

5. A.S. SSSR № 1697648 A1; МПК АО1К 5/00 Ustroystvo dlya vydachi korma / N.I. Kapustin, Sh.A. Mkrtychyan, N.S. Malikova, V.I. Dolgov; Altayskiy NIPTIZh. – Zayavka № 4777276/30-15; zayavl.05.01.90; opubl.15.12.91. Byul. № 45.

6. Fedorenko I.Ya., Kapustin N.I. Ventilyatsiya zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy: rekomendatsii. – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2016. – 47 s.

7. Pozin G.M., Kozlova N.P., Maksimov N.V., Samsonov A.M. Sistemy ventilyatsii sovremennykh pomeshcheniy dlya soderzhaniya krupnogo rogatogo skota. [Elektronnyy resurs]. – http://pticainfo.ru/article/?ELEMENT_ID=2973.

8. A.S. SSSR № 1329703 A1; МПК АО1К 5/00 Kormushka dlya zhivotnykh / Sh.A. Mkrtychyan, N.I. Kapustin, A.I. Korol', N.S. Malikova; Altayskiy NIPTIZh. – Zayavka

№ 39893077/30-15; zayavl. 11.12.85; opubl. 16.08.87. Byul. № 30.

9. A.S. SSSR № 1329969 A2; МПК АО1К 1/00 Stoylovoe oborudovanie zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy / N.I. Kapustin, N.S. Malikova; Altayskiy NIPTIZh. – Zayavka № 3991211/30-15; zayavl.16.12.85; opubl. 15.08.87. Byul. № 30.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства РФ «Разработка энергосберегающей технологии поддержания необходимых параметров воздушной среды для обеспечения нормальной жизнедеятельности в животноводческих помещениях и комплексах, а также других производственных помещениях сельскохозяйственного назначения (код темы: «11.040.1»). N госрегистрации 01970006723.



УДК 635.587:635

Ю.В. Егоров, А.В. Бобков, А.В. Кириченко, Е.Н. Есафова
Yu.V. Yegorov, A.V. Bobkov, A.V. Kirichenko, Ye.N. Yesafova

СВОЙСТВА И ВОЗМОЖНОСТИ ДАТЧИКОВ ВЛАЖНОСТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛИВОМ

PROPERTIES AND POSSIBILITIES OF MOISTURE SENSORS FOR IRRIGATION CONTROL

Ключевые слова: емкостный датчик влажности, тензиометры, капельное орошение, автоматизация полива, оптимальная влажность.

Дается описание системы управления капельным поливом с протяженным емкостным датчиком влажности почвы, усредняющим влажность вдоль своего протяжения. Датчик длиной 18 м находится в корнеобитаемом слое под рядом растений. Рядом с датчиком установлен высокочастотный преобразователь, от которого сигнал, пропорциональный влажности, передается по сигнальному кабелю в командно-измерительное устройство, где имеются уставка заданной влажности, компаратор, сравнивающий уставку с сигналом датчика, индикатор влажности и регулятор гистерезиса – разницы между уровнем включения и выключения полива. Исполнительным механизмом служит электромагнитный клапан на по-

дающем водопроводе. Детально обсуждаются особенности работы предложенного датчика: связь его длины с частотой электрического тока, влияние температуры и структурности почвы, точность поддержания влажности поливной системой в сравнении с тензиометрическими датчиками на двух типах почвы – дерново-подзолистой и черноземной. Выявилась необходимость термокомпенсации емкостного датчика. Термокомпенсация осуществлялась изменением амплитуды ВЧ генератора, управляемого датчиком температуры почвы. Датчик температуры устанавливался рядом с емкостным датчиком. Настройка термокомпенсации делалась опытным путем по включению полива в жаркое время дня. Приводятся примеры автоматического полива на посадках капусты: в режиме компенсации недостатка влаги в жаркую погоду, а также в режиме сравнения автоматического полива с дождеванием по классической

схеме назначения поливов на основе определения влажности и расчета поливной нормы. Отмечается увеличение урожайности за счет оптимального увлажнения почвы в системе автоматического полива. Даются рекомендации по использованию системы автоматического полива в сельскохозяйственном производстве: наиболее предпочтительным является случай, когда однажды установленная влажность (с использованием, например, термостатно-весового метода или с помощью тензиометров) в дальнейшем поддерживается предложенной системой управления поливом уже без участия человека. В ходе трехлетней эксплуатации отмечены надежность и безотказность системы автоматического полива с усредняющим емкостным датчиком влажности почвы.

Keywords: *capacity sensor of moisture, tensiometers, drip irrigation, irrigation automation, optimal moisture.*

The paper describes the control system of drip irrigation with extended capacity sensor of soil moisture that averages the moisture along its extension. The sensor which is 18 m long is laid in the root layer under plant row. Close to the sensor we install a high frequency transformer which transmits the signal proportional to the moisture through the signal cable to monitor control where the needed moisture value

is preset, comparator compares the preset value with the sensor signal, moisture display and hysteresis indicator are installed. The executive mechanism is an electromagnetic valve on the water supply system. We discuss in detail the operating features of the proposed sensor: the relation of its length with electric current frequency, influence of soil temperature and structure, and the accuracy of moisture maintenance by the irrigation system as compared to tensiometric sensors in two soil types – sod-podzolic and chernozem soils. We give some examples of automatic irrigation of cabbage: in the regime of moisture compensation in hot weather and in the regime of comparing automatic irrigation with sprinkling irrigation according to the classic scheme of the irrigation based on moisture determination and irrigation rate calculation. Increased yield due to the optimal soil moistening with automatic irrigation system has been revealed. We give some guidelines on using automatic irrigation system in agricultural production: the most preferential is the case when once preset moisture value (by using thermostat and weighing measurement or tension-meters) is maintained in the future by this irrigation control system already without human input. Three-year long operation confirms reliability and accuracy of automatic irrigation system with averaging capacity sensor of soil moisture.

Егоров Юрий Валентинович, к.б.н., м.н.с., каф. физики и мелиорации почв, фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Тел.: (495) 337-80-18. E-mail: yury-egorov@mail.ru.

Бобков Алексей Викторович, инженер, каф. физики и мелиорации почв, фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. E-mail: yury-egorov@mail.ru.

Кириченко Анатолий Валентинович, к.б.н., н.с., каф. физики и мелиорации почв, фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. E-mail: yury-egorov@mail.ru.

Есафова Елена Николаевна, ассист., каф. эрозии и охраны почв, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. E-mail: yury-egorov@mail.ru.

Yegorov Yuriy Valentinovich, Cand. Bio. Sci., Junior Staff Scientist, Soil Physics and Reclamation Dept., Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University. Ph.: (495) 337-80-18. E-mail: yury-egorov@mail.ru.

Bobkov Aleksey Viktorovich, Engineer, Soil Physics and Reclamation Dept., Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University. E-mail: yury-egorov@mail.ru.

Kirichenko Anatoliy Valentinovich, Cand. Bio. Sci., Staff Scientist, Soil Physics and Reclamation Dept., Soil Science Faculty, Lomonosov Moscow State University. E-mail: yury-egorov@mail.ru.

Yesafova Yelena Nikolayevna, Asst., Soil Erosion and Protection Dept., Lomonosov Moscow State University. E-mail: yury-egorov@mail.ru.

Введение

Повышение продуктивности орошаемых земель – важная задача земледелия. Одним из основных условий получения высоких урожаев является постоянное снабжение растений доступной влагой и поддержание влажности корнеобитаемого слоя на оптимальном уровне, соответствующем фазе развития растений. Орошение – затратный процесс, связанный с применением поливной техники и расходами на водо-

снабжение. В общепринятой схеме периодических поливов растения испытывают значительные отклонения влажности в большую или меньшую сторону от оптимума. Величина поливных норм всегда превышает потребность растений в воде. Суточный расход влаги из почвы очень сильно зависит от влажности почвы – чем она больше, тем больше испарение. Поэтому вначале и тотчас после полива, а также при больших поливных нормах суточный расход

влаги из почвы больше, чем в конце межполивного периода или при небольших нормах. Кривая испарения из почвы в межполивной период близка к экспоненциальной. Поэтому вначале испарение очень интенсивно, в последующем оно уменьшается [1].

Применяя капельный полив, следует полно использовать его технические преимущества. Стационарная сеть позволяет поливать часто и небольшими дозами, что может обеспечить оптимальную влажность для данной культуры [2-5]. Существуют рекомендации снижать вдвое поливную норму при капельном орошении по сравнению с дождеванием [5], осуществляя полив в те же сроки. Определение поливной нормы, отбор проб и нахождение влажности почвы термостатно-весовым методом – трудоемкий процесс. Это способствует разработке других альтернативных способов управления поливом [6]. Например, с учетом водного баланса на орошаемом участке, с использованием метеонаблюдений [7], определенным преимуществом обладает термодинамический метод, основанный на учете энергии, которую можно затратить, чтобы извлечь влагу из почвы, связанную там гигроскопическими силами. Чем суше почва, тем большую энергию нужно приложить для извлечения влаги. Вводится понятие потенциала почвенной влаги (ППВ). Каждый вид растения, благодаря физиологическим особенностям корневой системы, также способен до определенного предела совершить такую работу [8, 9], каждое растение имеет свой критический потенциал, после которого затрудняются потребление почвенной влаги и рост растения замедляется. Для большинства сельскохозяйственных растений определены также оптимальные значения ППВ, обеспечивающие максимальную урожайность [10-12].

Потенциал почвенной влаги – универсальный показатель, который можно применять для различных типов почв без какой-либо калибровки. Текущее значение ППВ определяется с помощью тензиометров. Имелись удачные попытки использовать тензиометры для непосредственного управления поливом. Тензиометры соединялись с мембранно-контактным механизмом, замыкающимся при иссушении почвы

и падении ППВ ниже заданного значения. Несмотря на положительные результаты, эти устройства не имели широкого применения из-за хрупкости конструкции, механической уязвимости и необходимости периодического квалифицированного обслуживания.

Производились опыты с использованием емкостных датчиков влажности почвы [13]. Диэлектрическая проницаемость сухой почвы (ϵ) около 5, но при увлажнении она существенно увеличивается и может достигать 30-40 из-за большого значения ϵ воды (80). Конструктивно датчик представляет собой конденсатор, диэлектриком которого служит почва. Почва не является идеальным диэлектриком, она – проводник электрического тока, ее омическая проводимость мешает определению емкостной проводимости датчика, по которой определяют влажность почвы. Устранить этот недостаток можно двумя способами: нанести слой изоляции на пластины электродов или существенно увеличить частоту электрического тока. Емкостная проводимость растет пропорционально частоте, и в итоге существенно превзойдет омическую составляющую, которой можно пренебречь. В классической диэлькометрии используются частоты от десятка гигагерц до сотен мегагерц.

Устройство датчика. Недостатком всех датчиков (в том числе и тензиометров) является их точечный характер, т.е. они предназначены для измерения некоторого параметра в той точке, где они установлены, без учета пространственной неоднородности почвы. Мы предложили усредняющий емкостный датчик влажности, выполненный в виде длинного (18 м) жгута из изолированных проводов [14]. Одна часть проводов образует один полюс датчика, другая – второй полюс (или электрод) конденсатора – датчика. Жгут проводов закладывается через щель в почву на глубину 15 см, по месту будущего рядка рассады. Прорастая, ее корни оказываются в зоне действия датчика. Рядом с датчиком на опытном участке установлены высокочастотный генератор и измеритель емкостного тока в брызгозащищенном исполнении [15]. Они связаны 4-жильным сигнальным кабелем с наблюдательным пунктом, где установлено командно-измерительное

устройство. В нем имеется уставка заданной влажности, компаратор, сравнивающий сигнал датчика с заданной уставкой, индикатор текущей влажности и регулятор гистерезиса (разницы между влажностью включения и выключения полива). Исполнительный механизм – электромагнитный клапан на магистральном трубопроводе. Питание – от водопроводной сети.

Принцип действия емкостного датчика. Усредняющая способность датчика определяется его длиной – чем больше длина, тем лучше усреднение. Однако существует ограничение длины, связанное с волновыми и резонансными явлениями в длинных линиях. Критической является четверть длины волны в линии ($l_{кр}$): $l_{кр} = 3 \cdot 10^8 / 4f\sqrt{\varepsilon}$, где f – частота тока, ε – диэлектрическая проницаемость среды. Если ε почвы = 14, то на частоте 1 ГГц $l_{кр} = 0,02$ м, на частоте 1 МГц $l_{кр} = 20$ м. Это означает, что с удлинением датчика нужно снижать частоту тока. Почва – не идеальный диэлектрик, при снижении частоты емкостная составляющая проводимости уменьшается, превалирует омическая проводимость, и классическая волновая картина искажается.

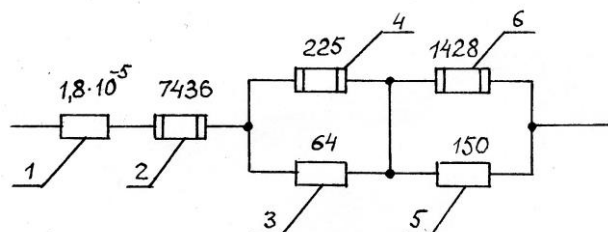


Рис. 1. Электрическая цепь элементов датчика

На рисунке 1 отображена электрическая цепь элементов датчика, где 1 – металл электрода, 2 – его изоляция, 3, 4 – почвенный раствор, его омическое и емкостное сопротивление, 5, 6 – почвенный агрегат, его сопротивление. На рисунке показана также величина удельного сопротивления конкретной среды в ом·м. Самое большое емкостное сопротивление сосредоточено в изоляции электрода 2, ток в цепи определяется в основном его величиной. Остальные сопротивления сравнительно невелики и фактически играют роль проводников, подводя ток к изоляции. Изоляция

служит диэлектриком конденсатора, одной обкладкой (или пластиной) которого является металл провода, а другой – почвенные капилляры и мениски жидкости на поверхности изоляции. При увлажнении почвы капилляры заполняются влагой, мениски расширяются, увеличивая смоченную поверхность изоляции. Площадь второй «обкладки» конденсатора растет, отчего и увеличивается емкость датчика. Этот необычный механизм работы датчика на пониженной частоте демонстрирует достоинства, свойственные классической диэлькометрии: нечувствительность к электропроводности почвенного раствора и небольшую величину температурной погрешности по сравнению с кондуктометрией. Однако, как оказалось, есть влияние гидрофильности или гидрофобности изоляции и наличия поверхностно-активных веществ в почвенном растворе. Мы остановились на использовании полиэтиленовой изоляции, испытывали также виниловую, фторопластовую и резиновую.

Механизм работы датчика проявляется и во влиянии почвенной структуры. Бесструктурная почва, например, влажная глина, прилегая к изоляции, занимает всю свободную поверхность. При высыхании глины в ее тончайших капиллярах создается отрицательное давление, стягивающее ее минеральные частицы в плотный конгломерат, облегающий поверхность электрода. Размер «второй» обкладки конденсатора максимален и почти не меняется в диапазоне доступной влаги. При изменении влажности почвы меняются ее сопротивления 5, 6, но они на порядок меньше сопротивления изоляции 2 и слабо сказываются на изменении емкости датчика. При этом емкость датчика велика из-за полностью задействованной поверхности изоляции и, наоборот, в структурной почве емкость датчика оказывается меньше, но изменение емкости от влажности больше. Реальные почвы содержат как структурные, так и бесструктурные составляющие и занимают в этом ряду промежуточное положение. На рисунке 2 приведены результаты испытаний почв различной структуры с емкостными датчиками, изготовленными из отрезков двужильного провода ТРП длиной по 2 м.

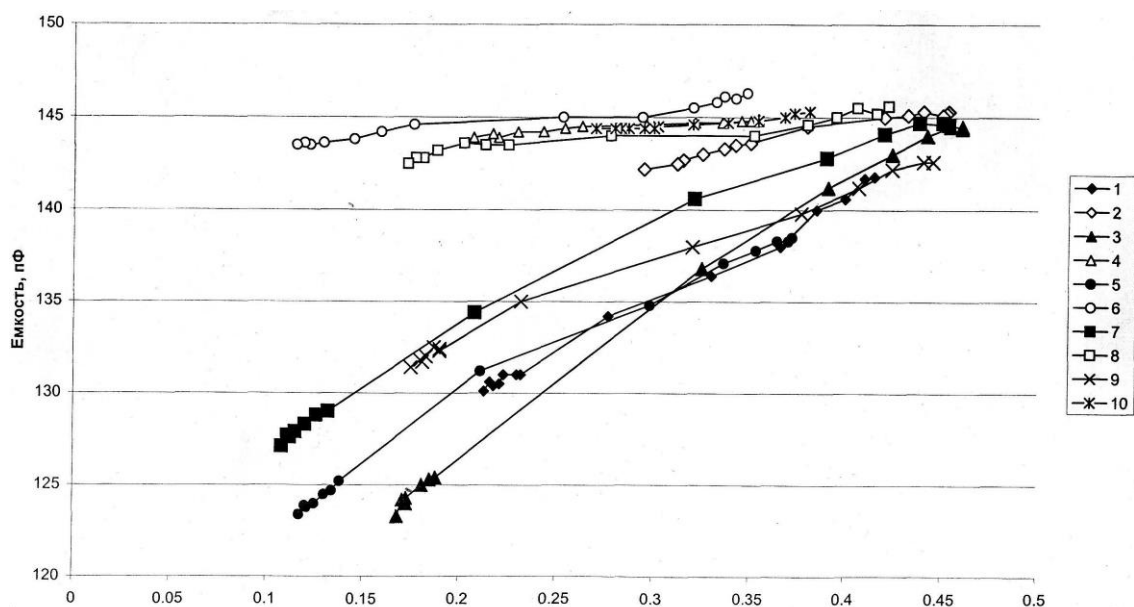


Рис. 2. Зависимость электрической емкости почв от их объемной влажности

Испытывались: дерново-подзолистая суглинистая почва, гор. А(№ 1-2), пойменная луговая, гор. А(№ 3-4), В(№ 5-6), С(№ 7-8), суглинок гор. А(№ 9-10). Влажность почвы в г/см³ измеряли термостатно-весовым методом, емкость датчиков – прибором Е 7-9. Черным цветом на диаграмме обозначена почва, сохранившая структуру, белым – растертая в порошок и лишённая структурности. Наибольшая зависимость емкости от влажности наблюдалась у луговой пойменной почвы, гор. А.

Практика показала, что в течение сезона вегетации не происходит существенных изменений структурности почвы, которые бы потребовали корректировки датчика. Это может произойти лишь при обработке почвы в зоне его закладки или в результате полного иссушения участка. Однако в нормально работающей поливной системе, поддерживающей оптимальную влажность, этого не происходит. Характеристики датчика существенно меняются в зимний период, при замерзании и оттаивании почвы, что влияет на характер контакта датчика с почвой. Срок службы датчика не менее 4 лет. Небольшие повреждения изоляции не сказываются на его работе.

Влияние температуры почвы. Суточная динамика показаний емкостных датчиков и тензиометров отличается рядом особенностей. Утром, после восхода солнца, приборы регистрируют некоторое увеличение влажности в корнеобитаемом слое, которое к 11 ч утра сменяется тенденцией к уменьшению. Уменьшение длится до вечера, и на этом, более низком, уровне сохраняется до следующего утра (если не было поливов). Мы предположили, что наблюдаемый характер показаний отражает совместное действие испарения из почвы и температурной погрешности приборов. Был проведен опыт с нагревом и охлаждением в замкнутой кювете, исключающей испарение с поверхности. В кювету помещался керамический фильтр тензиометра, и от него был выведен шланг к вакуумметру. Там же в почву зигзагообразно укладывался емкостной датчик длиной 2 м. Испытания проводились с дерново-подзолистой и черноземной почвой при двух значениях влажности. Было проведено несколько циклов нагрева и охлаждения. Результаты приведены в таблицах 1 и 2 (*W* – влажность почвы при закладке, *t* – температура, *P* – показания вакуумметра, *C* – емкость датчика).

Дерново-подзолистая почва

Табл.1

$W, \%$	$W_1 = 26,8$				$W_2 = 24,5$			
$t^{\circ}C$	21,5	5	21	28	21	6	20	28
$P_{\text{хПа}}$ P_{\downarrow}	13,4	15,07	11,6	9,7	P_2 38,9	41,75	37,65	34,14
$C_{\text{Пф}}$ C_{\downarrow}	202,5	197,6	209,6	207,5	C_2 195,5	192,6	192,6	199,7
$K_p = \Delta P / \Delta t^{\circ}C$	0,16		0,26		0,19		0,36	
$K_c = \Delta C / \Delta t^{\circ}C$	0,29		0,3		0,2		0,35	

Черноземная почва

Табл.2

$W, \%$	$W_3 = 38,2$				$W_4 = 34,9$			
$t^{\circ}C$	20	6,3	5,5	41	34	21	21	6
$P_{\text{хПа}}$ P_{\downarrow}	12,9	16,5	15,9	9,6	34,7	P_2 35,5	35,5	36,1
$C_{\text{Пф}}$ C_{\downarrow}	187,2	183,4	184,5	194,3	186,2	C_2 182,8	182,8	178,4
$\Delta P / \Delta t^{\circ}C$	0,25		0,17		0,07		0,16	
$\Delta C / \Delta t^{\circ}C$	0,28		0,27		0,26		0,27	

По результатам наблюдений рассчитывалась возможная погрешность определения (или поддержания в автоматическом режиме) влажности почвы (m). Для тензиометра на дерново-подзолистой почве $m_p = 0,023\%$ на $^{\circ}C$, на черноземе – $0,023\%$ на $^{\circ}C$. Для емкостного датчика на дерново-подзолистой почве $m_c = 0,1\%$ на $^{\circ}C$, на черноземе $0,2\%$ на $^{\circ}C$. На опытном участке суточные колебания температуры в корнеобитаемом слое не превышают $4^{\circ}C$, недельные и месячные могут достигать $15^{\circ}C$. При этом тензиометр даст погрешность $0,35\%$ весовых независимо от типа почвы. Погрешность поддержания влажности с емкостным датчиком составит $1,5\%$ на дерново-подзолистой почве и 3% на черноземе. Влияние температуры может быть связано с изменением поверхностного натяжения воды, что влияет на ППВ и краевой угол смачивания поверхности изоляции. При использовании датчика в поливной системе необходима термокомпенсация. Мы применили регулирование амплитуды ВЧ напряжения на датчике в зависимости от температуры почвы. Датчик температуры помещался рядом с емкостным датчиком на глубину его заложения. Регулировка термокомпенсации производилась несложно, опытным путем, так, чтобы поливы с вечернего времени смещались на более ранний срок, когда почва прогревалась и подсушивалась.

Полевые опыты. Испытания проводились на посадках осенней капусты сорта «Колобок». На поливном участке была смонтирована система капельного орошения с жесткими капельницами. Рядом находился контрольный участок без полива, он увлажнялся только атмосферными осадками. В таблице 3 приведены подекадные и месячные данные о выпадении осадков и поступлении поливной воды на опытный участок в т/га.

Сумма осадков за учетный период составила 2229 т/га, поступление поливной воды – 439 т/га, т.е. $19,6\%$ от общего поступления влаги на опытный участок. Однако эта небольшая доля от общего увлажнения пришлась на критический период жаркой погоды в конце июля и начале августа и дала прибавку урожая в 27% по сравнению с неполиваемым участком. На рисунке 3 показаны диаграммы изменения ППВ на поливном и неполиваемом участках. Ситуация с увлажнением на поливном участке гораздо оптимальнее, чем на участке без полива.

Производилось также сравнение двух способов: автоматического капельного полива и полива дождеванием по достижении влажности почвы 80% от ПВ. Емкостный датчик был откалиброван по показаниям тензиометров, включение полива соответствовало значению ППВ $0,08$ атм. На опытном участке в жаркую погоду поливы происходили почти ежедневно дозами порядка 80 т/га по 2-4 полива за сутки. На кон-

трольном участке с дождеванием потребовался один полив 1480 т/га. В дальнейшем за счет осадков влажность на нем не опускалась ниже 80% ПВ и дальнейшие поливы не понадобились. В таблице 4 приведены данные о величине осадков и поливов на

участках с цветной капустой. На опытном участке объем полива оказался на 10% больше, но и урожайность увеличилась на 30%. На рисунке 4 показаны изменения ППВ на поливных участках с цветной капустой.

Поступление осадков и поливной воды

Таблица 3

Месяц	Июль			Август			Сентябрь			Октябрь		
Поступление воды с осадками	506,5			729,7			856,7			136,2		
Поступление воды от полива	130			308,7								
Декада	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Осадки	47,6	330	129	93	240	397	478	335	43,2	104	31,8	
Поливы	-	136	209	100	-	-	-	-	-	-	-	-

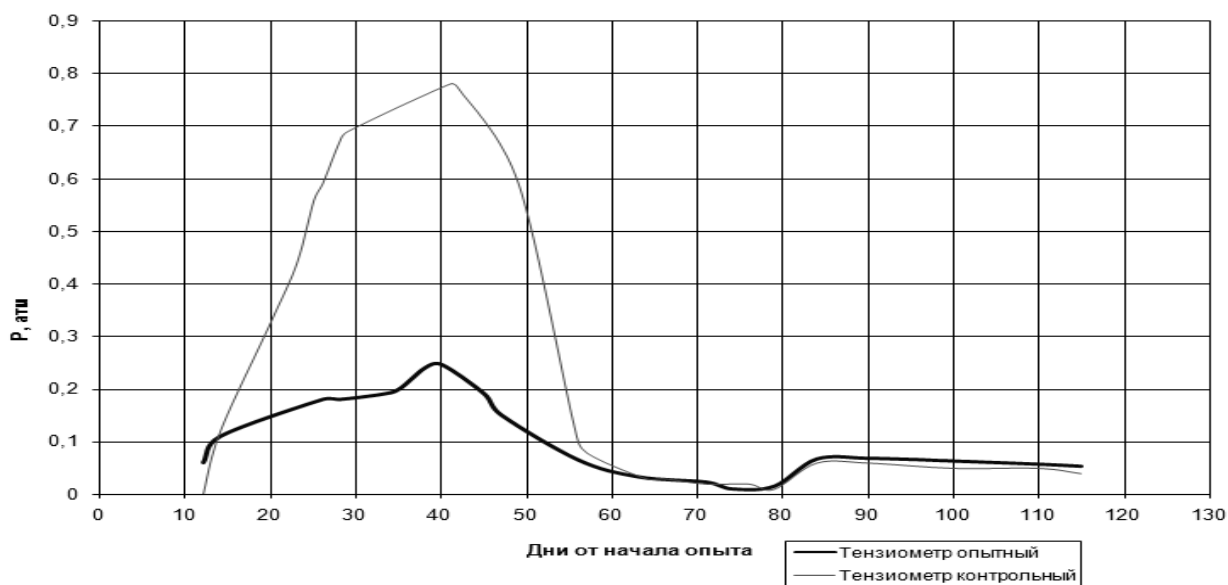


Рис. 3. Изменение ППВ на поливном и неполивном участках

Поступление воды на участки с цветной капустой в т/га

Таблица 4

Месяц	июль			август			сентябрь			сумма
Осадки	455			1008			366			1840
Полив опытного участка	553			1370						1923
Полив контрольного участка	202			1545						1747
Декада	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Осадки		390	65	54	391	563	154	212		
Полив опытного	25	25	503	854	516					
Полив контрольного	43	43	116	1545						

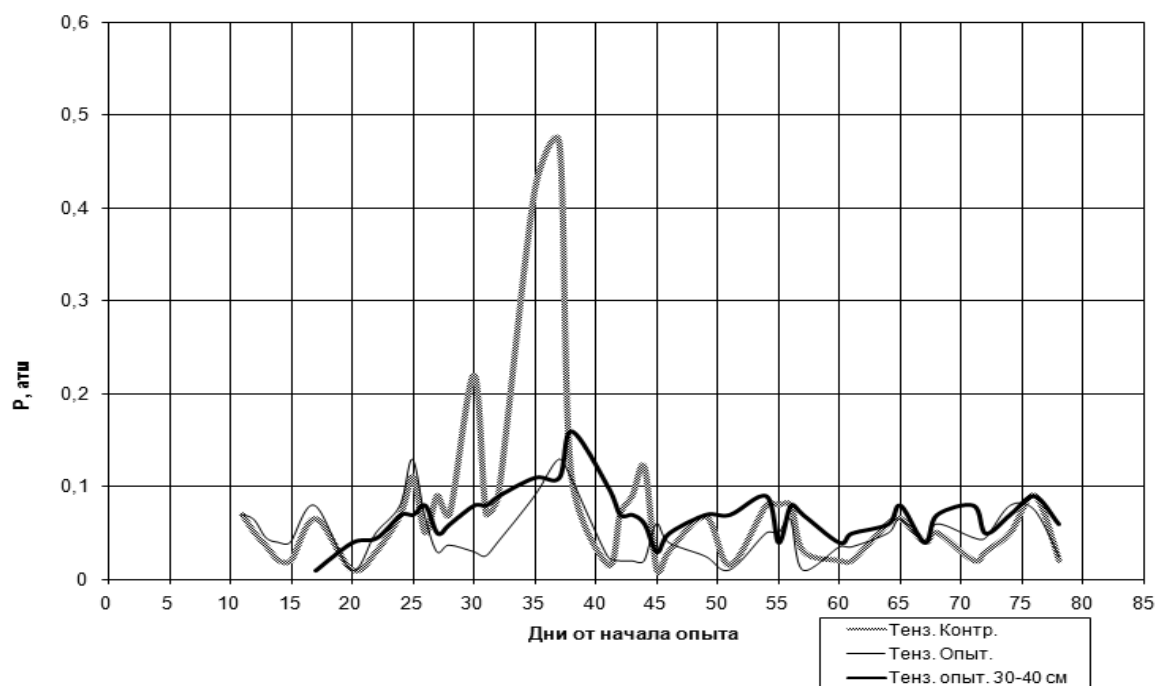


Рис. 4. Изменение ГПВ на участках с цветной капустой: опытный участок – автоматический капельный полив, контрольный участок – полив дождеванием по результатам измерения влажности почвы

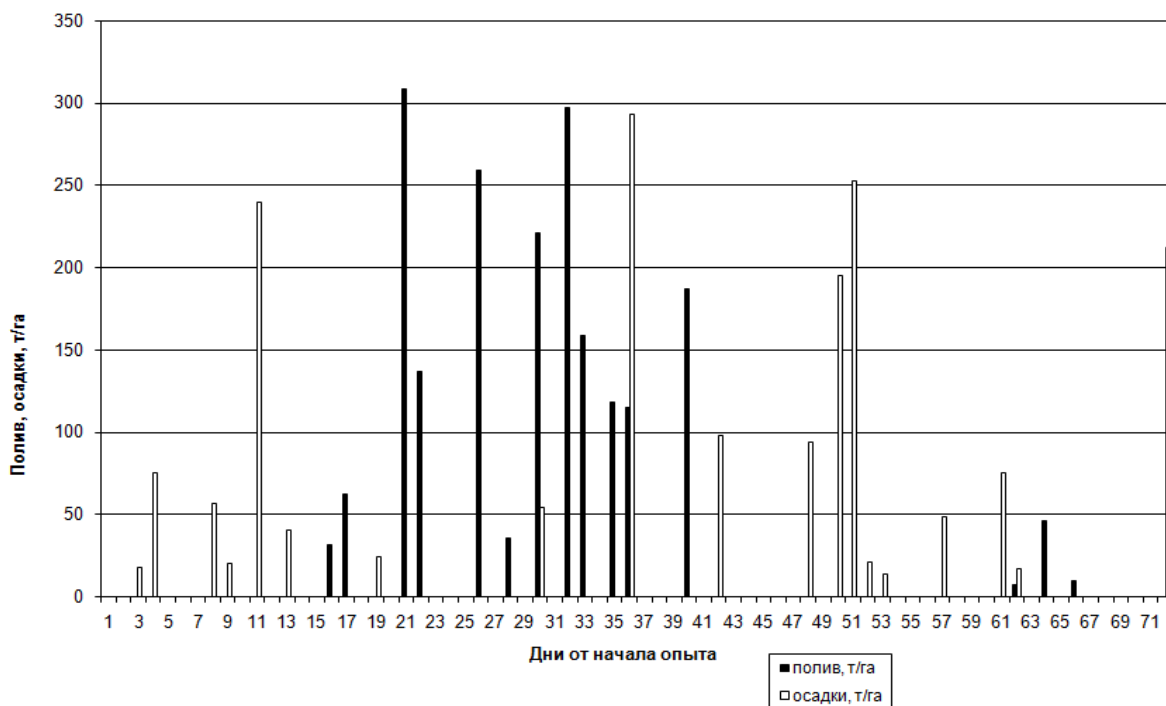


Рис. 5. Диаграмма поступления воды от осадков и поливов на опытном участке

На рисунке 5 приведена диаграмма поступления воды от осадков и поливов на опытном участке. В последующем поливная система использовалась на посадках кабачков. Трехлетний срок эксплуатации показал ее бесперебойную работу.

Выводы

Установлена возможность управления капельным поливом на основе применения протяженного емкостного датчика влажности. Датчик удобен в эксплуатации, надежен, дешев и долговечен, если его не

повредит почвообрабатывающий механизм. Перспективным был бы вариант, когда сначала на участке устанавливается оптимальный режим влажности, например, по показаниям тензиометров, затем включается в работу система с емкостным датчиком, которая в дальнейшем поддерживает этот установленный уровень влажности. Разработанные технические средства позволяют автоматизировать управление поливом на существующих оросительных системах. Экономический расчет показал, что использование системы управления поливом окупается в первый год эксплуатации за счет повышения урожайности. Возможно применение системы и в небольших хозяйствах, занятых производством плодоовощной продукции, где отсутствует лабораторное оборудование, ограничены водные ресурсы, ощущается нехватка рабочего времени. В этом случае квалифицированная рабочая сила может понадобиться только на установку и наладку оборудования.

Библиографический список

1. Костяков А.Н. Избранные труды. – М.: Сельхозиздат, 1961. – С. 42.
2. Илларионов А.Л. Единая система управления технологическими процессами в теплице // Теплицы России: информационный сборник. – 2002. – № 3. – С. 22-26.
3. Селезнев В.А. Применение капельного орошения в теплицах // Теплицы России: информационный сборник. – 2003. – № 1 – С. 39-41.
4. Шишкин П.В. Капельное орошение – технологии будущего // Теплицы России: информационный сборник. – 2002. – № 2. – С. 20-25.
5. Ванеян С.С., Меньших А.М. Режим орошения. Способы и техника полива овощных и бахчевых культур: руководство. – М., 2010. – С. 11-14, 77.
6. Егоров Ю.В., Галицкий В.И. Управление системой полива в теплицах с использованием кондуктометрического метода измерения влажности и датчиков из графитового волокна // Сб. научных трудов по овощеводству и бахчеводству. – М., 2011. – С. 315-318.
7. Дубовский Н.В. Изучение методов диагностики сроков полива цветной капусты в

условиях московской поймы // Сб. статей молодых ученых и аспирантов / НИИОХ. – М., 1979. – С. 95-99.

8. Древис М., Хольц И. Управление водным режимом овощных культур в теплицах. – М.: Колос, 1981. – С. 11.

9. Шоу Б. Физические условия почвы и растения. – М.: Иностранная литература, 1955. – С. 114-122, 120, 126.

10. Судницын И.И., Сидорова М.А., Васильева М.И., Егоров Ю.В., Пешке Г., Крюгер В. Влияние давления почвенной влаги на урожай растений // Биологические науки. – 1982. – № 7. – С. 33-39.

11. Судницын И.И., Сидорова М.А., Васильева М.И., Егоров Ю.В. Оптимизация водного режима почв // Научные доклады высшей школы. Сер. Биологические науки. – 1977. – № 11. – С. 127-138.

12. Слетчер Р. Водный режим растений. – М.: Мир, 1970. – С. 126-128.

13. Башилов С.М. и др. Емкостный датчик влажности. Авт. свидетельство № 2167414 МКЛ G01N 27/22; Бюл. изобретений № 14. 2001 г.

14. Егоров Ю.В., Кириченко А.В., Бобков А.В., Галицкий В.И. Использование диэлектрики на средних частотах для усредненной оценки влажности почвы // Почвоведение. – 2010. – № 2 – С. 206-211.

15. Егоров Ю.В., Судницын И.И., Галицкий В.И. Способ и устройство для автоматического управления поливом растений в теплице // Гавриш. – 2004. – № 3. – С. 23.

References

1. Kostyakov A.N. Izbrannyye trudy. – M.: Sel'khozizdat, 1961. – S. 42.
2. Illarionov A.L. Edinaya sistema upravleniya tekhnologicheskimi protsessami v teplitse // Teplitsy Rossii. Informatsionnyy sbornik. – 2002. – № 3. – S. 22-26.
3. Seleznev V.A. Primenenie kapel'nogo orosheniya v teplitsakh // Teplitsy Rossii. Informatsionnyy sbornik. – 2003. – № 1. – S. 39-41.
4. Shishkin P.V. Kapel'noe oroshenie – tekhnologii budushchego // Teplitsy Rossii. Informatsionnyy sbornik. – 2002. – № 2. – S. 20-25.
5. Vaneyan S.S., Men'shikh A.M. Rezhim orosheniya. Sposoby i tekhnika poliva

ovoshchnykh i bakhchevykh kul'tur: rukovodstvo. – М., 2010. – С. 11-14, 77.

6. Egorov Yu.V., Galitskiy V.I. Upravlenie sistemoy poliva v teplitsakh s ispol'zovaniem konduktometricheskogo metoda izmereniya vlazhnosti i datchikov iz grafitovogo volokna // Sb. nauchnykh trudov po ovoshchevodstvu i bakhchevodstvu. – М., 2011. – С. 315-318.

7. Dubovskiy N.V. Izuchenie metodov diagnostiki srokov poliva tsvetnoy kapusty v usloviyakh moskvoretskoy poymy // Sb. statey molodykh uchenykh i aspirantov. NIIOKh. – М., 1979. – С. 95-99.

8. Drevs M., Khol'ts I. Upravlenie vodnym rezhimom ovoshchnykh kul'tur v teplitsakh. – М.: Kolos, 1981. – С. 11.

9. Shou B. Fizicheskie usloviya pochvy i rasteniya. – М.: Inostrannaya literatura, 1955. – С. 114-122, 120, 126.

10. Sudnitsyn I.I., Sidorova M.A., Vasil'eva M.I., Egorov Yu.V., Peshke G., Kryuger V. Vliyanie davleniya pochvennoy vlagi na

urozhay rasteniy // Biologicheskie nauki. – 1982. – № 7. – С. 33-39.

11. Sudnitsyn I.I., Sidorova M.A., Vasil'eva M.I., Egorov Yu.V. Optimizatsiya vodnogo rezhima pochv // Nauchnye doklady vysshey shkoly. Ser. Biologicheskie nauki. – 1977. – № 11. – С. 127-138.

12. Sletcher R. Vodnyy rezhim rasteniy. – М.: Mir, 1970. – С. 126-128.

13. Bashilov S.M. i dr. Emkostnyy datchik vlazhnosti. Avt. svidetel'stvo № 2167414 MKL G01N 27/22. Byull. izobreteniy № 14, 2001 g.

14. Egorov Yu.V., Kirichenko A.V., Bobkov A.V., Galitskiy V.I. Ispol'zovanie diel'kometrii na srednikh chastotakh dlya usrednennoy otsenki vlazhnosti pochvy // Pochvovedenie. – 2010. – № 2. – С. 206-211.

15. Egorov Yu.V., Sudnitsyn I.I., Galitskiy V.I. Sposob i ustroystvo dlya avtomaticheskogo upravleniya polivom rasteniy v teplitse // Gavrish. – 2004. – № 3. – С. 23.



УДК 621.3.066.6 **О.Г. Бельчикова, А.А. Болтенков, Е.А. Сарсенбаев, В.П. Шерышев**
O.G. Belchikova, A.A. Boltenkov, Ye.A. Sarsenbayev, V.P. Sheryshev

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА

TRANSFER FUNCTION OF SMART SENSOR OF ELECTRICAL CONTACT SURFACE TEMPERATURE

Ключевые слова: микропроцессорный датчик, передаточная функция, температура контактной поверхности, электрический контакт, электрооборудование технологических комплексов.

Keywords: smart sensor, transfer function, contact surface temperature, electrical contact, electrical equipment for technological complexes.