

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ МЕЛКОДИСПЕРСНЫМ ДОЖДЕВАНИЕМ

Александр Караев, Сергей Сушко, Валентина Одинцова
Таврический государственный агротехнологический университет
Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, Украина. E-mail: tia_tgata@bk.ru

Aleksandr Karaiev, Sergey Sushko, Valentina Odintsova
Tavria State Agrotechnological University
B. Khmelnytsky Avenue, 18, Melitopol, Ukraine. E-mail: tia_tgata@bk.ru

Аннотация. Приведены закономерности изменений физиологических параметров деревьев абрикоса, персика и черешни под воздействием климатических факторов и мелкодисперсного дождевания и предложен алгоритм управления поливами, защищающие деревья от весенних заморозков (противозаморозковые) и летней засухи (освежительно-увлажняющие).

Для осуществления противозаморозковых поливов путем перемещения даты начала цветения деревьев абрикоса, персика и черешни рассчитаны предельные значения единиц охлаждения (ЕО) и градусо – часы роста (ГЧР). Определено, что выход из состояния биологического покоя деревьев абрикоса происходит при накоплении 940 °С ЕО, персика – 1200 °С, черешни – 1350 °С, а начало цветения происходит при накоплении деревьями абрикоса ГЧР в сумме 3725 °С, персика – 4866 °С, черешни – 4839 °С. Установлены даты проведения испарительного охлаждения почек мелкодисперсным дождеванием, в которых накопление ГЧР составляет 30% от предельных 100%. Это приводит к задержке развития генеративных почек, смещению начала цветения деревьев и, как следствие, способствует избеганию повреждений почек весенними заморозками.

Для осуществления освежительно-увлажняющих поливов с мая по октябрь проведена регистрация в автоматизированном режиме изменений скорости ксилемного потока в стволах деревьев и температуры листьев. Выявлены закономерности изменения этих параметров в течение суток, по которым определено, что при дождевании над кроной деревьев скорость ксилемного потока уменьшается в 1,5 раза, а температура листьев снижается на 6-8 °С по сравнению с контрольными деревьями (дождевание под кроной деревьев). На основании полученных данных определены режимы проведения дневных освежительно-увлажняющих поливов; установлен такой режим полива: продолжительность дождевание 5 мин, пауза – от 5 мин до 20 мин. Предложено устройство, обеспечивающее управление режимами поливов в соответствии с физиологическими параметрами деревьев.

Ключевые слова: автоматизированное управление поливами, плодовые деревья, датчик, индекс скорости потока в стволе дерева, температура листьев.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В почвенно-климатической зоне «Южная степь» Украины орошение является одним из самых существенных факторов, влияющих на регулярность плодоношения, урожайность и продолжительность продуктивной жизни деревьев. Частые весенние заморозки и летние засухи приводят деревья к стрессовому состоянию и, как следствие, к потере урожая. Поэтому в технологиях выращивания косточковых культур в почвенно-климатических условиях Южной степи Украины существенное внимание следует уделять орошению плодовых насаждений, которое обеспечивает не только увлажнение почвы, но и предусматривает проведение специальных поливов (противозаморозковых, освежительных и других). Разработанные в Институте орошаемого садоводства им. М.Ф. Сидоренко в 2001-2005 гг. элементы технологии орошения молодых насаждений персика и абрикоса, обеспечивающие их защиту от весенних заморозков, почвенной и воздушной засухи, создают основу для комплексной автоматизации процесса управления орошением при условии наличия данных о физиологических изменениях в деревьях, находящихся в периоде плодоношения. В связи с этим имеющуюся информационную базу данных для автоматизированной системы контроля за функциональным состоянием деревьев, находящихся в периоде роста необходимо дополнить физиологическими параметрами деревьев, которые находятся в периоде плодоношения. Это позволит перейти к разработке и проверки алгоритма управления противозаморозковыми и освежительно - увлажняющими поливами. Такая автоматизация процесса управления орошением позволит получать до 25% дополнительной продукции плодов, а также приведет к повышению производительности труда и экономии поливной воды.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Системы мелкодисперсного дождевания получили широкое применение для защиты плодовых деревьев от весенних заморозков [1, 2]. Во Франции предложено устройство [3], которое обеспечивает защиту от воздействия низких температур. Результатами исследований, проведенных в научных учреждениях Израиля [4] показано, как для контроля температуры воздуха используются темпера-

турные датчики, подключенные к автоматической системе подачи воды. Группой ученых России предложено комплект КМДП - 0.15 для надкранового дождевания сада, который позволяет проводить протизаморозковые и освежительные поливы [5].

Эффективность орошения во время вегетации абрикоса и персика достигается выбором оптимальных сроков, норм и способов полива, которые основаны прежде всего на учете физиологического состояния растений в периоде их развития и влажности почвы. В настоящее время вопросам практического использования фитомониторинга в связи с изучением водного режима растений уделяется значительное внимание. Фитомониторинг предусматривает непрерывное длительное одновременное наблюдение за несколькими процессами в целом интактном растении с помощью систем неповреждающих датчиков.

Система управления водным режимом растений по утверждениям Радченко С.С. [6] состоит из трех основных элементов: 1) метода диагностики водоснабжения и назначения срока полива; 2) информации о состоянии водного обмена растений; 3) автоматического управления поливом. Для диагностики прежде всего выделяются те физиологические показатели, которые наиболее информативны с возможностью непрерывной регистрации. К ним относятся температуру листьев, скорость ксилемного потока в побегах или стволе дерева, тургесцентность и рост отдельных органов деревьев, интенсивность транспирации и фотосинтеза. Из известных способов измерения скорости транспорта воды и растворенных в ней веществ предпочтение отдается термодинамическому методу измерения потока воды в органах растения, с помощью которого можно непрерывно регистрировать его изменения, как в течение суток, так и сезона [7]. За изучением относительной скорости в ведущих слоях ксилемы ствола яблони в условиях комбинированного мелкодисперсного орошения установлен момент водного дефицита в растении [8]. Warfield B.J., Norman J.M. [9], указывают, что водный режим растений и их температура взаимосвязаны. Солнечная радиация, которая поглощается пологом деревьев, больше всего влияет на температуру растений и потребность ее в воде. Деревья могут чувствовать водный стресс даже при достаточном количестве воды в почве. Chesness J.L. [10], в результате своих исследований показал, что мелкодисперсное дождевание с целью испарительного охлаждения листьев уменьшает температуру растительного полога на 10°C.

Итак, дождевание кроны деревьев, видимо, могло бы снизить склонность органов растений к повреждению от высокой температуры, даже тогда, когда растение имеет достаточно воды для испарения. Поэтому целесообразно применение систем надкранового дождевания для защиты персика и абрикоса от воздушной и почвенной засухи. Из группы показателей, которые позволяют провести фитомониторинг с использованием информационно-измерительных систем для диагностики физиологи-

ческого состояния растений при соответствующих экологических условиях, температура органов плодовых деревьев изучена недостаточно. Поэтому для определения температурного режима органов плодового дерева во время проведения различных видов поливов необходима непрерывная автоматическая регистрация данного показателя. По результатам обзора литературных источников и из предыдущих исследований в полевых условиях нами установлено, что относительная скорость водного тока в стволе растений является наиболее информативным физиологическим показателем, который свидетельствует о его водном статусе. Также при проведении испарительного охлаждения почек дождеванием и при освежительных поливах температура органов плодовых деревьев отвечала требованиям фитомониторинговых методов. Поэтому целесообразно применять эти показатели в последующих исследованиях, направленных на создание автоматизированных систем управления орошением.

Предложен ряд устройств автоматизации полива плодовых растений и винограда, в которых сигналом для полива являются показатели их водного статуса. В Никитском ботаническом саду разработан ряд устройств, основанных на физиологическом [11] или почвенно-физиологическом алгоритме управления поливом [12]. Сигналом к началу полива является одновременное уменьшение двух измеряемых показателей: относительной скорости водного потока в побегах и их тургесцентность, или изменением знака корреляции с отрицательного на положительный одного из показателей (скорости водного тока побега или его диаметра). Они с высокой точностью характеризуют степень обеспеченности растения почвенной влагой. Эти приборы могут быть применены при применении систем капельного орошения, но не обеспечивают управления освежительными поливами из-за того, что они не учитывают воздушную засуху. Группой ученых Института вина и винограда "Магарач" разработан способ определения потребности винограда в поливе и устройство для его выполнения [13]. Однако представленным способом невозможно определить продолжительность полива.

По результатам многолетних исследований при проведении освежительных поливов на яблоне, улучшающих микроклимат сада в ИЗС им. М.Ф. Сидоренко УААН предложен алгоритм управления поливом по относительной скоростью ксилемного потока в стволе деревьев [14].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей исследований было установление закономерностей изменений физиологических параметров деревьев абрикоса сорта Мелитопольский Лучистый, персика – Иван Тупицын, черешни – Крупноплодная под воздействием климатических факторов и мелкодисперсного дождевания с целью защиты деревьев от весенних заморозков и летней засухи за счет проведения противозаморозковых и освежительно-увлажняющих поливов.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для решения поставленной задачи были проведены исследования с применением следующих методов:

1) феноклиматографичного метода – для определения окончания периода органического покоя деревьев (E.A. Richardson) и даты начала их цветения (J.L. Anderson),

2) теплового метода – для измерения индекса скорости ксилемного потока в стволе деревьев (П.В. Тихов),

3) методов математической статистики.

Для проведения противозаморозковых поливов путем перемещения даты начала цветения деревьев (косвенный метод) измерялись следующие параметры: температура почек; температура воздуха; скорость ветра. Также рассчитывались феноклиматографичные показатели:

– единицы охлаждения (ЕО) для определения даты окончания периода биологического покоя деревьев;

– градусо-часы роста (ГЧР) для определения даты начала цветения деревьев;

– температура почек и температура воздуха.

Для проведения освежительные – увлажняющих поливов измерялись такие параметры: индекс скорости ксилемного потока в стволе деревьев, температура листьев, температура воздуха, солнечная радиация. Регистрация параметров происходила в автоматизированном режиме непрерывно в течение вегетационного периода потенциометром КСП-4.

Показатели системы мелкодисперсного дождевания были следующими: давление от 0,15 до 0,60 МПа, расход воды насадкой Д-005 – 20 л / ч, интенсивность дождя – 0,09 мм / с, диаметр капель – 0,2 мм.

Основные функции управления, согласно разработанного алгоритма [15, 18], задаются локальными арифметико-логическими процедурами, которые можно представить в следующем виде [16, 17]:

$$U_{n,m} = \begin{cases} U_1 & \text{если } Y_1 < \text{con } X_{n,m} \leq Y_2, \\ U_2 & \text{если } Y_2 < \text{con } X_{n,m} \leq Y_3, \\ \dots & \dots \\ U_L & \text{если } Y_{L-1} < \text{con } X_{n,m} \leq Y_L. \end{cases}$$

где: X – матрица внутренних условий управляющего алгоритма, Y – матрица входных сигналов от измеряющих датчиков, U – матрица выходных сигналов на исполнительные устройства системы орошения.

Поливы начинаются тогда, когда соотношение предрассветного значение индекса скорости ксилемного потока к его дневному значению (k) становится больше 1. При достижении значения $k < 1$ полив прекращают. Поливы назначают только тогда, когда температура воздуха превышает 25°C, а влажность воздуха ниже 70%. Обязательным условием проведения поливов мелкодисперсным дождеванием является прерывистый цикл работы системы орошения (полив-пауза). Продолжительность поли-

ва зависит от времени, в течение которого листья деревьев полностью смачиваются водой, продолжительность паузы зависит от скорости испарения воды из листовой пластинки.

Для автоматизации управления увлажняюще-освежительными поливами деревьев разработано устройство, обеспечивающее по физиологическим параметрам (скорости водного тока в стволе дерева и температурных изменений в тканях органов) такие технологические элементы управления поливами, как сигналы к началу поливов, продолжительности и установление режима "полив - пауза". Система управления предусматривает автоматический сбор информации от растительных объектов и метеорологических изменений окружающей среды, передаче управляющего сигнала на исполнительные механизмы системы орошения и регистрацию входящей и исходящей информации.

Для осуществления противозаморозковых поливов прямым методом были рассчитаны предельные значения ЕО и ГЧР, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Предельные значения феноклиматографичных показателей косточковых культур

Table 1. Stone crops phenoclimatographic indices limiting values

Показатель	Этап развития	Культура	Граничные значения, °С
Накопление ЕО в состоянии биологического покоя деревьев (осенне-зимний период)	Начало выхода деревьев из состояния биологического покоя	Абрикос	940 ± 25
		Персик	1200 ± 25
		Черешня	1350 ± 25
Накопление ГЧР после выхода деревьев из состояния биологического покоя (зимне-весенний период)	Начало цветения деревьев	Абрикос	3725 ± 75
		Персик	4866 ± 75
		Черешня	4839 ± 75

Ошибка определения дат не превышает одних суток. Значение коэффициента корреляции между накоплением ГЧР и обводнением почек находился в пределах от 0,96 до 0,98. Установлено, что скорость обводнения почек значительно увеличивается после накопления 43% ГЧР. Проведение испарительного охлаждения почек при 30% ГЧР должно привести к задержке их развития.

Для формирования информационной базы данных для осуществления освежительно - увлажняющих поливов с мая по октябрь проведена регистрация в автоматизированном режиме градиента температур от термопар датчиков ксилемного потока в стволах деревьев.

Выявлена закономерность изменений индекса скорости ксилемного потока в стволе черешни в те-

чение суток (рис. 1). Суточный ритм индекса скорости ксилемного потока в стволе свидетельствует, что в начале поливов комбинированным дождеванием он растет, а при прекращении снижается до величины большей, чем до начала поливов, что свидетельствует об устранении водного дефицита деревьев.

При проведении поливов подкроновым дождеванием (контроль [19, 20]) в начале полива величина индекса скорости ксилемного потока увеличивается, а при прекращении полива уменьшается до уровня ред началом полива, что свидетельствует о наличии водного дефицита деревьев.

По полученным значениям индекса скорости ксилемного потока назначались начало и окончание дневных освежительно-увлажняющих поливов. При напряженных метеорологических условиях в период вегетации текущего года (ГТК = 0,5) в насаждениях абрикоса было проведено 15 поливов, персика – 20, черешни – 14.

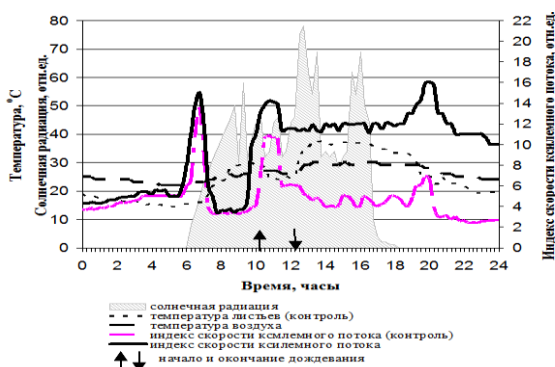


Рис. 1. Влияние полива на индекс скорости ксилемного потока в стволе черешни и температуру листьев

Fig. 1. Watering impact on xylem flow speed index in cherry-tree trunk and leaves temperature.

Продолжительность поливов составляла 5 мин, пауза колебалась в пределах от 5 мин до 20 мин в зависимости от температурных изменений в листьях и погодных условий. Оросительная норма при комбинированном орошении составляла для абрикоса 725 м³/га, персика – 1242 м³ / га, черешни – 1116 м³/га, что в 1,2 раза превышала контроль.

Выявлено, что при проведении мелкодисперсного дождевания скорость водного тока в стволе при комбинированном орошении уменьшается в 1,5 раза, а температура листьев снижается на 6-8°C в сравнении с контролем (в контрольном варианте опыта выполнено 9 поливов для всех культур).

Проведение поливов после сбора урожая привело к увеличению прироста годовых побегов черешни на 30% по сравнению с контролем.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что индекс скорости ксилемного потока в стволе абрикоса и персика, температура вегетативных почек и листьев дают информацию о состоянии водного обмена и температурном режиме растений под воздействием орошения. Данные показатели подлежат автоматической регистра-

ции и могут быть использованы для автоматизации управления поливами.

2. По показателям индекса скорости ксилемного потока в стволе деревьев и температуры органов косточковых культур разработаны алгоритм управления режимом дождевания, включающего начало, продолжительность и прерывистость поливов.

3. По граничным значениям феноклиматографических показателей (накопление единиц охлаждения и градусо-часов роста) установлено, что поливы испарительного охлаждения почек (противоморозковые) необходимо проводить при накоплении деревьями 30% от суммы градусо-часов роста, необходимой для начала цветения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **John P., Carran P., Woodhead I., Hammer P., Hutchinson G. 1988.** Minisprinkler – based frost protection: a cost-competitive water-saving alternative. Congress proceedings (International micro-irrigation congress). 165-170.
2. **Chesness J.L., Henderschott C.H., Couvillon G.A. 1976.** Evaporative cooling of peach trees to break rest and delay bloom. Amer. soc. of agric. engineers. №76. 13-16.
3. **Заявка №2612364 Франция МКИ А01G 13/02.1989.** Способ и устройство для защиты от морозов растений и деревьев в основном плодовых. Изобретения стран мира №8.
4. **Сельскохозяйственные технологии. Материалы и оборудование: Защита от заморозков.** Сельское хозяйство Израиля. 1999-2005 JHI I.S. 3-6.
5. **Козлов А.И., Сталина С.М. 2001.** Комплект медленного дождевания для противозаморозковых и освежительных поливов. Мелиорация и водное хозяйство. №2. 8-10.
6. **Радченко С.С. 1972.** Физиологические основы автоматического управления водным режимом растений: Автореф. дис... канд. биол. наук. 27.
7. **Ильницкий О.А., Лищук А.И., Ушкаренко В.А. 1997.** Фитомониторинг в растениеводстве. Херсон, 235.
8. **Надеждина Н.Е., Ильницкий О.А., Одинцова В.А. 1991.** Пространственные и временные вариации скорости водного потока в ксилеме яблони. Физиология и биохимия культурных растений. №6. 588-594.
9. **Barfield V.J., Norman J.M. 1983.** Potential for plant environment modification. Agricultural Water Management. V.7. 73-88.
10. **Chesness J.L., Harper L.A., Howell T.A. 1979.** Sprinkling for heat stress reduction. Modification of the aerial environment of plants/ edited by V.J. Barfield and J.E. Gerber. ASAE Monograph. №2. 388-393.
11. **Ильницкий О.А. 1985.** Алгоритм оптимального автоматического управления поливом растений и биотехнические устройства для их реализации. Сб. трудов Никит. ботан. сада. Т.96. 112-121.

12. Шатилов И.С., Ильницкий О.А., Семин В.С., Радченко С.С. 1981. Обоснование алгоритма управления срока полива растений по почвенно-физиологическим параметрам. Сельскохозяйственная биология. №6. 924-931.
13. Нилов Н.Г., Гаврилко О.Г., Рамазанов Т.М. 1992. Способ определения потребности древесных растений в поливе и устройство для его осуществления: А.с. № 1782482, МКИ А01G 25/16 /. Бюл. №47. 2.
14. Надеждина Н.Е., Разнополова Т.Е., Одицова В.А. 1991. Методические аспекты определения споростей водного потока в ксилеме ствола растений. Физиология и биохимия культ. растений. №5. 516-519.
15. Карась А.И., Сушко С.Л., Кузминов В.В. 2012. Разработка автоматизированного управления мелкодисперсным дождеванием насаждений черешни. Научный вестник Таврического государственного агротехнологического университета [Электронный ресурс]. Вып. 2, т. 5. 124-128. (Украина).
16. Мусин А.М. 1998. Компьютерный анализ и синтез систем управления сельскохозяйственными объектами. Техника в сельском хозяйстве. №2. 15–19.
17. Карась О.Г., Сушко С.Л., Горбач Н.М. 2015. Расчетный метод определения режимов орошения с использованием климатических показателей. MOTROL.Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. Vol. 17. No 9. 9-12.
18. Сняева О., Завгородний А., Обыхвост. А. 2013. К вопросу планирования эксперимента на базе прикладного пакета EXEL. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. №7. 199-204.
19. Ромащенко М.И. 2004. Микроорошение сельскохозяйственных культур. Мелиорация и водное хозяйство. Вып. 90. 6-8. (Украина).
20. Константинов А.Р. 1968. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеиздат, 531.

AUTOMATED MANAGEMENT DATABASE
 FORMATION FOR THE FRUIT TREES
 PHYSIOLOGICAL STATE BY FINE DISPERSED
 SPRINKLING

Summary. Regularities in changes of physiological parameters for apricot-, peach-, sweet cherry-trees under the impact of climatic factors and fine-dispersed sprinkling have been given as well as the algorithm for watering management protecting trees from late frosts (frost-protecting) and summer draught (refreshing and moistening) has been proposed in the article.

To implement frost-protecting watering by moving the apricot-, peach-, sweet cherry-trees initial blossom dates the cooling units limiting values as well as grade-hour growth have been calculated. It was defined that getting out of the biological dormancy state for apricot trees comes after accumulating 940°C of cooling units, for peach-trees – at 1200°C, sweet cherry-trees – at 1350°C; and initial blossom starts when the apricot-trees accumulate the overall grade-hour growth equal to 3725°C, peach-trees - 4866°C, cherry-trees – 4839°C. The dates for conducting vaporizing buds cooling by fine-dispersed sprinkling have been defined, in which accumulation of grade-hour growth makes up 30% of the limiting value of 100%. It results to delay of generative buds development, shifting the initial trees blossom and, as the consequence, promotes to avoidance of buds damaging with late frosts.

To implement refreshing and moistening watering since May through October the registration of the changes in xylem flow speed in automated regime in the tree trunks as well as leaves temperature have been given. The regularities in changing these parameters in for 24-hours period have been defined, according to which it was stated that under over crown sprinkling the xylem flow speed decreases 1, 5 times while the leaves temperature decreases per 6-8°C in comparison with control trees (under crown sprinkling). On the basis of the data obtained the regimes for conducting day time refreshing and moistening watering have been defined; the following watering regime has been set up: watering duration – 5 minutes, pause – from 5 to 20 minutes. The device providing watering modes management according to trees physiological parameters.

Key words: watering automated managing, fruit trees, sensor, flow speed in the tree trunk index, leaves temperature.