

УДК 634.1:631.675+681.5(477.7)

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ
УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ
ОРОШЕНИЯ В ИНТЕНСИВНЫХ
САДАХ ЮГА УКРАИНЫ**

Горбач Николай Макарович
канд. с.-х. наук, ст. научный сотрудник

Козлова Лилия Валентиновна
канд. с.-х. наук, научный сотрудник отдела
орошения и агрохимических исследований

*Мелитопольская опытная станция
садоводства имени М.Ф. Сидоренко
Института садоводства Национальной
академии аграрных наук, Мелитополь,
Украина*

В условиях засушливого климата зоны Южной Степи Украины орошение является основным источником для накопления влаги в корнеобитаемом слое почвы и оптимальной влагообеспеченности плодовых деревьев в течение вегетации. Целью исследований являлась разработка автоматизированного управления режимами орошения интенсивных насаждений яблони. Объектом исследований был процесс формирования водного режима почвы и его влияние на продуктивность деревьев. В исследованиях изучали данные влажности почвы и основных метеорологических показателей: среднесуточная температура и влажность воздуха (для расчета испаряемости) и количество осадков. Наблюдения за расходом влаги в насаждениях яблони показали существенное влияние данных факторов на формирование водного режима почвы сада. Установлена тесная зависимость между показателями суммарного испарения, определенного термостатно-весовым методом, и расчетной испаряемостью (E_0). Установлено, что поддержание оптимального уровня влажности почвы (в

UDC 634.1:631.675+681.5(477.7)

**AUTOMATED MANAGEMENT OF
IRRIGATION REGIMES IN THE
INTENSIVE ORCHARDS OF THE
SOUTH OF UKRAINE**

Gorbach Nikolay Makarovych
PhD in Agriculture, Senior researcher

Kozlova Lilya Valentinovna
PhD in Agriculture, researcher of irrigation
and agrochemical research department

*Melitopol research fruit growing station
named after M.F. Sydorenko of Institute of
horticulture of National academy of agrarian
sciences, Melitopol, Ukraine*

In the conditions of draughty climate of Southern Steppe zone, irrigation is the main source for moisture accumulation in the root zone of the soil and optimal supply of moisture for fruit crops during the whole vegetation period. The goal of the research was the development of automated management of irrigation regimes of intensive apple orchards. The object of the research was the process of soil water regime formation and its influence on the productivity of the trees. In the research data on the soil humidity and main meteorological indexes was studied: average daily air temperature and humidity in order to calculate the amount of vaporization, and the amount of rainfall. Observations of moisture expense in apple orchards have shown valid influence of said factors on formation of water regime of orchard soil. A strong dependence was determined between the indexes of total vaporization, defined by thermostat-weight method, and calculated evaporability (E_0). The algorithm of assigning the irrigation terms and amounts using the calculation method in the intensive apple orchards with different planting schemes with the usage of microirrigation systems with the integrated overflow was proposed. It was

пределах 80% НВ) на протяжении вегетации в насаждениях яблони обеспечивается при назначении сроков и норм поливов расчетным методом при 90% разнице между испаряемостью (E_0) и осадками (O) за определенный период. Предложен алгоритм назначения сроков и норм поливов расчетным методом в интенсивных насаждениях яблони при разных схемах посадки с использованием систем микроорошения с интегрированными водовыпусками. Для оперативного расчета ресурсосберегающего режима орошения, разработан способ автоматизированного назначения сроков и определения норм полива плодовых насаждений с использованием программного обеспечения. Данная программа позволяет автоматизировать определение норм, длительности полива, межполивного периода за определенный контролируемый срок в зависимости от параметров поливной системы, типа почвы, глубины увлажнения, урожайности насаждений.

Ключевые слова: ЯБЛОНЯ, ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ, ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ, РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

determined that keeping the optimal level of soil humidity (around 80% of field capacity) during the vegetation in apple orchards is provided by assigning the terms and amounts of irrigation using calculation method in case of 90% difference between evaporability (E_0) and rainfall (O) during fixed period of time. In order to operatively calculate resource-saving irrigation regime, the method of automated assignment of terms and amounts of irrigation of orchards using program software. Said program allows to automate the determination of amount, duration of irrigation, duration between irrigations during fixed controlled term depending on irrigation system parameters, soil type, depth of humidification, yield of the orchard.

Key words: APPLE, WATER CONSUMPTION, WATER REGIME, IRRIGATION REGIME, AUTOMATION.

Введение. Актуальной задачей в орошаемом садоводстве является диагностика сроков и норм полива, которые обеспечивают рациональный водный режим почвы и, соответственно, физиологических потребностей растений [1]. Режим влажности почвы, который отвечает наиболее высокому уровню урожайности, определяется в первую очередь величиной суммарного испарения, являющейся основным элементом водного баланса активного слоя почвы орошаемого сада. При планировании режимов орошения ее рассчитывают с помощью моделей связи скорости испарения с испаряемостью, скорректированную коэффициентами, которые

учитывают роль растения и климата в испарении влаги орошаемым садом, что упрощает и удешевляет назначение поливных норм [2, 3].

Необходимость орошения садов Южной Степи обусловлена засушливыми погодными условиями. Здесь ежегодно выпадает в среднем 450-500 мм осадков, при этом испаряемость составляет 1400-1500 мм, что в 3 раза превышает количество осадков. Поэтому коэффициент увлажнения, который показывает отношение количества осадков к испаряемости, в период вегетации плодовых деревьев не превышает в среднем 0,3-0,5 [4].

При снижении коэффициента увлажнения отмечается увеличение дефицита влаги в почве и, как следствие, уменьшение урожайности плодовых культур. Обеспечение плодовых деревьев влагой в достаточном количестве возможно лишь при орошении [5].

Поэтому с целью повышения продуктивности плодовых деревьев и экономии поливной воды, для регулирования режима орошения в интенсивных насаждениях яблони, необходимо установить оптимальные сроки и нормы полива, используя расчетный метод их определения.

Методика исследований. Исследования проводились на Мелитопольской опытной станции садоводства имени М.Ф. Сидоренко ИС НААН на протяжении 2006-2012 гг. в насаждениях яблони сортов Айдаред, Голден Делишес, Флорина на вегетативном подвое М9, 2003 года посадки, при схеме размещения деревьев – 4x1,5 и 4x1 м. Почва опытного участка – чернозем южный тяжелосуглинистый, характеризующийся такими показателями (в среднем для слоя 0,4 м): гумус – 2,33%, рН – 7,8, наименьшая влагоемкость (НВ) – 28,0%.

Все агротехнические мероприятия в саду проводили согласно рекомендациям ИОС имени М.Ф. Сидоренко НААН [6]. Форма кроны деревьев – свободнорастущий веретеновидный куст. Система содержания почвы в саду – черный пар. Для осуществления поливов использовалась

вода из р. Днепр, которая по основным характеристикам соответствует требованиям, предъявляемым к качеству поливной воды согласно ДСТУ 2730-94. Для орошения опытного участка применялись поливные трубопроводы с интегрированными водовыпусками, расположенными через 0,6 м, с расходом воды – 1,5 л/ч.

Опыт заложен в 4-кратной повторности, по 5 учетных деревьев, с систематическим размещением вариантов. Схема опыта включала 5 вариантов: 1 – контроль (естественное увлажнение); 2 – назначение сроков и норм полива по показаниям влажности корнеобитаемого слоя почвы (0,4 м) термостатно-весовым методом (производственный контроль). В 3, 4 и 5-м вариантах сроки и нормы полива определялись по разности между испаряемостью (E_0) и количеством осадков (O) за определенный промежуток времени: вариант 3 – 110% ($E_0 - O$); 4 – 90% ($E_0 - O$); 5 – 70% ($E_0 - O$).

Испаряемость устанавливалась по формуле Н.Н. Иванова: $E_0 = 0,00006(t + 25)^2(100 - r)$, где E_0 – испаряемость за сутки, мм; t – среднесуточная температура воздуха, °С; r – среднесуточная относительная влажность воздуха, %. Суммарное испарение рассчитывалось по уравнению водного баланса: $E = (W_n - W_k) + m + O$, где E – суммарное испарение, м³/га; W_n и W_k – запасы влаги в начале и конце расчетного периода, м³/га; m – норма полива м³/га; O – количество осадков, м³/га. Испарение с водной поверхности определяли по испарителю ГГИ-3000. Математическую и статистическую обработку полученных результатов проводили по методике Б.А. Доспехова с помощью компьютерных программ COSTAT, Excel, ANOVA [7].

Обсуждение результатов исследований. Установлено, что наиболее высокие показатели суммарного водопотребления деревьев яблони наблюдались в период роста побегов (от 735 до 748 м³/га), наименьшие – в период цветения (313-325 м³/га). В фазы дифференциации

генеративных почек, а также роста и созревания плодов суммарное водопотребление было практически одинаковым и составляло в среднем 648-639 м³/га соответственно, без существенной разницы между схемами посадки деревьев. Показатели суммарного водопотребления, определенные по испарителю ГГИ-3000 и формуле Н.Н. Иванова, отличались от фактических значений от 2 до 10% в среднем за период исследований (табл. 1).

Таблица 1 – Суммарное водопотребление, определенное разными методами в интенсивных насаждениях яблони при разных схемах посадки деревьев (среднее за 2006-2012 гг.), м³/га

Фаза развития деревьев	Суммарное водопотребление			
	термостатно-весовой		ГГИ-3000	по Н.Н. Иванову
	4x1,5м	4x1м		
Набухание и распускание почек	342	311	339	323
Цветение	325	313	337	296
Опадание цветков и завязи	538	510	574	518
Рост побегов	735	748	758	648
Дифференциация плодовых почек	648	639	710	641
Рост и созревание плодов	664	653	740	657
НСР ₀₅ фаза развития	10,24		-	-
НСР ₀₅ схема посадки	ns		-	-

С целью обоснования ресурсосберегающего режима микроорошения интенсивных насаждений яблони, проведен регрессионный анализ для выявления зависимости между показателями суммарного водопотребления определенных термостатно-весовым методом (в среднем по двум схемам посадки) по формуле Н.Н. Иванова и по испарителю ГГИ-3000. Эта зависимость в период вегетации плодовых деревьев характеризовалась уравнением: $y = 2,89 + 0,23x_1 + 0,65x_2$ ($R^2 = 0,92$), ошибка отклонения регрессии $\pm 0,32$ мм), где x_1 – показатель по расчетному методу (по формуле Н.Н. Иванова), x_2 – по испарителю ГГИ-3000.

Анализ парной зависимости также показал тесную корреляционную связь между показателями суммарного водопотребления, определенного термостатно-весовым методом (y), и по испарителю ГГИ-3000 (x_2), которая характеризуется уравнением: $y = 1,75 + 1,12x_2$, ($R^2 = 0,85$); между термостатно-весовым (y) и формулой Н.Н. Иванова (x_1): $y = 0,40 + 0,93x_1$, ($R^2 = 0,93$). Между показателями суммарного водопотребления, рассчитанных по формуле Н.Н. Иванова и испарителю ГГИ-3000, установлена тесная корреляционная связь ($r = 0,76-0,91$) (рис. 1).

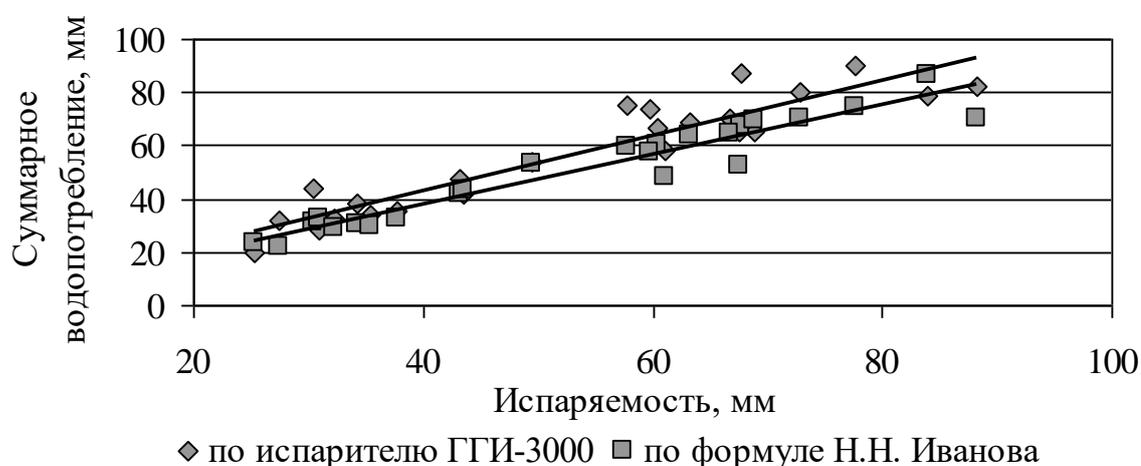


Рис. 1. Зависимость суммарного водопотребления от испаряемости, определенной разными методами (среднее за 2006-2012 гг.)

Для более точного расчета суммарного водопотребления данные способы требуют корректировки коэффициентами, которые учитывают биологические особенности деревьев яблони. В наших исследованиях проведён сравнительный анализ величины суммарного водопотребления, определенной термостатно-весовым методом, с величинами рассчитанными как разница между испаряемостью по формуле Н.Н. Иванова (E_0) и количеством осадков (O): $110, 90, 70\% (E_0 - O)$. При использовании уравнения $y = 0,40 + 0,93x_1$, получены теоретические величины норм полива интенсивных насаждений яблони, которые существенно не отличались от фактических значений (табл. 2).

Таблица 2 – Показатели фактических и теоретических величин
норм полива, 2009 г.

Дата полива	80% НВ	110% (E ₀ -O)		90% (E ₀ -O)		70% (E ₀ -O)	
		факт.	теорет.	факт.	теорет.	факт.	теорет.
17.06	55,5	62,1	60,4	50,2	49,4	39,6	38,4
8.07	56,7	62,4	71,2	62,4	58,3	38,9	45,3
15.07	47,3	52,0	48,6	42,5	39,8	33,1	30,9
22.07	56,7	62,4	64,3	51,0	52,6	39,7	40,9
29.07	51,2	64,2	65,8	52,4	53,9	40,1	41,9
5.08	53,5	56,4	67,7	46,2	55,4	35,9	43,1
12.08	63,1	62,4	70,2	53,7	57,4	39,1	44,6
19.08	24,0	26,4	23,4	21,6	19,2	16,8	14,9
26.08	56,8	62,5	60,9	51,2	49,8	39,8	38,7
5.09	45,8	55,0	49,3	41,7	40,4	37,1	31,4
Норма полива, м ³ /га	510	566	582	463	476	360	370

Поэтому данное уравнение предлагается использовать для оперативного управления поливным режимом интенсивных насаждений яблони. Наиболее эффективным оказался вариант 90% (E₀ – O) по всем сортам и схемам посадки, где отклонения нормы полива не превышали 2-8%. Коэффициенты водопотребления и эффективности орошения при этом составили 304,7 м³/т и 9,8 кг/м³ (табл. 3).

Таблица 3 – Эффективность орошения интенсивных насаждений яблони
(среднее по сортам), 2007-2012 гг.

Вариант опыта	Урожайность, т/га	Оросительная норма, м ³ /га	Суммарное водопотребление, м ³ /га	Коэффициент	
				водопотребления, м ³ /т	эффективности орошения, кг/м ³
Контроль	6,4	-	3274	511,6	-
80% НВ	12,2	609	3774	309,3	9,5
110% (E ₀ -O)	12,9	684	3873	300,2	9,5
90% (E ₀ -O)	11,9	560	3626	304,7	9,8
70% (E ₀ -O)	9,9	436	3476	351,1	8,0

Для оперативного расчета ресурсосберегающего режима орошения разработан способ автоматизированного назначения сроков и определения норм полива плодовых насаждений с использованием программного обеспечения. Данная программа, разработанная с помощью программной оболочки Delphi 2009, позволяет автоматизировать определение норм, длительности полива, межполивного периода за определенный контролируемый срок в зависимости от параметров поливной системы, типа почвы, глубины увлажнения.

Компьютерная программа представляет собой один исполняющий .exe файл. При запуске этого файла на экране появляется диалоговое окно, где предусмотрены поля ввода коэффициента увлажнения, расстояния между рядами, расстояния между соседними водовыпусками, расход одного водовыпуска и глубины увлажнения. Вводят данные даты начала и конца контролируемого срока, среднесуточные показания температуры и относительной влажности воздуха, количества осадков (рис. 2).

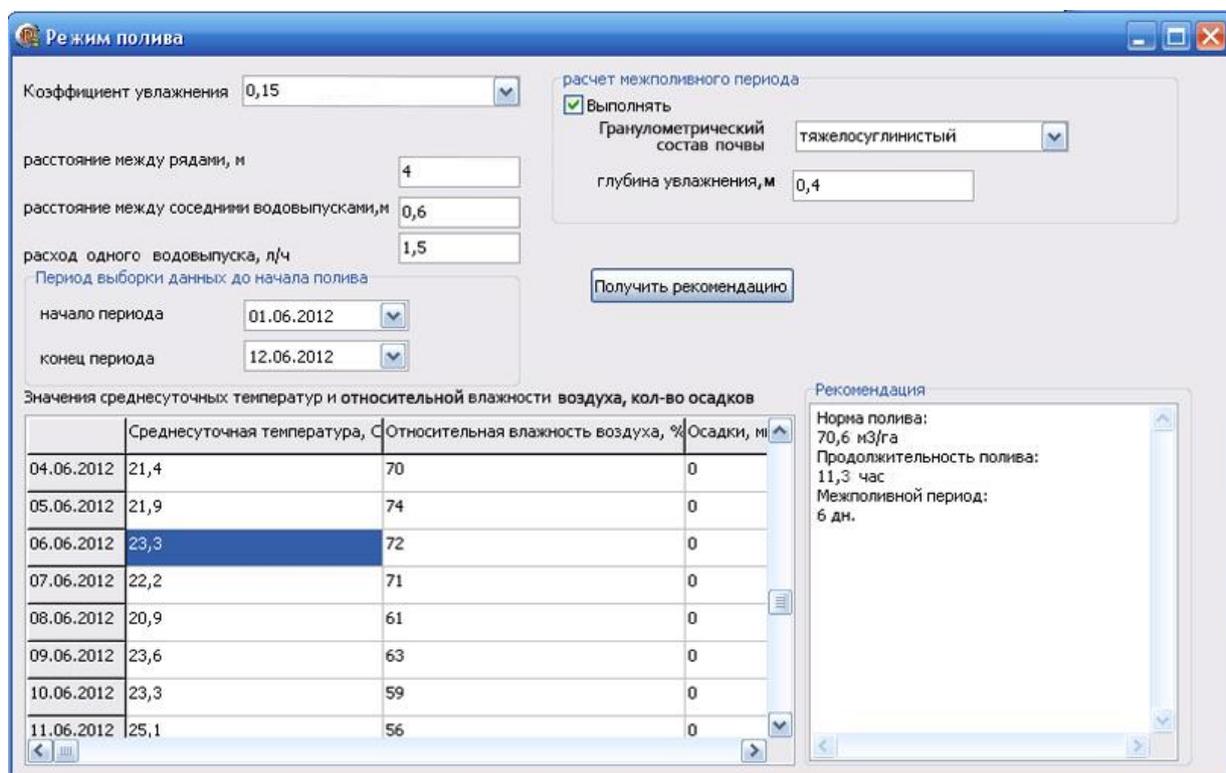


Рис. 2. Скриншот программы интерфейса для автоматизированного управления режимами орошения деревьев яблони

Для расчета ресурсосберегающего режима орошения яблони в качестве примера представлены фактические данные: коэффициент увлажнения 0,15, гранулометрический состав почвы, расстояние между соседними водовыпусками с расходом воды 1,5 л/ч составляет 0,6 м, между рядами – 4 м. Начало выбора данных – 04.06.2012 г., а окончание периода – 11.06.2012 г. При сложившихся метеоусловиях норма полива на 12.06.2012 г. составила 70,6 м³/га, а продолжительность – 11,3 ч. Очередной полив следует провести через 6 дней.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о высокой эффективности использования системы микроорошения для повышения продуктивности деревьев яблони. При этом с целью обеспечения оптимального водного режима почвы в интенсивных насаждениях яблони предлагается использовать программное обеспечение для автоматизированного управления режимами орошения деревьев яблони.

Выводы 1. Проведенные исследования показали, что формирование водного режима чернозема южного обусловлено метеорологическими условиями и уровнем влагообеспеченности деревьев яблони. Установлена тесная корреляционная зависимость между показателями суммарного водопотребления насаждений яблони, рассчитанными термостатно-весовым методом (y), расчетным по формуле Н.Н. Иванова (x_1) и испарителем ГГИ-3000 (x_2), которая характеризуется уравнением: $y = 2,89 + 0,23x_1 + 0,65x_2$ ($R^2 = 0,92$).

1. Применение агроклиматических показателей для оперативного назначения сроков и норм поливов и их расчет при 90% от разницы между испаряемостью (E_0) и количеством осадков (O) позволяет поддерживать водный режим почвы в интенсивных насаждениях яблони на уровне 80% НВ.

2. Для оперативного расчета ресурсосберегающего режима орошения разработан способ автоматизированного назначения сроков и определения норм полива плодовых насаждений с использованием программного обеспечения.

Литература

1. Горбач, М.М. Підвищення ефективності мікро зрошення плодкових культур на півдні України / М.М. Горбач, Л.В. Козлова // Садівництво. – 2012. – Вип. 66. – С. 182-188.
2. Мелиорация и водное хозяйство. 6. Орошение / под ред. Б.Б. Шумакова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 415 с.
3. Nagy, A Integrated airborne and field methods to characterize soil water regime / Nagy, A. & Tamás, J. // [In: Celkova, A. (ed.) Proceedings of peer-reviewed contributions, Transport of water, chemicals and energy in the soil-plant-atmosphere system]. – Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, 2009. – P. 412–420.
4. Козлова, Л.В. Водоспоживання та врожайність молодих дерев яблуні при різних режимах мікро зрошення в умовах Південного степу України / Л.В. Козлова // Науковий вісник Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. – 2009. – № 133. – С. 189-193.
5. Iglesias, I. The evaporative cooling effects of overtree microsprinkler irrigation on ‘Mondial Gala’ apples / Iglesias I., Salvia J., Torguet L. & Montserrat R. // Scientia Horticulturae. – 2005. – № 103. – P. 267–287.
6. Технологія вирощування зерняткових і кісточкових культур на півдні України в умовах зрошення (рекомендації) / відп. за вип. В.І. Водяницький – Мелітополь, 2001. – 61 с.
7. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

References

1. Gorbach, M.M. Increasing the effectiveness of microirrigation of fruit crops in the South of Ukraine / M.M. Gorbach, L.V.Kozlova // Horticulture. – 2012. – Issue 66. – P. 182-188.
2. Melioration and water management. 6. Irrigation / under editorial B.B. Shumakov. – M.: Agropromizdat, 1990. – 415 p.
3. Nagy, A. Integrated airborne and field methods to characterize soil water regime / Nagy, A. & Tamás, J. // [In: Celkova, A. (ed.) Proceedings of peer-reviewed contributions, Transport of water, chemicals and energy in the soil-plant-atmosphere system]. – Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, 2009. – P. 412– 420.
4. Kozlova, L.V. Water consumption and yield of young apple trees with different microirrigation regimes in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine / L.V. Kozlova // Scientific herald of National university of bioresources and nature management of Ukraine. – 2009. – Issue 133. – P. 189-193.
5. Iglesias, I. The evaporative cooling effects of overtree microsprinkler irrigation on ‘Mondial Gala’ apples / Iglesias I., Salvia J., Torguet L. & Montserrat R. // Scientia Horticulturae. – 2005. – № 103. – P. 267–287.

6. Technology of stone and pome crops cultivation in the south of Ukraine in the conditions of irrigation (recommendations) / responsible for issue V.I. Vodyanitsky. – Melitopol, 2001. – 61 p.

7. Dospekhov, B.A. Methods of field experiment / B.A. Dospekhov – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 p.