

Научная статья

Original article

УДК 631.347.3

DOI 10.55186/25880209\_2025\_9\_6\_27

Научная специальность 4.1.5 «Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика»

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
ОРОШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ**  
IMPROVEMENT OF A COMBINED IRRIGATION SYSTEM BASED ON  
REMOTE CONTROL OF SPRINKLING MACHINES



**Рязанцев Анатолий Иванович**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник отдела систем орошения дождеванием, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ Коломна, посёлок Радужный, 38), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9829-8196>, [ryazantsev.41@mail.ru](mailto:ryazantsev.41@mail.ru)

**Мищенко Николай Андреевич**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ Коломна, посёлок Радужный, 38), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6002-5202>, [mishenko.nikolai@bk.ru](mailto:mishenko.nikolai@bk.ru)

**Травкин Владислав Сергеевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела сельскохозяйственного водоснабжения, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (140483, Россия, г. Коломна, городской округ

Коломна, посёлок Радужный, 38), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1052-0125>, vlad.travkin.1992@mail.ru

**Евсеев Евгений Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем, теории и методики образовательных процессов ГОУ ВО МО «Государственный социально-гуманитарный университет» (140411, Россия, г. Коломна, ул. Зеленая, д. 30) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6133-2661>, evseev.evgeniy.1995@mail.ru

**Anatoly I. Ryazantsev**, Doctor of technical sciences, professor, honored scientist of the Russian Federation, chief researcher at the department of sprinkler irrigation systems, Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply "Raduga" (38, Raduzhny settlement, Kolomna urban district, Kolomna, 140483 Russia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9829-8196>, ryazantsev.41@mail.ru

**Nikolai A. Mishenko**, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher at the Department of Agricultural Water Supply, Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply «Raduga» (38, Raduzhny Settlement, Kolomna, Kolomna Urban District, 140483 Russia), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6002-5202>, mishenko.nikolai@bk.ru.

**Vladislav S. Travkin**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Department of Agricultural Water Supply, Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply «Raduga» (38, Raduzhny Settlement, Kolomna, Kolomna Urban District, 140483 Russia), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1052-0125>, vlad.travkin.1992@mail.ru

**Evgeny Yu. Evseev**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes at the State Social and Humanitarian University (30, Zelenaya Street, Kolomna, 140411 Russia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6133-2661>, evseev.evgeniy.1995@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена устранению основного эксплуатационного недостатка технологического процесса полустационарных дождевальных систем, заключающегося в ручном способе переключения дождевальных аппаратов. Для этого был проведен сравнительный анализ существующих технических решений для дистанционного управления поливом, в результате которого было выявлено, что на сегодняшний день наиболее перспективным и экономически целесообразным является радиоуправление. Разработка автоматизированной системы управления поливом (АСУП) на основе радиопередачи велась с учётом основных критериев, среди которых скорость обмена данными не более 1 с, дальность устойчивой связи не менее 2000 м и количество обслуживаемых устройств на один блок управления не менее 200 шт. На основании описанных критериев была разработана конструктивная схема АСУП, состоящая из управляющего и приемных узлов. В состав управляющего узла входит блок управления с функциями программирования и передачи команд, размещённый на центральной башне. Приемный узел включает блок управления с аккумуляторной батареей, закреплённый на стойке-штативе, и электромагнитный клапан, заменяемый дисковый затвор. Подобрана компонентная база блока управления, включающая микроконтроллер, радиомодуль, дисплей, клавиатуру и антенну. В приёмном узле дополнительно устанавливается электромеханическое реле для коммутации цепи питания электромагнитного клапана. Описан алгоритм работы АСУП, заключающийся в попеременном переключении дождевальных аппаратов. Он реализуется путём передачи команд от управляющего блока конкретному приёмному модулю на открытие или закрытие клапана, регулирующего подачу воды. Автономность разработанной системы составляет не менее 150 дней при дальности передачи сигнала до 6000 м. Модернизация ПС при внедрении АСУП не требует высоких материальных затрат благодаря адаптивности её конструктивных решений, при этом существенно снижает трудозатраты в сравнении с ручным типом переключения.

**Abstract.** The article is devoted to eliminating the main operational drawback of the technological process of semi-stationary sprinkler systems, which lies in the manual

switching of irrigation nozzles. For this purpose, a comparative analysis of existing technical solutions for remote irrigation control was conducted, revealing that radio control is currently the most promising and economically feasible approach. The development of an automated irrigation control system (AICS) based on radio transmission was carried out taking into account the key criteria, including a data exchange rate of no more than 1 second, a stable communication range of at least 2000 meters, and the capacity to manage no fewer than 200 devices from one control unit. Based on the described criteria, a structural layout of the AICS was developed, consisting of a control unit and receiver nodes. The control unit includes a programming and command transmission module mounted on the central tower. A receiver node comprises a control module with a battery pack, fixed on a support tripod, and an electromagnetic valve replaceable with a disc shutter. The component base for the control module was selected, including a microcontroller, radio module, display, keyboard, and antenna. An electromechanical relay for switching the power circuit of the solenoid valve is additionally installed in the receiver node. The operating algorithm of the AICS, involving the sequential switching of sprinklers, is described. It is implemented by transmitting commands from the control unit to a specific receiver module to open or close the water supply regulating valve. The developed system provides autonomy for at least 150 days with a signal transmission range of up to 6000 meters. Modernizing semi-stationary systems with the AICS does not require high capital costs due to the adaptability of its design solutions, while significantly reducing labor input compared to manual switching.

**Ключевые слова:** орошение, дождевание, широкозахватные дождевальные машины, технология полива, полустационарные системы, автоматизация, радиуправление, радиомодуль

**Keywords:** irrigation, sprinkling, wide-span sprinkler machines, irrigation technology, semi-stationary systems, automation, radio control, radio module

**Введение.** На сегодняшний день наиболее распространённым методом орошения остаётся дождевание с применением круговых широкозахватных дождевальных машин (ШДМ), составляющих порядка 80% всего парка

дождевальная техника в России [12]. В связи с этим проблема снижения эффективности полива из-за низкого коэффициента земельного использования (КЗИ), обусловленного круговой технологией работы ШДМ, является как никогда актуальной.

Для решения этой задачи в рамках государственного задания №082-00053-24-00 отделом сельскохозяйственного водоснабжения ФГБНУ ВНИИ «Радуга» ведутся исследования по разработке комплекса технических и технологических решений для повышения КЗИ и эффективности применения ШДМ. По результатам промежуточного отчёта 2024 года было разработано технико-технологическое решение, повышающее КЗИ при поливе ШДМ за счёт комбинирования с полустационарной системой (ПС).

Комбинированная система включает круговую ШДМ, подземные магистральные и поливные полиэтиленовые трубопроводы, подключаемые к напорному трубопроводу центральной башни ШДМ, а также гидранты, выведенные на неорошаемых угловых участках. На гидранты устанавливаются стойки-штативы с дальнеструйными дождевальными аппаратами. Подача воды в систему и к аппаратам регулируется дисковыми затворами.

Несмотря на то, что комбинированная система повышает эффективность полива ШДМ, увеличивая КЗИ до 98%, она обладает существенным недостатком, а именно повышенными трудозатратами из-за того, что открытие и закрытие гидрантов осуществляется вручную посредством дискового затвора. Таким образом, полив ПС подразумевает перемещение оператора между гидрантами по вязкой после орошения почве под работающими дождевальными аппаратами. Очевидно, что подобные эксплуатационные особенности не отвечают требованиям современных оросительных систем.

В связи с вышеизложенным, для устранения имеющегося эксплуатационного ограничения требуется совершенствование комбинированной системы, путём автоматизации переключения гидрантов, обеспечивающей исключение ручного труда.

**Материалы и методы.** Основой для исследования послужило разработанное технико-технологическое решение комбинированной

оросительной системы, основным эксплуатационным ограничением которой является ручное переключение между гидрантами с дождевальными аппаратами.

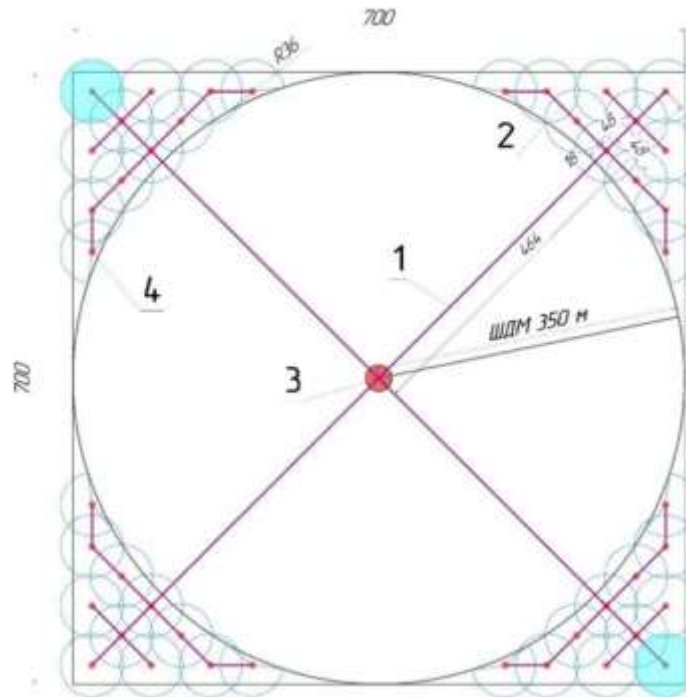
Для выбора оптимального направления совершенствования был проведён сравнительный анализ существующих технических решений для дистанционного управления поливом из архивов разработок ФГБНУ ВНИИ «Радуга» в период с 1960 по 1986 годы, также изучались современные комбинированные системы автоматизации зарубежных производителей оборудования для капельного орошения.

По результатам анализа была сформулирована конструкторско-технологическая концепция построения системы автоматизации на базе беспроводных радиомодулей с автономным питанием. С помощью платформы Fritzing разработана структурная схема и подобрана элементная база устройств приёма-передачи данных.

**Результаты.** Рассмотрим общую и конструктивно-компоновочные схемы узлов комбинированной оросительной системы на примере ШДМ с длиной 350 м представленные на рисунках 1 и 2.

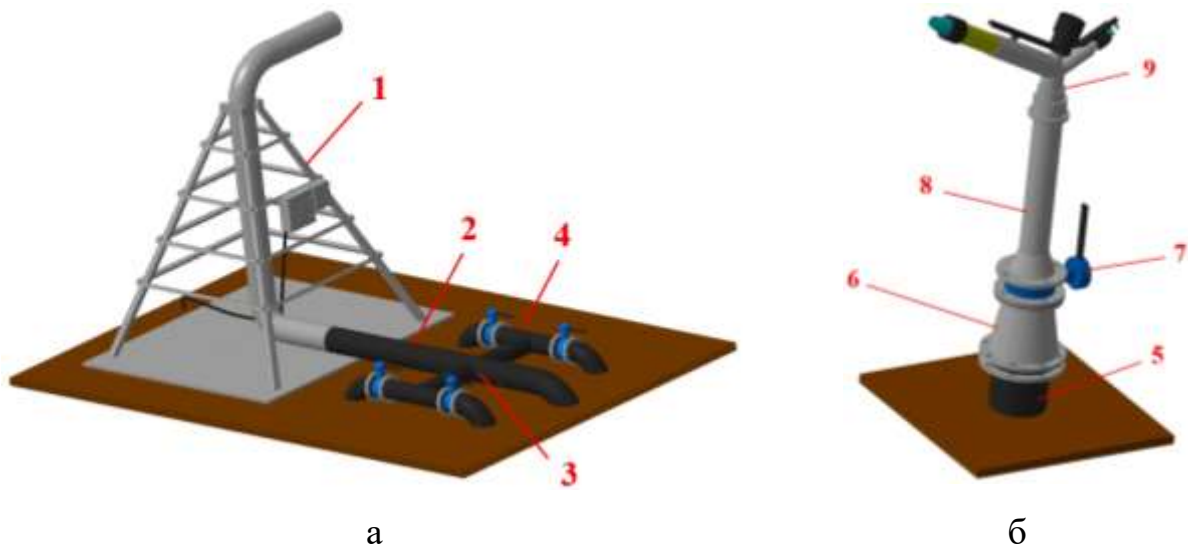
Узел подключения ПС к центральной башне ШДМ включает набор полиэтиленовых фитингов (тройники, отводы, втулки) и дисковые затворы для регулирования подачи воды. На гидрант комбинированной системы крепится стальной переход и стойка штатив с дождевальным аппаратом, между ними также устанавливается дисковый затвор, высота конструкции в смонтированном состоянии не превышает 1,5 м.

Технология работы комбинированной системы подразумевает одновременную работу ШДМ и ПС. В то время как ШДМ осуществляет автоматический полив при движении вокруг центральной башни, дождевальные аппараты ПС, работающие в определённой последовательности в соответствии с режимом орошения, открываются и закрываются оператором вручную.



1 – магистральный трубопровод; 2 – поливной трубопровод; 3 – узел подключения ПС; 4 – гидрант с дождевальным аппаратом

Рисунок 1 – Общая схема ПС с ШДМ длиной 350 м



1 – центральная башня ШДМ; 2 – подающий трубопровод ШДМ; 3 – крестовина; 4 – тройник; 5 – патрубок гидранта; 6 – стальной фланцевый переход;

7 – дисковый затвор; 8 – стойка (штатив); 9 – дождевальное устройство

а – узел подключения, б – гидрант

Рисунок 2 – Конструктивно-компоновочная схема узла подключения и гидранта ПС

Следовательно, необходимо провести усовершенствование ПС за счет разработки системы дистанционного управления гидрантами с дождевальными аппаратами. Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ существующих технических решений по дистанционному управлению поливом в оросительных системах.
2. Разработать конструктивную схему автоматизированной системы управления поливом (АСУП).
3. Подобрать компонентную базу, составить структурную схему блоков управления и описать алгоритм работы АСУП.

Прежде всего, по принципу действия можно выделить три типа систем автоматического управления поливом: системы с электроуправлением, с гидравлическим управлением и радиоуправлением. В период с 1960 по 1986 год в ФГБНУ ВНИИ «Радуга» активно проводились исследования по автоматизации работы дождевальных аппаратов.

В 1962 году была разработана и внедрена автоматическая система полива, работающая по командам, получаемым от датчиков влажности. Система была смонтирована на опытном участке площадью 20 га на территории Московской опытно-исследовательской дождевальной станции (на сегодняшний день ФГБНУ ВНИИ «Радуга») и состояла из автоматической насосной станции, водопроводящей асбестоцементной трубчатой сети с сооружениями, электрокабельной сети и пульта управления. Несмотря на высокую технологичность и надежность, системы с использованием электрических кабелей не получили широкого применения в связи с большими капитальными вложениями [1,10].

В СССР вопросами разработки гидравлических систем, в частности за счёт гидроимпульсного управления, занимались Гипроводхоз, КазНИИВХ, Укргипроводхоз, ВНИИМиТП (ныне – ФГБНУ ВНИИ «Радуга»), ЮжНИИГиМ и другие научно-исследовательские и проектно-конструкторские организации. Такой интерес был обусловлен тем, что гидроимпульсные системы значительно увеличивают производительность труда, при этом просты в обслуживании и



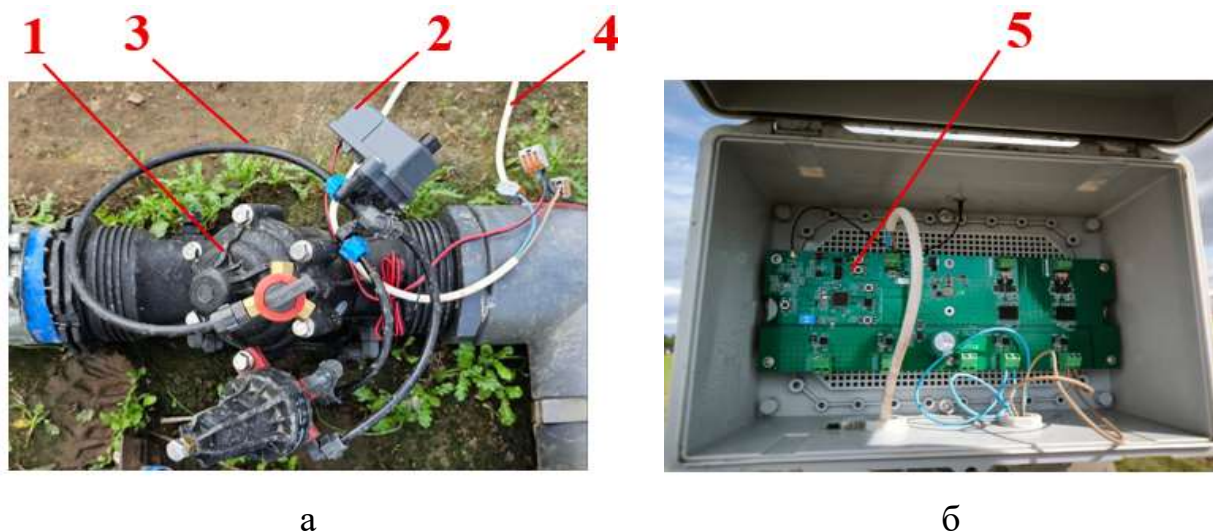
требуют относительно небольших дополнительных капитальных затрат на автоматизацию [9,13].

На опытном участке ВНИИМиТП площадью 8 га была смонтирована автоматизированная гидроавтоматическая система. Гидроавтоматический затвор навешивался на дальнеструйный дождевальным аппарат ДД-30. Исполнительный механизм затвора включал два независимых гидродвигателя одностороннего действия, где один был предназначен для счётчика гидравлических импульсов, а другой – для пробкового затвора. Согласованная параллельная работа двух гидродвигателей осуществлялась с помощью обратного клапана. Однако работы по данной системе также прекратились на стадии опытных испытаний, так как в процессе полевых исследований был выявлен ряд недостатков, прежде всего – отсутствие синхронизации работы гидрозатворов, приводящее к искажению стабильности импульса, а также высокая частота ложных срабатываний [6].

В современных капельных системах часто используется комбинированный (электрогидравлический) способ управления поливом. Принцип его работы заключается в регулировании подачи воды на орошаемые блоки через гидравлические клапаны нормально закрытого типа. Открытие каждого такого клапана осуществляется водой, поступающей на его управляющую мембрану через вспомогательный электромагнитный (соленоидный) клапан при помощи напорных трубок.

Электропитание на соленоиды подаётся через силовые реле, которые коммутируют постоянный ток от аккумулятора, расположенного в общем шкафу управления. Этот же шкаф содержит микроконтроллер на базе Arduino, формирующий управляющие сигналы для реле по заданной программе (рисунок 3).

Однако основным недостатком электрогидравлической системы управления остается ее зависимость от кабельной сети. Это существенно повышает стоимость системы и ее монтаж, а также снижает надежность и рентабельность при использовании на больших по площади участках.



1 – корпус гидравлического клапана; 2 – электромагнитный (соленоидный) клапан; 3 – напорная трубка; 4 – электрический кабель; 5 – микроконтроллер  
 а – гидравлический клапан; б – шкаф управления

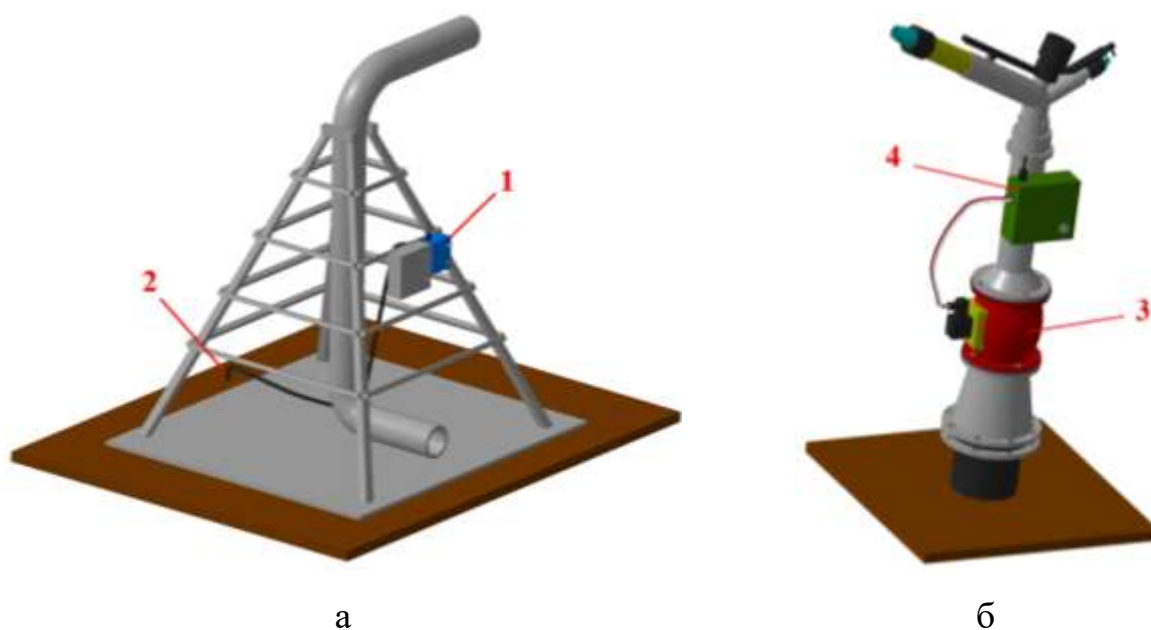
Рисунок 3 – Электрогидравлический способ управления поливом на капельной системе ООО «АГРОМИКС» г.о. Колома

Как известно, активное развитие микроэлектроники, ставшей основным фактором роста радиоуправляемых систем, началось в начале XXI века. Поэтому масштабных исследований в этом направлении во времена СССР не проводилось. В настоящее время технологии беспроводной передачи данных применяются в сельском хозяйстве, в частности в орошении, весьма ограниченно. Основными сдерживающими факторами для широкого внедрения радиоуправляемых систем остаются сложные природно-климатические условия и дефицит высококвалифицированного персонала для их обслуживания. Несмотря на это, радиоуправление считается наиболее экономически целесообразным решением для автоматизации ПС [15].

Так как радиопередача, будучи одним из наиболее экономически эффективных и современных методов, представляет собой высокотехнологичное решение, то при разработке системы автоматизации ПС необходимо применять максимально простые и надежные модули, рассчитанные на использование неподготовленным персоналом [7].

Прежде всего основной проблемой радиопередачи в условиях оросительных систем является расстояние, которое может достигать, в некоторых случаях, до 2000 м. Кроме того, посторонние шумы от работы техники и самих дождевальных машин могут искажать сигнал, что будет вызывать ошибки схожие с гидравлическими системами [14].

Предполагается, что АСУП должна состоять из управляющего и приемного узла. Управляющий узел в виде блока управления с функцией программирования и передачи команд крепится на центральной башне ШДМ, а его электропитание осуществляется от того же источника (генератор или ЛЭП). Приемный узел состоит из приемного блока управления, где дополнительно размещается аккумуляторная батарея, и электромагнитного клапана. Блок управления приемного узла монтируется на стойке-штативе дождевального аппарата, а электромагнитный клапан устанавливается между стальным фланцевым переходом и стойкой-штативом, заменяя дисковый затвор [6,8].



1 – блок управления (управляющий узел) ; 2 – кабель электропитания, 3 – бистабильный электромагнитный клапан; 4 – блок управления (приемный узел)

а – управляющий узел; б – приемный узел

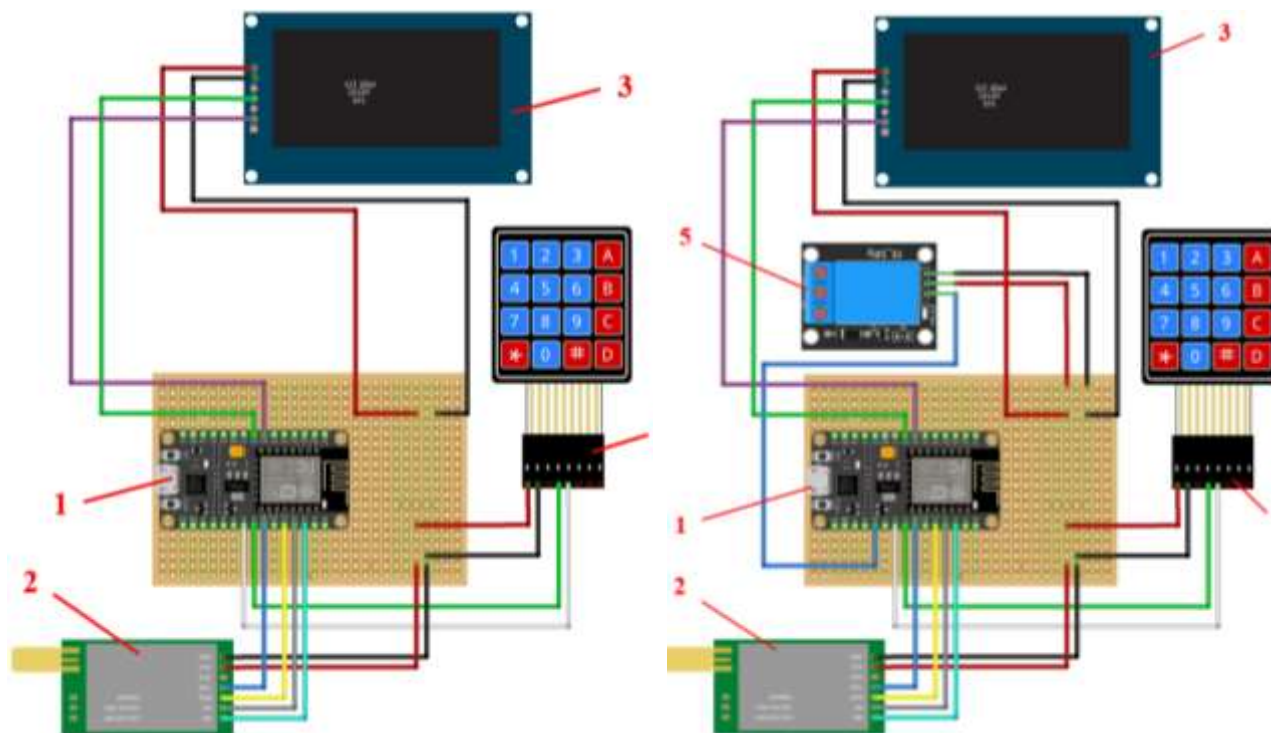
Рисунок 4 – Конструктивная схема АСУП

Основными критериями функционирования АСУП для полустационарных систем должны являться: скорость обмена данными (не более 1 с), дальность

передачи сигнала (не менее 2000 м) и количество обслуживаемых устройств на один блок управления (не менее 200 шт.).

Согласно заданным критериям, блок управления должен состоять из печатной платы, микроконтроллера, радиомодуля, дисплея, клавиатуры и антенны, в приёмном блоке дополнительно устанавливается электромеханическое реле, отвечающее за работу электромагнитного клапана, и аккумуляторная батарея. Размещение всех комплектующих должно осуществляться в корпусе со степенью защиты не ниже IP66. [16].

Компоновка блоков управления предполагается следующая. Все компоненты размещаются на печатной плате размером 100x100 мм. В качестве управляющего модуля выбран микроконтроллер ESP-12E, потребляющий около 80 мА при напряжении 3,3 В. Кроме того, он обладает поддержкой технологии Smart Link, что дает возможность управления через мобильное приложение. Для радиосвязи наиболее подходящим является LoRa-модуль E32-433T30D. Его дальность в прямой видимости достигает 8 км, а рабочая частота 410-441 МГц обеспечивает устойчивость к низкочастотным помехам от сельхозтехники. Задача ввода и отслеживания команд оператором будет осуществляться через монохромный OLED-дисплей с диагональю 2,42 дюйма и матричную клавиатуру 4x4. Для усиления сигнала используется UHF-антенна с диапазоном 400-470 МГц. Управление электромагнитным клапаном в приемном узле реализовано через компактное электромеханическое реле JQC-3F-05VDC-C, рассчитанное на коммутацию постоянного тока до 5 А при напряжении катушки 5 В. Компоновочная схема управляющего и приемного блока изображена на рисунке 5 [2,3].



1 – микроконтроллер ESP-12-E; 2 – радиомодуль LoRa E32-433T30D;  
3 – OLED-дисплей; 4 – матричная клавиатура; 5 – электромеханическое реле JQC-3F-05VDC-C

Рисунок 5 – Структурная схема блоков управления

В системах с автономным питанием для экономии энергии вместо постоянно работающих электромагнитных клапанов следует применять бистабильные. Они потребляют ток только в момент срабатывания (открытия/закрытия), что значительно снижает нагрузку на аккумулятор и позволяет уменьшить его ёмкость и стоимость. Для данной задачи подходит бистабильный клапан ВМК-08 DN 50 ValvEco или его аналоги [5,11].

Для подбора аккумуляторной батареи способной обеспечить автономной функционирование приемного узла в течение поливного сезона (150 дней с мая по октябрь), необходимо произвести расчет энергопотребления компонентов в режиме ожидания, активной работы и управления клапаном [17].

Суточное потребление ( $I_{сут}$ , Ач) приемного узла определим по формуле:

$$I_{сут} = I_{покоя} + I_{акт} + I_{клапана} \quad (1)$$

где:  $I_{покоя}$  – ток, потребляемый в дежурном режиме (состояние глубокого сна микроконтроллера и радиомодуля), Ач/сут;

$I_{\text{акт}}$  – ток, расходуемый на приём и обработку одной управляющей команды, Ач/сут;

$I_{\text{клапана}}$  – ток, необходимый для одного цикла открытия и закрытия бистабильного электромагнитного клапана (импульсный режим), Ач/сут.

Тогда, для расчета сезонного энергопотребления ( $I_{\text{сезон}}$ , Ач) используем формулу:

$$I_{\text{сезон}} = I_{\text{сут}} \times T_{\text{сезон}} \quad (2)$$

где:  $T_{\text{сезон}}$  – сезонное время использования, сут.

Для расчета минимальной необходимой емкости аккумуляторной батареи ( $C_{\text{мин}}$ , Ач) применяем коэффициент разряда  $k_{\text{разр.}} = 0,8$ :

$$C_{\text{мин}} = \frac{I_{\text{сезон}}}{k_{\text{разр.}}} \quad (3)$$

В условиях перепада температур и повышенной влажности, а также возможности обеспечения работы нескольких сезонов без промежуточной зарядки, введем коэффициент запаса  $k_{\text{зап.}} = 3,5$ :

$$C_{\text{реком.}} = C_{\text{мин}} \times k_{\text{зап.}} \quad (4)$$

В результате расчёта получили, что для бесперебойной работы в течение 150 дней необходимая ёмкость составила 1,65 Ач. Исходя из этого, наиболее подходящей является литий-железо-фосфатная ( $\text{LiFePO}_4$ ) аккумуляторная батарея с номинальными параметрами 12 В, 6 Ач [4].

Основным принципом работы полустационарных дождевальных систем является попеременное переключение дождевальных аппаратов, обеспечивающее необходимую норму полива при орошении не поливаемых участков. Технология работы АСУП заключается в обеспечении данного принципа путём дистанционного переключения дождевальных аппаратов в последовательности, установленной оператором на управляющем блоке, алгоритм работы представлен в виде блок-схемы на рисунке 6.



Рисунок 6 – Алгоритм работы АСУП

**Обсуждение.** В рамках настоящего исследования проведено усовершенствование полустационарной оросительной системы, используемой в комбинации с широкозахватными дождевальными машинами. Был устранён основной недостаток данных систем, который заключался в ручном переключении дождевальных аппаратов. Разработанная автоматизированная система управления поливом (АСУП) обеспечивает дистанционное переключение электромагнитных клапанов посредством радиопередачи при помощи радиомодулей.

Стоит отметить, что конструкция и технология работы АСУП применимы не только к полустационарным системам, но и к любым другим оросительным системам.

Кроме того, компоновочные решения, подобранные специально для условий сельскохозяйственной деятельности, открывают перспективы использования радиопередачи не только для систем орошения, но и для большинства технологических процессов в растениеводстве и животноводстве.

Таким образом, результаты исследования могут быть использованы производителями сельскохозяйственной и оросительной техники, сельскохозяйственными товаропроизводителями, научными и учебными заведениями в области сельского хозяйства.

**Выводы.** В результате проведенного исследования произведено усовершенствование полустационарных систем (ПС) за счёт разработки для них автоматизированной системы управления поливом (АСУП).

Разработана конструкция, подобрана компонентная база и описаны алгоритмы работы автоматизированной системы управления поливом на основе радиомодулей.

Теоретические расчеты показали, что автономность функционирования приемных узлов системы составляет не менее 150 дней при дальности передачи радиосигнала до 6000 м. При этом предложенное решение адаптировано под существующие полустационарные системы и не предполагает высоких материальных и трудовых затрат на модернизацию.

### Литература

1. Анализ зарубежных разработок по повышению проходимости многоопорных дождевальных машин / А. И. Рязанцев, А. О. Антипов, Е. Ю. Евсеев, А. А. Ахтямов // Вестник Государственного социально-гуманитарного университета. – 2019. – № 3(35). – С. 57-62.

2. Березовский, П. П. Основы радиотехники и связи : Учебное пособие. Рекомендовано методическим советом Уральского федерального университета для студентов вуза, обучающихся по направлениям подготовки: 10.03.01 - Информационная безопасность; 11.03.01 - Радиотехника; 11.05.01 - Радиоэлектронные системы и комплексы / П. П. Березовский ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. – Екатеринбург :



Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2017. – 212 с. – ISBN 978-5-7996-2093-6.

3. Лойко, В. И. Микроэлектроника и схемотехника: учебник : Учебник по дисциплине "Микроэлектроника и схемотехника" для высших учебных заведений / В. И. Лойко, А. В. Параскевов. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – 179 с. – ISBN 978-5-907294-27-1.

4. Местников, Н. П. Электротехника : Учебное пособие по дисциплинам «Электротехника, электроника и электрооборудование», «Электротехника», «Электротехника и электроника» / Н. П. Местников. – Якутск : Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2023. – 104 с. – ISBN 978-5-7513-3502-1.

5. Мищенко, Н. А. Построение оросительных комплексов на основе блочно-модульной комплектации стандартным и нестандартным оборудованием / Н. А. Мищенко, С. А. Гжибовский, В. С. Травкин // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 6. – С. 26-29.

6. Оценка почвосохранной технологии шланговым дождевателем при поливе кассетной рассады в защищенном грунте / А. И. Рязанцев, В. С. Травкин, Е. Ю. Евсеев, А. Р. Травкина // International Agricultural Journal. – 2025. – Т. 68, № 2. – DOI 10.55186/25880209\_2025\_9\_2\_2.

7. Патент № 2672313 С2 Российская Федерация, МПК А01G 25/02. Дождевальная установка : № 2017109826 : заявл. 24.03.2017 : опубл. 13.11.2018 / А. И. Рязанцев, Г. В. Ольгаренко, Н. А. Мищенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга" (ФГБНУ ВНИИ "Радуга").

8. Патент на полезную модель № 226762 U1 Российская Федерация, МПК А01В 69/00, А01G 25/09. Регулятор скорости движения мостовой сельскохозяйственной машины : № 2024108855 : заявл. 03.04.2024 : опубл. 20.06.2024 / А. И. Рязанцев, С. С. Турапин, Н. А. Мищенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский

научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга".

9. Патент на полезную модель № 227062 U1 Российская Федерация, МПК А01G 9/24, А01G 25/00. Дождевальная установка для теплиц : № 2024113866 : заявл. 22.05.2024 : опубл. 04.07.2024 / А. И. Рязанцев, С. С. Турапин, В. С. Травкин, Е. Ю. Евсеев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга".

10. Перспективные методы и эксплуатационные особенности технических систем орошения сельскохозяйственных угодий для условий Рязанской области / А. И. Рязанцев, В. С. Травкин, В. Н. Мальчиков, Д. С. Мельничук // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве : Материалы 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России, Рязань, 26–27 апреля 2017 года / Министерство сельского хозяйства российской федерации; ФГБОУВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2017. – С. 280-283.

11. Повышение опорных свойств многоопорной машины "Кубань-ЛК1" / А. И. Рязанцев, А. Н. Зазуля, Е. Ю. Евсеев [и др.] // Наука в центральной России. – 2022. – № 6(60). – С. 35-41. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-6-35-41. – EDN AFIZJD.

12. Развитие мелиоративного комплекса: строительство, модернизация и техническое перевооружение : Справочное издание / Г. В. Ольгаренко, С. С. Турапин, В. И. Булгаков [и др.]. – Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 88 с. – ISBN 978-5-7367-1622-7.

13. Снижение энергетических затрат на передвижение электрифицированной дождевальной машины "Кубань – ЛК1" / А. И. Рязанцев, А. О. Антипов, Е. Ю. Евсеев, А. А. Ахтямов // Тенденции развития агропромышленного комплекса глазами молодых ученых : Материалы научно-практической конференции с международным участием, Рязань, 02 марта 2018

года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2018. – С. 62-66.

14. Травкин, В. С. Разработка комплекса технических и технологических решений по повышению коэффициента земельного использования и эффективности применения широкозахватных дождевальных машин за счет полива засеваемой площади углов полей / В. С. Травкин, Д. А. Лебедев // Экология и строительство. – 2023. – № 2. – С. 15-21. – DOI 10.35688/2413-8452-2023-02-002.

15. Травкин, В. С. Техническое предложение по технологии монтажа полустационарных оросительных систем с ручным типом переключения для полива засеваемой площади углов при совместной работе с широкозахватными дождевальными машинами / В. С. Травкин, Д. А. Лебедев // Вестник мелиоративной науки. – 2024. – № 1. – С. 49-54.

16. Травкин, В. С. Техническое решение по устройству автоматизированной системы управления поливом / В. С. Травкин, Д. А. Лебедев // Вестник мелиоративной науки. – 2024. – № 3. – С. 148-155.

17. Энергосбережение при поливе многоопорными дождевальными машинами кругового действия / А. И. Рязанцев, А. О. Антипов, А. А. Ахтямов, Е. Ю. Евсеев // Эффективное использование мелиорированных земель: проблемы и решения : Материалы Международной научно-практической конференции ФГБНУ ВНИИМЗ, Тверь, 28 сентября 2018 года. – Тверь: Тверской государственный университет, 2018. – С. 276-279.

### References

1. Ryazantsev, A.I., Antipov, A.O., Evseev, E.Yu., Akhtyamov, A.A. (2019). Analiz zarubezhnykh razrabotok po povysheniyu prokhozimosti mnogoopornykh dozhdeval'nykh mashin [Analysis of foreign developments for improving the cross-country ability of multi-support sprinkler machines]. *Vestnik Gosudarstvennogo*

*sotsial'no-gumanitarnogo universiteta* [Bulletin of the State University of Social Sciences and Humanities], no. 3(35), pp. 57-62.

2. Berezovsky, P.P. (2017). *Osnovy radiotekhniki i svyazi* [Fundamentals of radio engineering and communications]. Yekaterinburg: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 212 p. ISBN 978-5-7996-2093-6.

3. Loyko, V.I., Paraskevov, A.V. (2019). *Mikroelektronika i skhemotekhnika* [Microelectronics and circuit design]. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 179 p. ISBN 978-5-907294-27-1.

4. Mestnikov, N.P. (2023). *Elektrotehnika* [Electrical Engineering]. Yakutsk: North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, 104 p. ISBN 978-5-7513-3502-1.

5. Mishchenko, N.A., Gzhibovsky, S.A., Travkin, V.S. (2016). Postroyeniye orositel'nykh kompleksov na osnove blochno-modul'noy komplektatsii standartnym i nestandardnym oborudovaniyem [Construction of irrigation complexes based on modular assembly of standard and non-standard equipment]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela* [Technique and equipment for the village], no. 6, pp. 26-29.

6. Ryazantsev, A.I., Travkin, V.S., Evseev, E.Yu., Travkina, A.R. (2025). Otsenka pochvosokhrannoy tekhnologii shlangovym dozhdevatelem pri polive kassetnoy rassady v zashchishchennom grunte [Evaluation of soil conservation technology using hose sprinklers for irrigation of plug seedlings in protected cultivation]. *International Agricultural Journal*, vol. 68, no. 2. DOI 10.55186/25880209\_2025\_9\_2\_2.

7. Ryazantsev, A.I., Olgarenko, G.V., Mishchenko, N.A., et al. (2018). Dozhdeval'naya ustanovka [Sprinkler irrigation system]. Patent No. 2672313 C2, Russian Federation, IPC A01G 25/02. Application No. 2017109826, filed March 24, 2017, published November 13, 2018. Assignee: Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply "Raduga".

8. Ryazantsev, A.I., Turapin, S.S., Mishchenko, N.A., et al. (2024). Regulyator skorosti dvizheniya mostovoy sel'skokhozyaystvennoy mashiny [Speed regulator for a

bridge-type agricultural machine]. Patent for Utility Model No. 226762 U1, Russian Federation, IPC A01B 69/00, A01G 25/09. Application No. 2024108855, filed April 3, 2024, published June 20, 2024. Assignee: Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply "Raduga".

9. Ryazantsev, A.I., Turapin, S.S., Travkin, V.S., Evseev, E.Yu. (2024). Dozhdeval'naya ustanovka dlya teplits [Sprinkler system for greenhouses]. Patent for Utility Model No. 227062 U1, Russian Federation, IPC A01G 9/24, A01G 25/00. Application No. 2024113866, filed May 22, 2024, published July 4, 2024. Assignee: Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Irrigation and Agricultural Water Supply "Raduga".

10. Ryazantsev, A.I., Travkin, V.S., Mal'chikov, V.N., Mel'nichuk, D.S. (2017). Perspektivnyye metody i ekspluatatsionnyye osobennosti tekhnicheskikh sistem orosheniya sel'skokhozyaystvennykh ugodiy dlya usloviy Ryazanskoy oblasti [Promising methods and operational features of technical irrigation systems for agricultural land in the conditions of the Ryazan region]. In: *Printsipy i tekhnologii ekologizatsii proizvodstva v sel'skom, lesnom i rybnom khozyaystve* [Principles and technologies of production greening in agriculture, forestry and fisheries]. Proceedings of the 68th International Scientific and Practical Conference dedicated to the Year of Ecology in Russia, Ryazan, April 26-27, 2017. Part II. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, pp. 280-283.

11. Ryazantsev, A.I., Zazulya, A.N., Evseev, E.Yu., et al. (2022). Povysheniye opornykh svoystv mnogoopornoy mashiny "Kuban'-LK1" [Improving the support properties of the multi-support machine "Kuban-LK1"]. *Nauka v tsentral'noy Rossii* [Science in Central Russia], no. 6(60), pp. 35-41. DOI 10.35887/2305-2538-2022-6-35-41. EDN AFIZJD.

12. Olgarenko, G.V., Turapin, S.S., Bulgakov, V.I., et al. (2021). *Razvitiye meliorativnogo kompleksa: stroitel'stvo, modernizatsiya i tekhnicheskoye perevooruzheniye* [Development of the reclamation complex: construction, modernization and technical re-equipment]. Moscow: FSBSI «Rosinformagrotekh», 88 p. ISBN 978-5-7367-1622-7.

13. Ryazantsev, A.I., Antipov, A.O., Evseev, E.Yu., Akhtyamov, A.A. (2018). Snizheniye energeticheskikh zatrat na peredvizheniye elektrifitsirovannoy dozhdeval'noy mashiny "Kuban' – LK1" [Reducing energy consumption for the movement of the electrified sprinkler machine "Kuban-LK1"]. In: *Tendentsii razvitiya agropromyshlennogo kompleksa glazami molodykh uchenykh* [Trends in the development of the agro-industrial complex through the eyes of young scientists]. Proceedings of the Scientific and Practical Conference with International Participation, Ryazan, March 2, 2018. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, pp. 62-66.

14. Travkin, V.S., Lebedev, D.A. (2023). Razrabotka kompleksa tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh resheniy po povysheniyu koeffitsiyenta zemel'nogo ispol'zovaniya i effektivnosti primeneniya shirokozakhvatnykh dozhdeval'nykh mashin za schet poliva zasevayemoy ploshchadi uglov poley [Development of a set of technical and technological solutions to increase the land use coefficient and efficiency of wide-span sprinkler machines by irrigating the sown area of field corners]. *Ekologiya i stroitel'stvo* [Ecology and construction], no. 2, pp. 15-21. DOI 10.35688/2413-8452-2023-02-002.

15. Travkin, V.S., Lebedev, D.A. (2024). Tekhnicheskoye predlozheniye po tekhnologii montazha polustatsionarnykh orositel'nykh sistem s ruchnym tipom pereklyucheniya dlya poliva zasevayemoy ploshchadi uglov pri sovmestnoy rabote so shirokozakhvatnymi dozhdeval'nymi mashinami [Technical proposal for the installation technology of semi-stationary irrigation systems with manual switching type for irrigating the sown area of corners when working together with wide-span sprinkler machines]. *Vestnik meliorativnoy nauki* [Bulletin of Reclamation Science], no. 1, pp. 49-54.

16. Travkin, V.S., Lebedev, D.A. (2024). Tekhnicheskoye resheniye po ustroystvu avtomatizirovannoy sistemy upravleniya polivom [Technical solution for the device of an automated irrigation control system]. *Vestnik meliorativnoy nauki* [Bulletin of Reclamation Science], no. 3, pp. 148-155.

17. Ryazantsev, A.I., Antipov, A.O., Akhtyamov, A.A., Evseev, E.Yu. (2018). Energoberezheniye pri polive mnogoopornymi dozhdeval'nymi mashinami

krugovogo deystviya [Energy saving during irrigation with multi-support circular sprinkler machines]. In: *Effektivnoye ispol'zovaniye meliorirovannykh zemel': problemy i resheniya* [Efficient use of reclaimed lands: problems and solutions]. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of FSBSI ARRIFM, Tver, September 28, 2018. Tver: Tver State University, pp. 276-279.

© Рязанцев А.И., Мищенко Н.А., Травкин В.С., Евсеев Е.Ю., 2025. *International agricultural journal*, 2025, № 6, 427-449.

**Для цитирования:** Рязанцев А.И., Мищенко Н.А., Травкин В.С., Евсеев Е.Ю. Совершенствование комбинированной системы орошения на основе дистанционного управления дождевальными аппаратами // *International agricultural journal*. 2025. № 6, 427-449.