УДК: 681. 533. 4: 631. 671. 1

ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ДЕЙСТВИЯ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВОДЯНОЙ ПЛЕНКИ НА ЛИСТЬЯХ ЗЕЛЕНЫХ ЧЕРЕНКОВ

А.Ф. Алейников, В.В. Минеев, В.А. Золотарев

В статье приведена графическая модель процессов увлажнения листьев зеленых черенков и испарения влаги с их поверхности при циклическом поливе туманообразующей установкой. На основе анализа модели выбраны способы рационального орошения и принципы действия средств контроля параметров водяной пленки на листьях или имитаторах листьев.

Ключевые слова: зеленое черенкование, импульсный полив, датчики наличия водяной пленки, управление поливом, временная программа, имитатор листьев зеленых черенков.

Технология зеленого черенкования при выращивании саженцев садовых культур приобретает индустриальную основу благодаря созданию и совершенствованию промышленных установок искусственного тумана, осуществляющих мелкодисперсное распыление воды для увлажнения листьев черенков [1]. При таком орошении необходимо соблюдать определенное соотношение между временем распыления воды и интервалами между поливами для того, чтобы листья черенков были постоянно покрыты водяной пленкой, и в то же время субстрат не был переувлажнен во избежание загнивания корней. Следовательно, устройства управления туманообразующей установкой должны обеспечивать прерывистый (циклический) режим ее работы. Время распыления воды, необходимое для образования водяной пленки на листьях, составляет единицы секунд, а интервалы между поливами – единицы и десятки минут и определяются временем высыхания водяной пленки, которое зависит от факторов внешней среды (температуры, освещенности, влажности и т. п.), от морфологических особенностей листа черенкуемых садовых культур [1], а также от времени распыления воды и ее расхода. Количество воды на листьях черенков характеризуется взаимосвязанными параметрами водяной пленки: массой, толщиной, площадью.

Результаты исследований

Во многих случаях в качестве обобщающего параметра используется масса. Зависимости массы водяной пленки на листьях зеленых черенков и расхода воды от времени при циклическом поливе туманообразующей установкой показаны на рисунках 1, а и 1, б. На рисунке 1, а представлен случай избыточного орошения, когда субстрат переувлажнен, так как распыление выключается после того, как масса водяной пленки достигает своего максимально возможного значения, обусловленного водоудерживающей способностью листа. На рисунке 1, б – случай недоувлажнения субстрата вследствие выключения распыления в момент, когда масса водяной пленки еще далеко не достигла своего максимально возможного значения. Из анализа этого процесса полива зеленых черенков следует, что в первом случае при той же скорости испарения водяная пленка испаряется за больший интервал времени и туманообразующая установка включается реже. Суммарный же расход воды больше, чем во втором случае, так как выключение установки происходит на участке насыщения графика увлажнения. Предполагается, что оптимальное время распыления находится между значениями времени распыления Т1 и Т2, приведенными на рисунках 1, а и 1, б, и определяется допускаемыми значениями влажности субстрата, а также технологическими параметрами, от которых зависит расход воды (давлением в поливной магистрали, размером капель, и т. п.). Момент включения туманообразующей установки определяет интервал между поливами и зависит от времени высыхания водяной пленки и минимально допустимого значения количества воды для обеспечения жизнедеятельности растения. Таким образом, для рационального орошения зеленых черенков необходимы средства контроля параметров водяной пленки либо непосредственно на листе черенка, либо на других объектах, имитирующих лист, свойства поверхности которых по водоудерживающей

и испаряющей способности близки к листу соответствующей культуры. При этом контролироваться могут и другие физические величины, функционально связанные с параметрами водяной пленки.

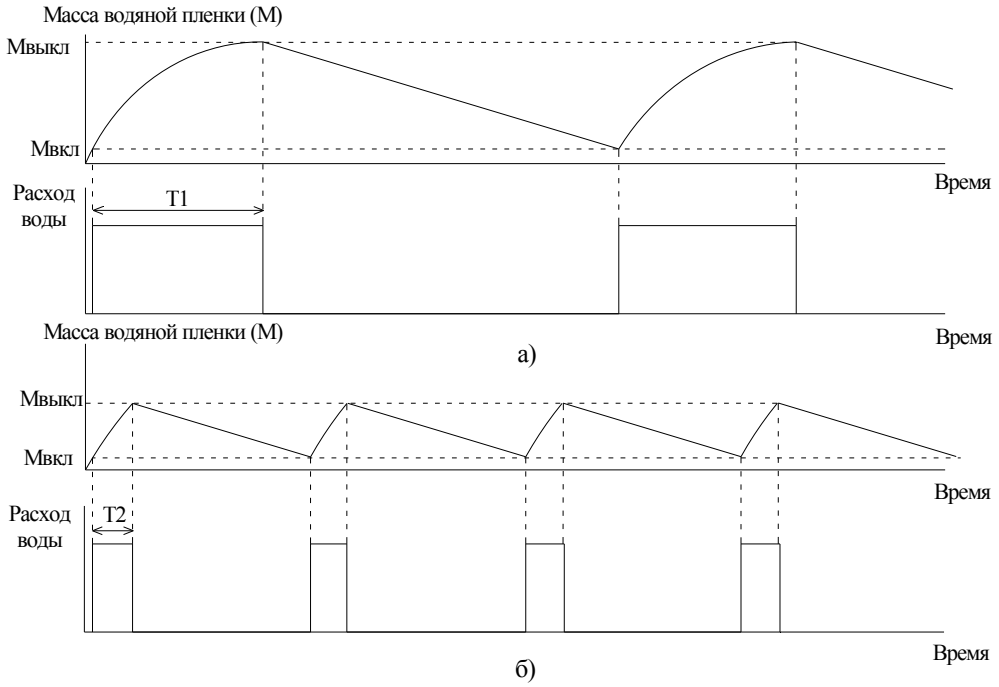

Рисунок 1 – Зависимость массы водяной плёнки и расхода воды во времени при циклическом поливе: а) избыточный полив; б) недостаточный полив

Исходя из вышеизложенного, нами предлагаются следующие возможные принципы действия средств контроля для устройств, управляющих орошением зеленых черенков:

1) контроль размеров водяной пленки на листе зеленого черенка с помощью средств «технического зрения» и использование методов анализа изображений в управляющих устройствах для выработки команд включения и выключения туманообразующей установки [2];

2) контроль температуры листа и температуры окружающего воздуха, так как водяная пленка влияет на транспирацию в растении и, по мере исчезновения водяной пленки с поверхности листа, транспирация увеличивается, а температура листа уменьшается по сравнению с температурой окружающего воздуха [3];

3) контроль массы измерительной пластинки, имитирующей поверхность листа, так как водяная пленка увеличивает его массу [4];

4) контроль поверхностной или объемной электрической проводимости водяной пленки, уменьшающейся по мере высыхания пленки на измерительной пластинке с электродами [5];

5) контроль влагосодержания измерительной пластинки, выполненной из материала, обладающего впитывающими свойствами [6];

6) контроль входного сигнала фотоприемника, изменяющегося по мере изменения толщины водяной пленки на измерительной пластинке, выполненной из «прозрачного» материала и помещенной между фотоизлучателем и фотоприемником [7];

7) контроль электрической емкости конденсатора, на пластины которого наложена измерительная пластинка с водяной пленкой, выполненная из материала с диэлектрической проницаемостью много меньшей, чем у воды (ε=80), например, из оргстекла (ε=3,2), полиэтилена (ε=2,3), эбонита (ε=2,9), тефлона (ε=2,0) [8];

8) контроль времени распыления воды и времени паузы, полученных путем теоретических или экспериментальных исследований зависимости толщины (массы) водяной пленки от влияющих факторов и занесенных в память электронных таймеров [9].

Для установления возможности практической реализации принципов действия средств контроля водяной пленки на листьях зеленых черенков проведено их более детальное рассмотрение. При выборе и обосновании принципа принималось во внимание, что средства контроля должны удовлетворять следующим требованиям:

- работать в теплице в условиях повышенной влажности до 90 %;
- иметь высокое быстродействие при выключении полива, не более 1 % от длительности полива;
- точность воспроизведения длительности полива и паузы при управлении от временной программы 0,1 и 1 с, соответственно;
- стоимость средства контроля с управляющим устройством не должна превышать 20000 рублей.

Анализ возможностей «технического зрения» показал, что в продаже имеются датчики типа «электронный глаз» [10] для получения «электронного» изображения объекта контроля и, кроме того, методы анализа изображений хорошо проработаны и широко применяются в различных областях техники [11]. Но, несмотря на перспективность и привлекательность способа, так как контроль осуществляется бесконтактно и контролируется сам лист черенка, средства контроля на его основе будут иметь высокую стоимость (более 100000 рублей) [10].

Контроль температуры листа может быть осуществлен бесконтактно путем использования инфракрасных датчиков температуры. Ограничивающим фактором способа является низкая разрешающая способность датчиков по отношению к изменению температуры листа, которое составляет доли градуса. Кроме того, стоимость датчиков также высока и составляет не менее 10000 рублей [6].

Использование весового метода контроля массы водяной пленки на измерительной пластинке, имитирующей поверхность листа, предполагает применение датчиков веса (силы) с разрешающей способностью не более 0,1 г, так как при размерах пластинки 100х100 мм и толщине пленки 0,1 мм изменение массы будет порядка 1 г. Технически это возможно, так как известны электронные весы с выносной весовой ячейкой и ценой деления 0,1 г и менее, например, производства МЕТТЛЕР ТОЛЕДО (Швейцария). Недостатки: высокая стоимость (от 30000 рублей) [4].

Способы, основанные на контроле изменения проводимости (сопротивления) измерительной пластинки нашли наибольшее распространение при индивидуальном конструировании, как наиболее простые [12]. Недостатки этих способов: поляризация электродов, изменение начальных параметров со временем из-за загрязнения, засоления электродной системы.

Изменения влагосодержания измерительной пластинки, выполненной, например, из шпона ценных пород дерева, могут быть обнаружены измерителями влажности твердых тел. Измерительная пластинка может быть приклеена к гладкой поверхности диэлькометрических датчиков измерителей влажности древесины, которые имеют широкую номенклатуру на отечественном рынке (стоимость от 15000 рублей) [6]. Недостаток способа – длительное время впитывания и испарения влаги – может быть компенсирован увеличением доли времени опрыскивания по отношению к времени орошения листа черенка и ускорением испарения с помощью автономного опрыскивателя, вентилятора или нагревателя, соответственно. Более существенным недостатком является изменение впитывающих свойств измерительной пластинки в процессе использования из-за загрязнения пор материала пластинки, и, как следствие, необходимость ее частой замены.

При фотоэлектрическом способе водяная пленка изменяет оптические свойства измерительной пластинки, выполненной из «прозрачного» материала и помещенной между фотоизлучателем и фотоприемником, в результате чего луч фотоизлучателя может рассеяться, изменить направление, отразиться от рефлектора и не достичь фотоприемника. Таким образом, входной сигнал фотоприемника будет уменьшаться по мере увеличения массы водяной пленки, что может быть использовано для управления поливом. Кроме того, в качестве измерительной пластинки могут служить непосредственно поверхности фотоприемника, фотоизлучателя или рефлектора как в отдельности, так и в любой комбинации для усиления эффекта. Достоинством способа орошения является возможность регулирования скорости изменения входного сигнала фотоприемника, например, изменением количества измерительных пластинок или изменением угла их установки, что позволит использовать способ для орошения садовых культур, имеющих различные морфологические свойства листа. Кроме того, измерительная пластинка, изготовленная из стекла, не впитывает влагу и, следовательно, не загрязняется, легко моется и не изменяет своих оптических свойств в процес-

се использования. Широко известны промышленные фотоэлектрические датчики, как отечественных производителей (ЗАО «СЕНСОР», г. Екатеринбург), так и зарубежных фирм (TEKO, BALLUFF, OMRON, TURCK, PEPPERL+FUCHS, FESTO), стоимостью от 800 рублей (отечественных производителей) до 3000 рублей (зарубежных фирм) [13].

Использование электрической емкости в качестве модели процесса увлажнения листа зеленого черенка основано на том, что диэлектрическая проницаемость воды значительно превышает диэлектрическую проницаемость измерительной пластинки, благодаря чему появление водяной пленки на измерительной пластинке существенно изменяет значение электрической емкости датчика. В качестве измерительной пластинки может служить и торцевая поверхность самого емкостного датчика. Достоинством способа орошения является возможность регулирования скорости изменения емкости при высыхании водяной пленки путем изменения диаметра измерительной пластинки, а также возможность выбора для изготовления измерительной пластинки материала, не впитывающего воду. Емкостные датчики выпускаются теми же фирмами, что и фотоэлектрические и имеют примерно такую же стоимость [13].

Способ орошения зеленых черенков, основанный на контроле времени распыления воды и времени паузы, полученных путем теоретических или экспериментальных исследований зависимости массы водяной пленки от влияющих факторов и занесенных в память электронных управляющих устройств, получил наибольшее распространение в практическом питомниководстве. На этом принципе основаны все совместные разработки нашего института и ГНУ Сибирского научно-исследовательского института садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко Россельхозакадемии [14]. Основным недостатком созданных устройств является то, что они не учитывают изменений климатических и технологических (давление в поливной магистрали и т. п.) факторов в процессе полива зеленых черенков. Поправки в программу работы таких устройств вносит дежурный оператор, который визуально оценивает процессы увлажнения листьев и испарения влаги с их поверхности. Такая оценка носит субъективный характер, что приводит к повышенному расходу воды и загниванию корней или, наоборот, к недостаточному увлажнению, что снижает процент выхода качественных саженцев из зеленых черенков. Кроме того, контроль и внесение поправок должны быть постоянными, в т. ч. и в ночное время. Последняя совместная разработка ГНУ Сибирского физико-технического института аграрных проблем Россельхозакадемии при участии авторов и ГНУ Сибирского научно-исследовательского института садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко Россельхозакадемии «Микропроцессорный агрорегулятор ТУМАН-6» частично устраняет указанные недостатки [15]: предусмотрено задание времени распыления и времени паузы отдельно для четырех отрезков суточного цикла (утра, дня, вечера и ночи) на основе суточного прогноза погоды, а также исключено одновременное включение блоков управляемой туманообразующей установки с целью устранения перепадов давления и обеспечения постоянства расхода воды.

Наиболее предпочтительными для разработки и дальнейшего совершенствования, на наш взгляд, являются три последних способа из числа рассмотренных.

Для экспериментальных исследований способа орошения с фотоэлектрическим датчиком с целью установления возможности его практической реализации за основу был взят оптический бесконтактный выключатель ВБОУ25-80-5272-ЛА производства ЗАО «СЕНСОР» (г. Екатеринбург) с инфракрасными кодированными излучателем и приемником, принимающим луч, рассеянно отраженный от объекта, находящегося в зоне контроля [13]. Излучатель и приемник оптического выключателя расположены в одном корпусе с электронной схемой, имеющей гистерезис и регулировку порога срабатывания (чувствительности), и выходным нормально замкнутым реле (полив включен). На расстоянии 300 мм от оптического бесконтактного выключателя устанавливался отражатель (рефлектор) из белого пластика, а между ними – прозрачные стекла в количестве от одного до трех штук размером 70х100 мм с возможностью изменения угла их установки относительно горизонтальной плоскости. Распыление воды на стекла осуществлялось опрыскивателем комнатных растений с микронасосом. При увеличении массы водяной пленки на стеклах до определенной величины прохождение луча от излучателя к приемнику прекращалось, выходное реле авторегулятора размыкалось, полив прекращался, и наступала пауза до момента испарения определенного количества воды. Затем восстанавливалось прохождение луча от излучателя к приемнику, реле

замыкалось, включался микронасос и процесс регулирования повторялся. Путем наблюдений с помощью секундомера исследовалось влияние количества стеклянных пластинок (от 1 до 3), углов их установки (от 45 до 70 градусов), влияние солнечного света, а также порога срабатывания (чувствительности) электронной схемы на время полива и паузы. В результате экспериментов установлено, что с увеличением чувствительности и углов установки стекол время полива увеличивается, а пауза уменьшается, и их изменения составили от 2 до 6 секунд и от 14 до 3 минут, соответственно. Таким образом, имитировался полив садовых культур с различными морфологическими особенностями листьев. Увеличение количества стекол с одного до трех приводит к уменьшению времени полива в 3 раза и незначительно увеличивает паузу. Влияние солнечной инсоляции оказалось несущественным. Испытания в теплице с зелеными черенками в ГНУ Сибирского научно-исследовательского института садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко Россельхозакадемии выявили следующее: выключение полива запаздывало из-за недостаточного быстродействия устройства и отсутствия в нем регулировки гистерезиса, а также из-за более крупных капель туманообразующей установки по сравнению с лабораторным опрыскивателем, и происходило переувлажнение листьев и субстрата. Для обеспечения более рационального орошения предполагается доработка способа в следующем направлении: время полива задавать от таймера с последующей его автоматической корректировкой по сигналам датчиков циклического расхода воды и влажности почвы или использовать более быстродействующий оптический бесконтактный выключатель с раздельными регулировками нижнего и верхнего порога срабатывания (гистерезиса). Возможно также применение автономного малогабаритного опрыскивателя с образованием капель размерами не более 50 мкм.

Для экспериментальных исследований способа орошения с емкостным датчиком с целью установления возможности его практической реализации за основу был взят емкостный бесконтактный выключатель ВБЕ-Ф60-40У-2242-ЛА производства ЗАО «СЕНСОР» (г. Екатеринбург) с электронной схемой, имеющей гистерезис и регулировку порога срабатывания (чувствительности) и выходным нормально замкнутым реле (полив включен) [13]. На его торцевую чувствительную поверхность диаметром 60 мм помещались диэлектрические пластинки из материалов с различной диэлектрической проницаемостью и шероховатостью поверхности (стекло, оргстекло, текстолит, пластик) для имитации листьев зеленых черенков разных садовых культур. Диаметры пластинок выбирались больше диаметра торцевой чувствительной поверхности бесконтактного выключателя. Чувствительность емкостного бесконтактного выключателя устанавливалась такой, чтобы диэлектрические пластинки без водяной пленки на них не изменяли исходного замкнутого состояния выходного реле авторегулятора. По такой же методике, что и в экспериментах с оптическим бесконтактным выключателем, исследовалось влияние толщины (от 1 до 8 мм), диаметра (от 65 до 130 мм), диэлектрической проницаемости пластинок (от 2,3 до 5,6 мм), а также зазора между пластинками и торцевой плоской поверхностью емкостного бесконтактного выключателя (от 0 до 3 мм) на время полива и паузы. Установлено, что уменьшение диэлектрической проницаемости, толщины и зазора влияет на оба параметра (в сторону уменьшения), а диаметр – на время паузы (пропорциональная зависимость). Диапазон изменения времени полива составил от 10 до 2 секунд, а паузы – от 20 до 3 минут, что свидетельствует о возможности имитирования листьев разных садовых культур одним устройством. Отсутствие в емкостном бесконтактном выключателе раздельных регулировок нижнего и верхнего порога срабатывания (гистерезиса) требует доработки способа в тех же направлениях, что и при оптическом контроле водяной пленки.

Выводы

Для совершенствования устройств управления орошением семейства авторегуляторов ТУМАН необходимо:

1) дополнить устройство управления орошением индикаторной панелью, на которой отобразить значения климатических параметров (температуры, влажности воздуха и почвы, освещенности), получаемых от датчиков метеостанции, устанавливаемой в теплице, и данные от датчиков расхода воды или датчиков давления воды, устанавливаемых в каждом блоке туманообразующей установки;

2) осуществить беспроводной прием сигналов от всех датчиков и передачу команд управления на электромагнитные клапаны блоков туманообразующей установки по радиоканалу;

3) разработать математические модели зависимостей времени полива и паузы от влияющих факторов на основе исследований процесса увеличения массы водяной пленки на листьях разных культур при поливе и процесса испарения влаги с их поверхности во время паузы;

4) осуществить автоматическую установку времени полива и паузы по сигналам соответствующих датчиков и алгоритмам, созданным на основе разработанных математических моделей.

Такая модернизация позволит создать современные, конкурентоспособные и экономичные авторегуляторы полива, с рациональным соотношением цена – качество.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов, Е.И. Автоматизация полива при укоренении зеленых черенков плодово-ягодных культур в пленочных теплицах / Е.И. Павлов, В.А. Цветков, В. Д. Штабный, Ф.Ф. Стрельцов // Аппаратурные средства обеспечения биологических экспериментов: Сб. науч. тр. / ВАСХНИЛ, Сиб. отд-ние. СОПКТБ. – Новосибирск, 1988. – С. 4–12.

2. Трубина, Л.К. Стереомодели в изучении биологических объектов: монография/ Л.К. Трубина. – Новосибирск: СГГА, 2006. – 136 с.

3. Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения. / Пер. с англ. Н.Л. Гудскова, Н.В. Обручевой, К.С. Спекторова и С.С. Чаяновой; под ред. и с предисл. А.Т. Мокроносова. – М.: ВО Агропромиздат, 1989. – 460 с.

4. Аналитические весы в промышленном исполнении / www. mtrus. com.

5. А. с. № 762811 СССР, МКИ А01М 27/00. Устройство для автоматического управления поливом / Е.И. Павлов, Ф.Ф. Стрельцов, В.Д. Штабный. – № 2628383 / 30 –15; Заявлено 13.06.1978; Опубл. 15.09.1980, Б.И. №11.

6. Измеритель влажности древесины МГ4Д. Неконтактные термометры (пирометры) / www. kip. su.

7. Принцип работы датчика дождя для управления стеклоочистителем автомобиля / www. real-xenon. ru.

8. Датчик влажности с емкостной сеткой S-LWA-M003 / www. davis-meteo. ru.

9. Стрельцов, Ф.Ф. Автоматические регуляторы полива / Ф.Ф. Стрельцов, В.А. Золотарев, В.В. Минеев // Информационные технологии, информационные измерительные системы и приборы в исследовании сельскохозяйственных процессов (Агроинфо-2003): Материалы междунар. научно-практ. конф. Часть I (22-23 октября 2003 г.). – Новосибирск. – С. 320–324.

10. Лысенко, О. Машинное зрение от SICK / IVP // Компоненты и технологии, 2007. – № 1. – С. 13-19.

11. Хорн, Б.К. Зрение роботов / Б.К. Хорн. – М.: Мир, 1989. – 487 с.

12. Павлов, Е.И. Автоматический регулятор полива / Е.И. Павлов, В.В. Чирков, В.Д. Штабный // Радио. – № 2. – С. 22–23.

13. Бесконтактные выключатели / www. sensor-com. ru.

14. Золотарев, В.А. Универсальные микропроцессорные агрорегуляторы / В.А. Золотарев, В.В. Минеев, В.Б. Морозов, В.М. Молчанов, В.А. Рихтер // Информационные технологии, системы и приборы в АПК (Агроинфо-2006): Материалы междунар. научно-практ. конф. Часть II (17-18 октября 2006 г.). – Новосибирск. – С. 164–169.

15. Стрельцов, Ф.Ф. Научно-техническое обеспечение контроля и регулирования режимов полива зеленых черенков в теплицах / Ф.Ф. Стрельцов, В.А. Золотарев, В.В. Минеев // Информационные технологии, системы и приборы в АПК (Агроинфо-2009): Материалы междунар. научно-практ. конф. Часть II (14-15 октября 2009 г.). – Новосибирск. – С. 105-109.

Алейников А.Ф., *д.т.н., проф., зам. директора по научной работе, ГНУ Сибирский физико-технический институт аграрных проблем Россельхозакадемии, тел. 8(383)348-34-60, E-mail: fti2009@yandex.ru;*

Минеев В.В., *зав. сектором, ГНУ Сибирский физико-технический институт аграрных проблем Россельхозакадемии, тел. 8(383)348-49-29, E-mail: mineevfti@ngs.ru;*

Золотарев В.А., *зав. отделом, ГНУ Сибирский физико-технический институт аграрных проблем Россельхозакадемии, тел. 8(383)348-49-29, E-mail: 954zolot@mail.ru*