

Научная статья
УДК 001:378.1
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-4-18-25>
EDN BWOJBP

Модернизация системы управления капельным поливом сельскохозяйственных культур

Елена Львовна Медянкина

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, mel292016@mail.ru*

Аннотация. В исследовании решается задача модернизации системы управления автоматическим поливом растений. Представлен проект модернизации на основе технологической схемы, работа которой не требует постоянного контроля, т. к. функционирует в заданном автоматическом режиме и при необходимости может быть запрограммирована на определенный срок (неделя, месяц), при этом настройка может выполняться дистанционно. Преимуществами предлагаемой системы являются регулирование циклов полива с выбором нормы расхода воды, времени и продолжительности полива; регулирование сектора полива (угла оросителя); возможность проведения разных циклов полива в течение одного дня; возможность перехода управления поливом в ручной режим; отсутствие зависимости от сбоев электропитания; эстетичный дизайн. Механические повреждения трубопроводов, входящих в систему, исключены, т. к. комплектующие изготовлены из влаго- и термостойких полимерных материалов. Реализация проекта предусматривает модернизацию системы автоматического управления поливом растений за счет внедрения модернизированного устройства контроля влажности почвы. Представлена схема разработанного датчика влажности почвы на автогенераторе. Рассмотрен принцип работы песочного фильтра, входящего в систему автоматического полива.

Ключевые слова: система управления автоматическим поливом, почва, автоматизация, датчик влажности, капельное орошение, фильтр, уровень воды, расход воды, унификация

Для цитирования: Медянкина Е. Л. Модернизация системы управления капельным поливом сельскохозяйственных культур // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 4. С. 18–25. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-4-18-25>. EDN BWOJBP.

Original article

Modernizing control system of drip irrigation of crops

Elena L. Medyankina

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, mel292016@mail.ru*

Abstract. The study solves the problem of modernizing the control system for automatic watering of plants. There is presented a modernization project based on a flowchart, the operation of which does not require constant monitoring, since it functions in a set automatic mode and, if necessary, can be programmed for a certain period (week, month), while the setting is performed remotely. The advantages of the proposed system are the regulation of irrigation cycles with the choice of water consumption rate, time and duration of irrigation; regulation of the irrigation sector (irrigation angle); the possibility of carrying out different watering cycles within one day; the ability to switch irrigation control to manual mode; no dependence on power failures; aesthetic design. Mechanical damage to the pipelines included in the system is not possible, since the components are made of moisture- and heat-resistant polymeric materials. The project implementation provides for the modernization of the automatic control system for watering plants through the introduction of a modernized soil moisture control device. A diagram of the developed soil moisture sensor on an autogenerator is presented. The principle of operation of the sand filter included in the automatic irrigation system is considered.

Keywords: automatic irrigation control system, soil, automation, moisture sensor, drip irrigation, filter, water level, water consumption, unification

For citation: Medyankina E. L. Modernizing control system of drip irrigation of crops. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics.* 2022;4:18-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-4-18-25>. EDN BWOJBP.

© Медянкина Е. Л., 2022

Введение

Если в почве недостаточно влаги для нормального роста растений, в первую очередь страдают недавно посаженные древесно-кустарниковые насаждения и растения с неглубокой корневой системой. Старые деревья, особенно плодовые, нуждаются в дополнительных поливах в сезон плодоношения, а глубокое проникновение воды в корневую зону играет жизненно важную роль для сохранения здоровья растений в течение длительного времени. Графики полива для различных культур в зависимости от климатических условий различны. Быстрота и глубина проникновения воды зависит от структуры почвы. Интенсивность и частота поливов также зависят от многих факторов, в том числе от погоды, вида растений, типа почвы, а также от графика собственника приусадебного участка и дизайна ландшафта. Ветер и температура воздуха обуславливают дополнительные потребности растений в воде.

Современным и удобным способом решения проблем ухода за садом является использование системы автоматизированного полива выращиваемых культур. Ее главным преимуществом является безупречное и качественное орошение зеленых насаждений, которого невозможно добиться ручным способом.

Объектами исследования являются система управления автоматическим поливом и датчик влажности грунта.

Целью данного проекта является модернизация системы управления автоматическим поливом растений на основе модернизированного датчика контроля влажности почвы. Основными критериями при раз-

работке датчика контроля являлись низкая стоимость, надежность, простота настройки прибора.

Методы и результаты исследования

Автоматический полив с применением капельного орошения наиболее экономичен и эффективен в растениеводстве, с преимущественно линейной схемой посадки [1].

Капельное орошение является радикальным средством повышения урожайности в условиях маловодья и завоевало популярность во всех климатических зонах [2]. Принцип капельного орошения заключается в том, что вода поступает в корневую зону растений равномерно в одинаковых малых дозах, при этом ее количество и частота подачи зависят от потребности растений, поэтому расход воды и энергии при капельном орошении в 2–5 раз меньше, чем при других методах полива [3]. Кроме того, количество внесенных минеральных удобрений, растворенных в воде, сокращается в 3–4 раза. Рацион удобрений рассчитывается в соответствии с сезонными потребностями растений. При необходимости полива растений, выращиваемых по линейной схеме посадки, капельницы встраиваются непосредственно в магистральную трубу. Также капельницы могут присоединяться к отдельной тонкой трубке, являющейся ответвлением основной трубы.

Модернизированная система, технологическая схема которой представлена на рис. 1, может работать в заданном автоматическом режиме, не требуя дополнительного вмешательства.

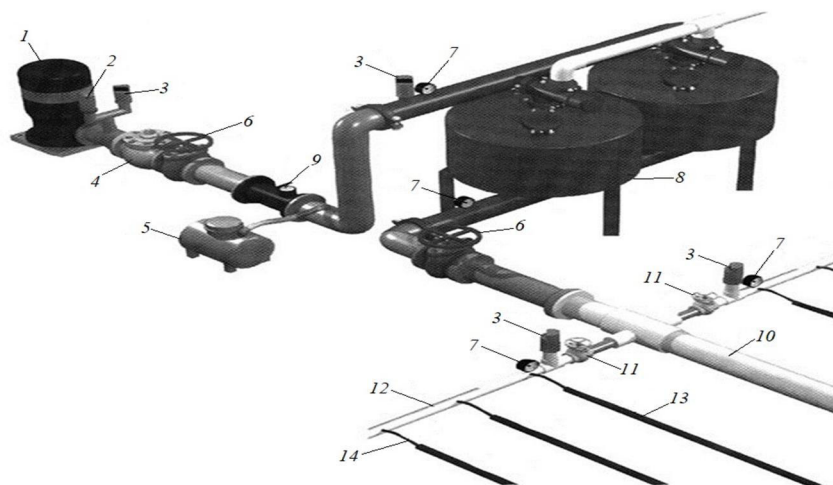


Рис. 1. Технологическая схема капельной системы орошения: 1 – насосный модуль; 2 – автоматический предохранительный клапан; 3 – автоматический клапан-воздухоотводчик; 4 – гидравлический клапан регулировки давления; 5 – емкость для подмеса удобрений; 6 – главный клапан или задвижка; 7 – манометр; 8 – фильтровальная установка; 9 – счетчик воды; 10 – главная магистраль; 11 – клапан или задвижка на линии; 12 – боковые магистрали (LAY FLAT, ПНД, ПВХ); 13 – капельная лента; 14 – труба ПВД

Fig. 1. Flowchart of the drip system: 1 – pumping module; 2 – automatic safety valve; 3 – automatic air vent valve; 4 – hydraulic pressure control valve; 5 – container for mixing fertilizers; 6 – main valve or gate valve; 7 – manometer; 8 – filtering unit; 9 – water meter; 10 – main water line; 11 – valve on the line; 12 – side lines (LAY FLAT, LPP (low-pressure polyethylene), HPP (high-pressure polyethylene)); 13 – drip tape; 14 – HPP pipe

При необходимости можно вручную или дистанционно настроить автоматический режим и запрограммировать полив на неделю, месяц вперед. Также возможно регулирование всех циклов полива: есть возможность установки нормы расхода воды, времени и продолжительности полива, возможность регулирования сектора полива, т. е. регулировка угла оросителя (обычно орошение происходит под углом $25\text{--}360^\circ$) для полива самих растений, а не окружающих построек, возможность проведения разных циклов полива в течение одного дня и возможность перехода в режим ручного управления поливом. Программа работает даже при отключении питания. Коммуникации системы прокладываются под землей на глубине 30–40 см, оросители выдвигаются и опускаются под землю в установленное программой время. Все это не портит окружающий ландшафт, исключает механические повреждения тру-

бопроводов. Система оснащена датчиками дождя, мороза и ветра, что позволяет им реагировать на резкую перемену погоды. Система экономична как по потреблению электроэнергии, так и по расходу воды и может безотказно функционировать в течение многих лет, т. к. ее комплектующие изготовлены из влаго- и термостойких полимерных материалов.

В последнее время выбрать продукцию производителя системы капельного орошения (в основном производителя поливной трубки) не составляет труда, т. к. более 20 компаний в мире выпускают подобную продукцию [4].

Для определения затрат на внедрение капельного орошения необходимо разработать проект и составить смету на конкретный участок [5]. Также важно правильно подобрать фильтрующее оборудование [6].

На рис. 2 показан фильтрующий блок.

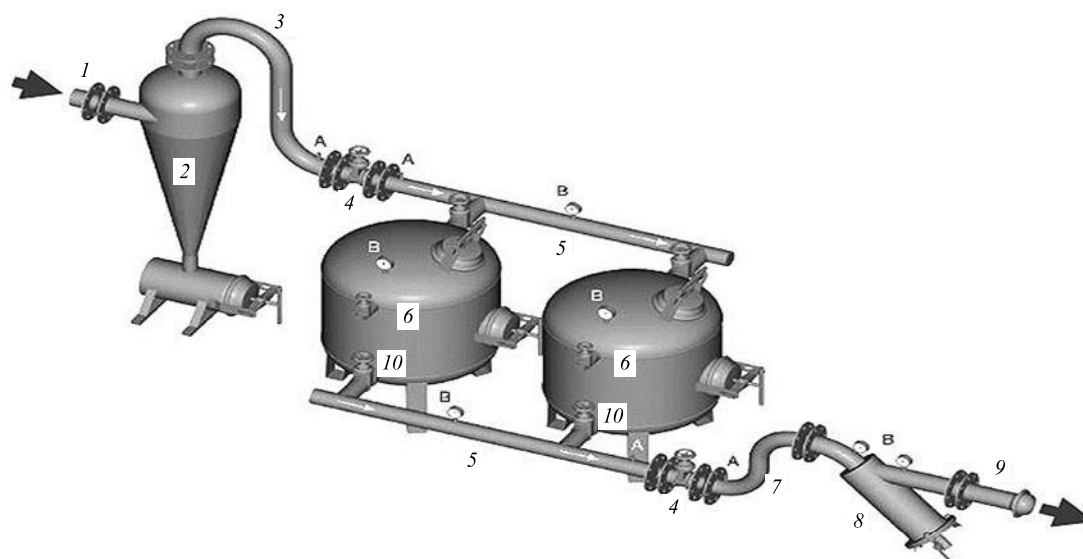


Рис. 2. Фильтровальная установка: 1 – вход; 2 – отделитель песка – гидrocиклон или центробежный сепаратор; 3 – входной трубопровод; 4 – вентиль или задвижка; 5 – коллектор фильтров (если их несколько); 6 – фильтр песочный; 7 – выходной трубопровод (ввод удобрений осуществляется именно в этом месте); 8 – фильтр тонкой очистки; 9 – очищенная вода для полива

Fig. 2. Filtration unit: 1 – input; 2 – sand separator – hydrocyclone or centrifugal separator; 3 – inlet pipeline; 4 – valve or shutter; 5 – filter collector (if many filters); 6 – sand filter; 7 – outlet pipeline (fertilizers are introduced exactly through it); 8 – fine filter; 9 – purified water for irrigation system

Размер фильтров и степень фильтрации строго индивидуальны. В процессе эксплуатации возможно уточнение этих параметров в зависимости от времени года и погоды [7].

Для удаления песка и других механических частиц с удельным весом более $1,5\text{ г/см}^3$ применяется принцип центробежного потока. Это первая стадия очистки в качестве предварительной фильтрации. Для правильной работы необходимо, чтобы перепад давления между входом и выходом был более 6–7 м (0,6–0,7 бар) [3].

В основе работы песочного фильтра – принцип противоточной фильтрации. Вода поступает на верхнюю поверхность фильтрующего гравия, очищается, проходя через него, а затем поступает через диффузоры в магистральный трубопровод и далее в систему. Все примеси, находящиеся в воде, задерживаются в гравийном слое. В случае сильного засорения фильтр промывают обратным током чистой воды до полной очистки. Различают однокамерные и двухкамерные фильтры (рис. 3, 4).

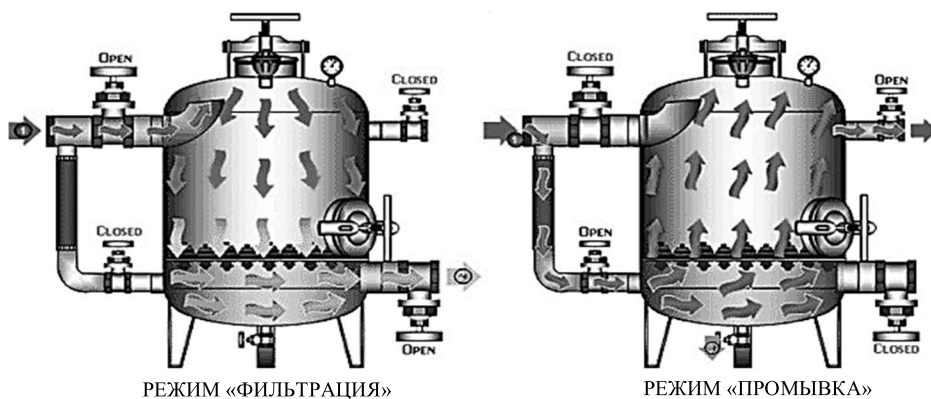


Рис. 3. Однокамерный фильтр [7]

Fig. 3. Unicameral filter [7]

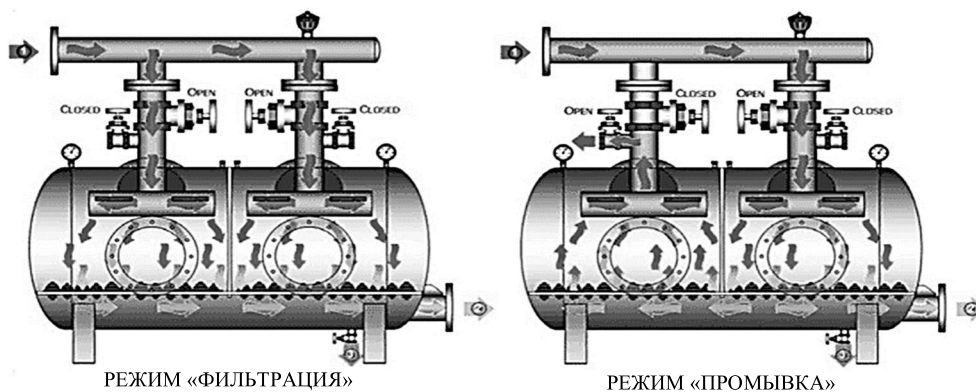


Рис. 4. Двухкамерный фильтр [7]

Fig. 4. Bicameral filter [7]

Структурная схема системы автоматизированного полива представлена на рис. 5.

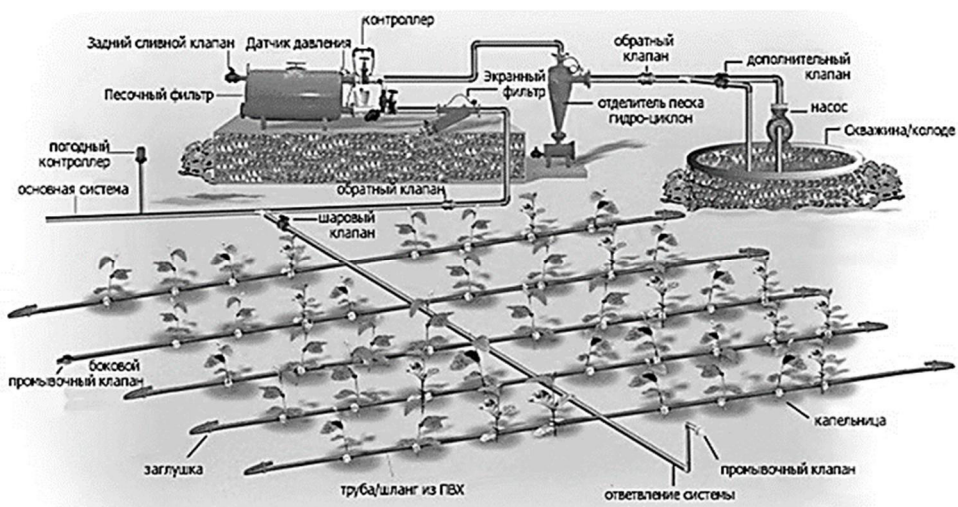


Рис. 5. Структурная схема системы автоматизированного полива

Fig. 5. Structural chart of automated irrigation system

Основными технологическими параметрами, подлежащими контролю и регулированию, являются уровень и расход воды. В качестве основных технических средств обычно используются стандартные устройства:

- для измерения уровня воды используется прибор типа ContransPAMD 220;
- для измерения расхода воды целесообразно использовать ультразвуковой расходомер;
- для интенсификации полива используются датчики, устройство которых связано с методами контроля влажности почвы [8].

Работа описываемых в литературе датчиков влажности почвы, как правило, основана на измерении сопротивления между контактами зонда, помещенными в контролируемую среду (например, в почву), при этом сопротивление почвы может периодически увеличиваться, а затем уменьшаться, а периоды этих колебаний могут быть довольно

большими, да и для разных видов растений требуется иногда индивидуальный состав почвы, поэтому разработка приборов, работающих по принципу измерения сопротивления почвы постоянному току, как показывают опыты, несостоятельна. Кроме того, емкостной метод контроля состояния почвы на дачном участке недостаточно эффективен, что связано с перемещением по территории людей и животных, являющихся источниками ложных срабатываний прибора. Индуктивный контроль состояния почвы, по сравнению с емкостным методом измерения электрического сопротивления, позволяет быстро реагировать на изменение влажности [9]. Но у индуктивных промышленных датчиков влажности высокая стоимость.

В предлагаемой нами системе используется модернизированный датчик контроля влажности почвы, схема которого представлена на рис. 6.

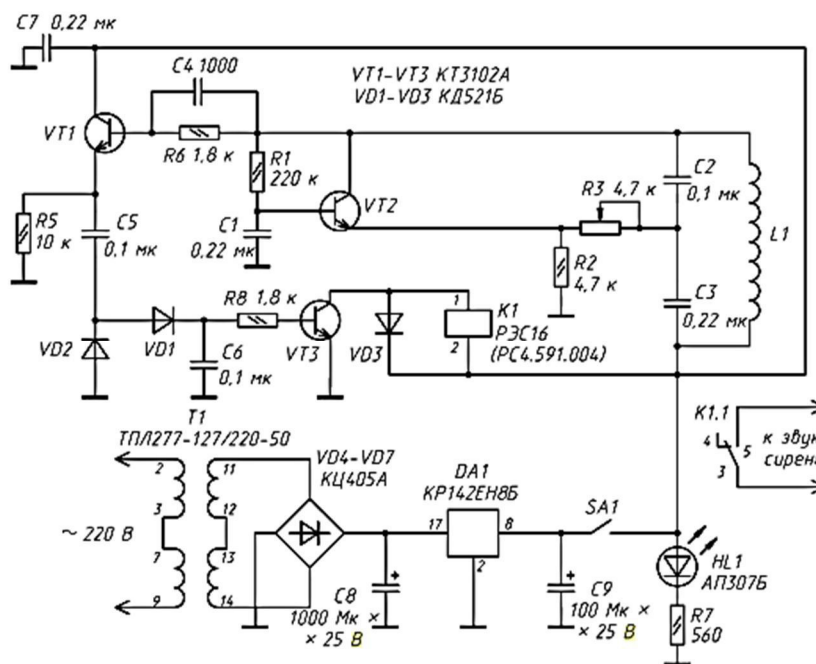


Рис. 6. Датчик контроля влажности почвы на автогенераторе

Fig. 6. Soil moisture sensor on the autogenerator

В представленной схеме управление нагрузкой осуществляется посредством генератора частоты звукового диапазона, катушка которого ($L1$) размещена в грунте. Устройство реагирует на проводимость звуковых волн во влажной и сухой среде. Степень увлажнения почвы определяется величиной поглощения энергии в земевике.

Транзистор $VT2$, катушка индуктивности $L1$ и конденсаторы $C2$, $C3$ образуют автогенератор. Колебания возбуждаются на частоте около 16 кГц. При сухом грунте или размещении катушки $L1$ вне

влажной среды генерация происходит нормально, т. е. амплитуда импульсов на коллекторе транзистора $VT2$ около 3 В, резистор $R4$ совместно с конденсатором $C4$ пропускают импульсы автогенератора на резонансной частоте. Без него чувствительность прибора недостаточна. Транзистор $VT1$, включенный по схеме эмиттерного повторителя, снижает влияние цепей нагрузки на работу генератора. Диоды $VD1$, $VD2$ преобразуют импульсы автогенератора в постоянный ток, который задает смещение на базе ключевого транзистора $VT3$. Им-

пульсы автогенератора, усиленные транзистором $VT2$, проходят через разделительный конденсатор $C5$ (он не пропускает постоянную составляющую напряжения), выпрямляются диодами $VD1$, $VD2$ и открывают транзистор $VT3$, в результате чего срабатывают реле и сигнализация (сигнальное устройство на схеме не показано). Как только выходное напряжение генератора становится достаточным для открытия транзистора $VT3$, им включается реле $K1$. Если амплитуда импульсов автогенератора на коллекторе транзистора $VT2$ мала (менее 1 В), что свидетельствует о влажной среде вокруг $L1$, транзистор $VT1$ не открывается, а напряжение смещения на базе $VT3$ в этом случае недостаточно для включения реле, т. е. реле обесточено. По нагрузке устройства датчик может использовать также водяной насос с питанием от сети 220 В. В этом случае контакты реле $K1$ должны коммутировать мощное реле на соответствующее напряжение, например, МКУ-48С, а оно своими контактами будет подавать напряжение на насос. Диод $VD3$ препятствует броскам обратного тока через переход эмиттер-коллектор $VT3$ в моменты включения или выключения реле. Чувствительность генератора к изменению влажности почвы устанавливается переменным резистором $R3$ (типа СП5-3).

На практике установлено, что кроме влажности на колебания генератора с катушкой $L1$, помещенной в почву, влияют также глубина расположения катушки и температура почвы.

Таким образом, путем добавления в схему датчика влажности почвы дополнительного переходного процесса и унифицированного индуктора удалось реализовать корректно работающее устройство, обеспечивающее контроль и регулирование влажности почвы с учетом особенностей возделываемых культур. Размеры катушки индуктивности позволяют использовать прибор на приусадебном участке с любым составом почвы в любой климатической зоне при оптимальной глубине ее погружения на 45–55 см.

При изготовлении оборудования, в том числе при создании систем автоматического управления и регулирования, приборов, датчиков, программаторов, исполнительных механизмов и вспомогательных устройств, могут применяться различные детали следующих типов: стандартизированные, заимствованные, покупные и оригинальные. Чем меньше оригинальных деталей, тем проще и дешевле будет создана система, т. е. высокий коэффициент унификации определяет степень технологичности системы, минимальную экономию затрат. Математически это выражается формулой

$$K_{y.тр} = \frac{\sum_{y.тр}}{\sum_{об.тр}} 100 \%,$$

где $K_{y.тр}$ – коэффициент унификации типоразмеров; $\sum_{y.тр}$ – сумма всех унифицированных типоразмеров, $\sum_{y.тр} = \sum_{ст} + \sum_3 + \sum_{п}$, где $\sum_{ст}$ – стандартные типоразмеры, \sum_3 – заимствованные типоразмеры, $\sum_{п}$ – покупные типоразмеры; $\sum_{об.тр}$ – сумма всех типоразмеров, применяемых в изготовлении системы.

Согласно схеме расположения элементов представленной системы к унифицированным элементам следует отнести:

- насос;
- электродвигатель привода насоса;
- пульт управления, водомер, вентиль, клапан, угольники, тройники, заглушки, электромагнитный клапан, разбрызгиватель, форсунки, переходники.

К оригинальным элементам, изготавливаемым при монтаже, относятся трубы и патрубки, размер которых определяется при монтаже системы, их количество около 20. Отсюда

$$K_{y.тр} = \frac{\sum_{y.тр}}{\sum_{y.тр} + \sum_0} = \frac{50}{50 + 20} = 72 \%,$$

где \sum_0 – сумма оригинальных типоразмеров, специально изготавливаемых при монтаже системы. Таким образом, коэффициент унификации нашей системы составляет 72 %, что для системы разводки, зависящей от рельефа участка, является достаточным.

Сборка и отладка прибора

Элементы устройства закреплены на монтажной пластине размером 50 × 70 мм. «Начинка» смонтирована в металлическом корпусе. Корпус устройства должен быть влагонепроницаемым. Внутри корпуса находится блок питания с понижающим трансформатором и стабилизатором с выходным напряжением 12 В, само устройство контроля влажности и дополнительная схема звуковой сигнализации. Светодиод указывает на режим «Включено». Тумблер обеспечивает питание схемы. На торцевой стенке смонтирован разъем, соединяющий элементы схемы с сетью питания напряжением 220 В, проводами катушки $L1$ и устройством звуковой сигнализации. Двигатель переменного резистора через отверстие в корпусе должен быть доступен для корректировки снаружи. Катушка $L1$ размещена на пластиковом каркасе длиной 30 см с наружным диаметром 100 мм и содержит 250 витков провода марки ПЭ/1 или ПЭВ диаметром 1 мм, намотанного виток к витку. Сверху намотка закрепляется двойным слоем изоляционной ленты.

Первый этап настройки прибора подразумевает установку порога чувствительности. Для этого катушку индуктивности $L1$ помещают в сухую поч-

ву, например в глубокий цветочный горшок, на глубину 20–30 см, подают питание в цепь устройства с подключенным блоком звуковой сигнализации. При изменении сопротивления переменного резистора $R3$ включается реле $K1$, срабатывает сигнализация. Оптимальному положению двигателя $P3$ соответствует устойчивая работа устройства.

После установки порога чувствительности переходят ко второму этапу настройки – увлажняют почву в месте срабатывания катушки $L1$, для чего на пробный участок земли выливают 2–3 л воды и проверяют работу датчика контроля.

Заключение

Проанализирована проблема автоматизации полива сельскохозяйственных культур, выявлены

проблемные места существующей системы управления автоматическим поливом растений и представлен проект ее модернизации за счет внедрения модернизированного датчика контроля влажности почвы, который позволит контролировать уровень влажности почвы в реальном времени.

В ходе выполнения данного исследования система измерения влажности почвы была испытана на сельскохозяйственных полях тепличного хозяйства Южного филиала ООО «Газпромэнерго». Результаты проведенных экспериментальных исследований подтверждают, что модернизированная таким образом система управления автоматическим поливом растений обеспечивает контроль и регулирование влажности почвы с учетом особенностей возделываемых культур.

Список источников

1. Автополив в теплице. URL: <https://teplica-exp.ru/avtopoliv-v-teplice/> (дата обращения: 15.11.2021).
2. Капельное орошение: практика применения. URL: <https://webferma.com/rastenievodstvo/sistemi-orosheniya/kapelnij-poliv.html> (дата обращения: 26.11.2021).
3. Система капельного орошения с модулем активации оросительной воды. URL: <https://findpatent.ru/patent/241/2410869.html> (дата обращения: 25.11.2021).
4. Капельный полив. Виды, плюсы, минусы и цена капельного полива. URL: <https://cadiogorod.ru/kapelnij-poliv-vidy-plyusy-minusy-i-cena-kapelnogo-poliva/> (дата обращения: 15.10.2021).
5. Виды автополива. URL: <http://умный полив.rf/stati/51/vidy-avtopoliv.html> (дата обращения: 15.10.2021).

6. Балакай Г. Т., Воеводина Л. А., Снопич Ю. Ф. и др. Безопасные системы и технологии капельного орошения: моногр. М.: Изд-во Мелиоводинформ, 2010. 52 с.
7. Ольгаренко Г. В., Городничев В. И., Алдошкин А. А. Ресурсосберегающие эффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. М.: Изд-во Росинформагротех, 2015. 264 с.
8. Комиссаров А. А., Курочкин В. В., Саенко Н. Ю. Автоматизированная система управления капельным поливом. URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/12\(52\)](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/12(52)) (дата обращения: 15.02.2022).
9. Головки С. В., Егоров А. Н., Романенко Н. Г. Разработка и реализация системы управления установкой импульсного аэрозольного распылителя // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. № 3. С. 7–14.

References

1. *Avtopoliv v teplitse* [Automatic watering in greenhouse]. Available at: <https://teplica-exp.ru/avtopoliv-v-teplice/> (accessed: 15.11.2021).
2. *Kapel'noe oroshenie: praktika primeneniia* [Drip irrigation: application practice]. Available at: <https://webferma.com/rastenievodstvo/sistemi-orosheniya/kapelnij-poliv.html> (accessed: 26.11.2021).
3. *Sistema kapel'nogo orosheniia s modulem aktivatsii orositel'noi vody* [Drip irrigation system with irrigation water activation module]. Available at: <https://findpatent.ru/patent/241/2410869.html> (accessed: 25.11.2021).
4. *Kapel'nyi poliv. Vidy, pliusy, minusy i tsena kapel'nogo poliva* [Drip irrigation. Types, pros and cons, and cost of drip irrigation]. Available at: <https://cadiogorod.ru/kapelnij-poliv-vidy-plyusy-minusy-i-cena-kapelnogo-poliva/> (accessed: 15.10.2021).
5. *Vidy avtopoliva* [Types of automatic watering]. Available at: <http://umnyi-poliv.rf/stati/51/vidy-avtopoliv.html> (accessed: 15.10.2021).
6. Balakai G. T., Voevodina L. A., Snopich Iu. F. i dr. *Bezopasnye sistemy i tekhnologii kapel'nogo orosheniia:*

- monografiia* [Safe systems and technologies of drip irrigation: monograph]. Moscow, Izd-vo Meliovodinform, 2010. 52 p.
7. Ol'garenko G. V., Gorodnichev V. I., Aldoshkin A. A. *Resursosberegaiushchie effektivnye ekologicheski bezopasnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva orosheniia: spravochnik* [Resource-saving efficient environmentally friendly technologies and irrigation equipment: reference book]. Moscow, Izd-vo Rosinformagrotekh, 2015. 264 p.
8. Komissarov A. A., Kurochkin V. V., Saenko N. Iu. *Avtomatizirovannaia sistema upravleniia kapel'nyim polivom* [Automated drip irrigation control system]. Available at: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/12\(52\)](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/12(52)) (accessed: 15.02.2022).
9. Golovko S. V., Egorov A. N., Romanenko N. G. *Razrabotka i realizatsiia sistemy upravleniia ustanovkoi impul'snogo aerozol'nogo raspylitelia* [Development and implementation of control system for pulsed aerosol sprayer]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naia tekhnika i informatika*, 2016, no. 3, pp. 7-14.

Информация об авторе / Information about the author

Елена Львовна Медянкина – кандидат педагогических наук; доцент кафедры автоматизации и управления; Астраханский государственный технический университет; mel292016@mail.ru

Elena L. Medyankina – Candidate of Sciences in Pedagogy; Assistant Professor of the Department of Automation and Control; Astrakhan State Technical University; mel292016@mail.ru

