нем газоздушная смесь циркулирует со скоростью порядка 400-450 м/с, расширяется, создавая давление, равное атмосферному. На выходе из сопла в струю газоздушной смеси подается вода из перфорированных по длине патрубков, соединенных с водораспределительным коллектором гибкими шлангами, которые укреплены на шарнирах, позволяющих сводить и разводить их по отношению к оси струи. Из сопла смесь воды и воздуха выходит в виде турбулентной двухфазной струи и распределяется по посеву. Через некоторое время скорость струи уменьшается, капли воды выпадают из потока и осаждаются на листьях растений.

Таблица 2- Техническая характеристика установок ТОУ

Показатели	ТОУ-2	ТОУ-3 и ТОУ-5	ТОУ-6	ТОУ-7
Мощность двигателя, л.с.	75	700	100	700
Расход топлива, кг/ч	60	180	120-160	200
Расход воды, кг/с	2	16	20	20
Удельный расход топлива, г/кг воды	-	3,12	-	2,8
Средний размер капель, мкм	50-150	500	200...600	-
Радиус действия, м	70	100	100	100
Подача воды из автоцистерны вместимостью, м <sup>3</sup>	-	3,8	-	8
Скорость движения, км/ч	-	11,5	4-16	15
Время непрерывной работы (без заправки ёмкости), с	-	240	-	390
Производительность, га/ч	-	30	-	65
Поливная норма, л/га	-	500	-	480

В качестве двигателя используется газотурбинный авиационный двигатель ГТД-3Ф, отработавший свой ресурс и приспособленный для работы в наземных условиях.

Туманообразующая установка МАГ-3 монтируется на автомобиле КРАЗ-214 или КРАЗ-225 и состоит из топливной и водяной емкостей, двух насосов подачи, запорно-регулирующих органов, турбореактивного двигателя (ВК-1), коллектора для подвода жидкости, дроссельной заслонки.

Автомобиль газоводяного тушения АГВТ-150, также представляет этот тип газоаэрозольных установок, используемых, например в борьбе с заморозками (рис. 6. 20).

Газоструйная установка «Экотрон» позволяет имитировать дождь от мелкодисперсного до тропического ливня; вносить химические удобрения, микроэлементы, средства защиты растений, производить мульчирование почвы растворами типа битумной эмульсии и т.д. (табл. 6.5).

Таблица 3- Характеристика газоструйной установки «Экотрон»

Параметры	В режиме обычного дождевания	В режиме МДД
Расход воды, л/с	100-800	10-100
Длина струи, м	100-120	120-150
Диаметр капель, мкм	1000-2500	100-600

При работе в режиме дождевания питание осуществляется от гидрантов стационарной оросительной сети, а в режиме МДД – от прицепной ёмкости вместимостью 22 м<sup>3</sup> с помощью насоса.

Мелкодисперсное орошение осуществляют с применением широкозахватных дождевальных машин и агрегатов.

Использование микродождевальных насадок на широкозахватных машинах фронтального и кругового действия типов «Фрегат», «Кубань», ДДА-100МА позволяет использовать их для малообъёмного орошения и гербициации (рис. 6. 21).



Рис. 8. Микродождевальные насадки в работе на машине «Zimmatic» (Франция)

Оборудование МДД к агрегату ДДА-100МА включает в себя центробежный насос ЗК-6, всасывающую и напорную линии трубопроводов, подвесной полиэтиленовый шланг Ø 66 мм, на котором установлены 175 центробежных форсунок с диаметрами сопел 3,5 мм.

Техническая характеристика переоборудованного агрегата ДДА-100МА для аэрозольного орошения		Удельный расход топлива, г/кг воды (кг/га)	0,7(0,33)
Базовая машина	Д1-75	Ширина захвата, м	120
Суммарная мощность, л.с.	90	Производительность чистого времени, га/ч	120-180
В том числе для диспергирования воды	8	Разовая норма увлажнения, л/га	300
Расход:		Средний размер капель, мкм	500
воды, кг/с	5		
топлива, кг/ч	12		

Эксперт

Проректор по НРиМС



А.Козыкеева

Е.Исламов