

УДК 631.674

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОРОШЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АГРОФИТЕНОЗОВ

А.В. Майер

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и
мелиорации им. А.Н. Костякова

Аннотация. На основе анализа многолетних исследований проводимых в Волгоградской области и республике Калмыкия, где преобладают жаркий и сухой климат, необходимо создание универсальной многофункциональной, гидромелиоративной системы орошения, по принципу объединения способов и приемов орошения, как между собой, так и в сочетании их с мелкодисперсным дождеванием. Введение в оросительную систему поливных дополнительных функций с активацией поливной воды углекислым газом, кислородом и подачей в систему орошения теплого воздуха, для предотвращения ранних и поздних заморозков в весенне - осенний период, несомненно, позволит сохранить и даже приумножить урожаи сельскохозяйственных культур

Ключевые слова: система капельного орошения, мелкодисперсное дождевание, универсальность, многофункциональность, кислород, углекислый газ, эксперимент, теплогенератор, заморозки, микроклимат.

MULTIFUNCTIONAL IRRIGATION SYSTEM FOR CONTROL OF PHYSIOLOGICAL PROCESSES AND REGULATION OF HYDROTHERMAL REGIME OF AGROPHYTENOSIS

A.V. Mayer

FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after V.I. A.N. Kostyakova

Annotation. Based on the analysis of long-term research carried out in the Volgograd region and the Republic of Kalmykia, where hot and dry climate prevails, it is necessary to create a universal multifunctional irrigation system, based on the principle of combining irrigation methods and techniques, both among themselves and in combination with small -dispersed sprinkling. The introduction of additional irrigation functions into the irrigation system with the activation of irrigation water with carbon dioxide, oxygen and the supply of warm air to the irrigation system, to prevent early and late frosts in the spring - autumn period, will undoubtedly preserve and even increase the yields of agricultural crops

Key words: drip irrigation system, fine sprinkling, versatility, multifunctionality, oxygen, carbon dioxide, experiment, heat generator, frost, microclimate

Введение. Исследования показывают, что конструкции гидромелиоративных систем нового поколения предполагают реализацию наиболее полного набора этих функций в рамках универсальных, комплексных решений [5, 6, 8]. Такие решения расширяют функциональные возможности гидромелиоративных систем, в том числе в плане системного регулирования гидротермического и питательного режима почвы с

возделываемыми на ней агрофитоценозами. Совершенствование оросительных систем дают преимущества определяющие возможность минимизации последствий экстремальных погодных условий, в течение всего вегетационного периода сельскохозяйственных культур.

Основой технологических функции гидромелиоративной системы является улучшение неблагоприятных природных условий путем направленного регулирования водного, питательного, газового и теплового режима почвы и возделываемых растений, как взаимосвязанных факторов, рассматриваемых в единой системе «вода, почва, атмосфера». На сегодняшний день уже ясно, что возможности мелиоративных технологий существенно шире и помимо улучшения почвенных условий может быть реализован целый комплекс технологических функций.

В практике уже известны ряд перспективных технико-технологических решений, реализующих функцию регулирования гидротермического режима агрофитоценоза. Часть из них базируется на регулировании отдельных факторов формирования гидротермического режима, - монотехнологиях, предлагающих частное решение проблемы [1, 11]. Другие предполагают объединение и системное использование различных приемов, дополняющих друг друга [3, 4]. Технические решения в этом направлении достаточно разнообразны, однако не все они одинаково эффективны, некоторые направлены на решение частных задач и относительно узко ориентированы. Актуальными остаются не решенные задачи, связанные с разработкой конечных проектов таких систем. Методические подходы к проектированию таких систем, должны быть наиболее современны, предполагать создание единой расчетной системы и универсальную программно - алгоритмическую реализацию. Актуальна проблема автоматизированного проектирования гидромелиоративных систем с расширенными функциональными возможностями регулирования гидротермического режима агрофитоценоза и комплексной протекции посевов от засух и суховеев [2, 3, 9]. Система орошения такого рода должна обеспечивать возможность оптимального подбора и объединения различных технических решений в единой конструкции. Особенно важно учитывать потребности сельскохозяйственных растений относительно регулируемых факторов в период вегетации. Определение норм биологических реакций, агробиологической активности растений на ввод в систему орошения кислородного и газового питания агрофитоценоза, также является актуальной задачей современной мелиоративной и агрономической науки [9, 10, 12]. Необходимость решения указанных задач определяет проблематику настоящих исследований в части создания гидромелиоративных систем, обеспечивающих расшире-

ние их функциональных возможностей по формированию оптимального физиологического процесса и гидротермического режима агрофитоценоза.

Цель исследования состоит в том, чтобы создать единый концепт технической системы для управления физиологического процесса и регулирования гидротермического режима агрофитоценоза. Такой подход предполагает различные технические преобразования в реализации эффективных направлений технического совершенствования.

Материалы и методы. Интенсивность влага - и теплообмена верхнего слоя почвы с приземным слоем воздуха определяется метеорологическими параметрами, физическим состоянием почвы, шероховатостью и рельефом поверхности поля, архитектурой и аэродинамическими характеристиками посева, а также местоположением поля в рельефе. Указанные физические процессы, являющиеся активными факторами, формирующими микроклимат, многие годы определяли направленности микроклиматических модельных, лабораторных и полевых исследований в агрофизике.

Для расчета «ветроломного» эффекта по данной модели необходимо было знать удельную поверхность растений и коэффициент аэродинамического сопротивления натурной полосы. В АФИ были разработаны соответствующие методики выполнения таких полевых и лабораторных модельных исследований, одновременно предложены обобщенные критерии зависимостей переноса результатов модельных аэродинамических экспериментов в природные условия (Усков, 1978).

В 1948 г. А. Ф. Чудновский выполнил аналитический обзор состояния теории о динамике температурного режима в приземном слое воздуха и предложил корректные подходы физического описания теплообмена в системе «почва – атмосфера» в суточном цикле. Им же была теоретически решена задача переноса тепла и формирования температурного поля в приземных слоях воздуха (1972). Теплообменные процессы между поверхностью почвы, лишенной растений, и атмосферой исследованы многими агрофизиками; они и по сей день не теряют своей актуальности.

При активации поливной воды углекислым газом использовались методологические указания открытого общества ВНИИГ им Б.Е. Веденеева. Контроль обогащённой воды кислородом (O_2) проводился расчетным путем, с разбавлением поливной воды с перекисью водорода. Качество углекислого газа (CO_2) проводится прибором измерителем с индикатором уровня его концентрации. Для объективной оценки результатов исследований, опыт по подаче теплого воздуха в систему орошения, проводился в соответствии с общепринятыми методиками.

Результаты и обсуждения. Разработка универсальной автоматизированной системы орошения планируется проводится на основании обобщения опыта НИОКР, проводимых в ВНИИГиМ и крестьянско-фермерских хозяйствах Волгоградской области с использованием комбинированных оросительных систем.

В нашей разработке классическая схема представляет собой систему капельного орошения с вводом в ее комплектацию дополнительного распределительного трубопровода 9, для производства функции мелкодисперсного дождевания (МДД). Режим работы МДД осуществляется при повышении давления воды до 0,02 МПа в дополнительном распределительном трубопроводе 9 и в поливных трубопроводах 14 вмонтированных в его стенки. Вода под давлением поступает к установкам МДД 13 и посредством распылительных насадок происходит увлажнение возделываемой культуры. Контроль расхода воды осуществляется измерительными приборами 15 (рисунок 1).

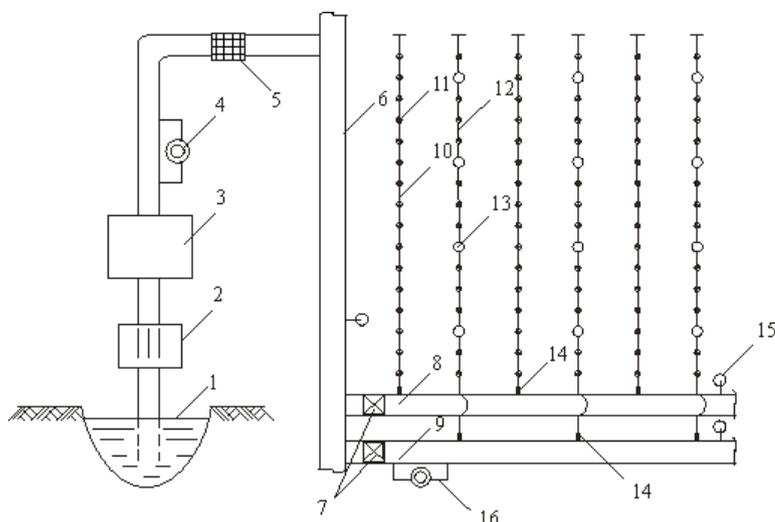
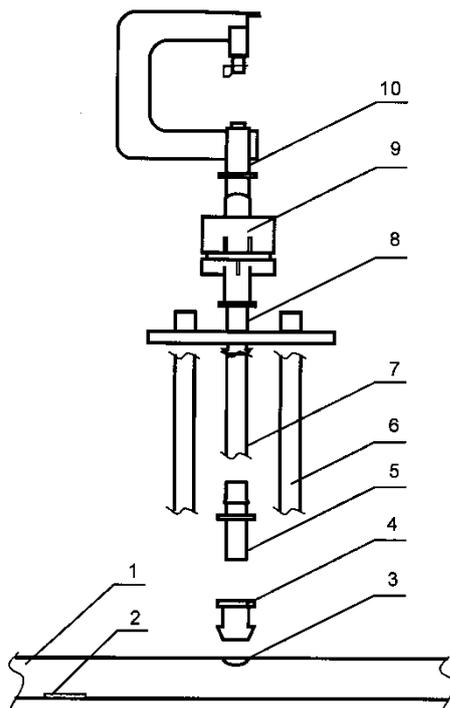


Рисунок 1 - Классическая схема системы комбинированного орошения

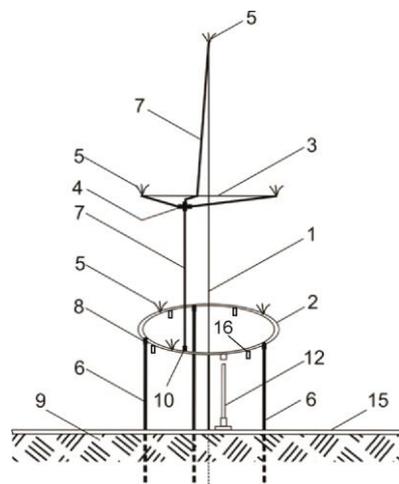
На рисунке 2 представлена установка мелкодисперсного дождевания для регулирования гидротермического режима овощных и зерновых культур. Для регулирования микроклимата многолетних садовых насаждений нами была разработана установка прямого назначения для увлажнения садовых насаждений и ягодных культур (рисунок 3).

Применение разработанной установки (рисунок 3) позволило нам провести экспериментальный опыт с использованием подачи в систему орошения воздуха, нагретого до оптимальной температуры 10...15⁰С, для предотвращения весенних заморозков.



1- поливной трубопровод; 2- капельница; 3- перфорированное отверстие; 4 - 5 адаптеры; 6- стойка; 7- мягкая трубка; 8- входной адаптер; 9- клапан; 10- распылительная насадка;

Рисунок 2 - Установка МДД для увлажнения овощных и зерновых культур



1- Стойка; 2 - Закольцованный трубопровод; 3- Поперечный стержень; 4- Тройничек; 5- Распылительная насадка; 6 - опорные стержни; 7- Гибкая трубка; 8 - Крепление; 9 - почва; 10 - крепеж; 12 - переходная трубка; 15 - Распределительный трубопровод; 16 - Капельница

Рисунок 3 - Установка для струйчатого и аэрозольного орошения с использованием подачи теплого воздуха в крону садового насаждения

Исследования по управлению физиологическим процессом нас привели к идее создания универсальной многофункциональной системы, способной осуществлять орошение не только поливной водой, а водой с принудительно растворенными в ней молекулами кислорода или углекислого газа. Попытки повысить концентрацию углекислоты в поле известны уже давно. Так Ф.Р. Идель в опытах с утилизацией очищенных дымовых газов получил увеличение урожая свеклы в 1,5 раза, по сравнению с контролем. Люндегард (Lundegard., 1924) получил прибавку урожая корней свеклы на 10% при подкормке чистым углекислым газом. В опытах Стокласы с увеличением концентрации углекислоты до 0,1, 0,22 и 0,30% также наблюдалось увеличение веса корня соответственно на 234,250,272 г. В полевых опытах опытной станции в Монстере, где углекислоту давали ежедневно в течении двух часов утром и двух часов после полудня, получен урожай свеклы в 1075 ц/га против 875 ц/га в контроле (Ковалев, 1934). В вегетационном опыте З. Журбицкий (1928) давал углекислый газ по утрам 44 раза из расчета, чтобы в воздухе, окружающем растения, было 5% углекислого газа. Удобрение дало положительную тенденцию. Эти результаты позволяют считать, что в естественных условиях повышенное содержание углекислого газа в воздухе приводит к интенсивности фотосинтеза и повышению урожая. Поэтому улучшение условий для поступления углекислого газа (ликвидация дневной депрессии и освежающие поливы с удобрением CO_2) должно найти применение в качестве мероприятий для повышения урожая. Максимальная доза удобрения углекислым газом при поливе растений составляет 100 тонн воды на 300кг CO_2 [4,5]. Аэробное дыхание корней растений заключается в непрерывном поглощении кислорода и выделении углекислого газа. Процессы метаболизма в корнях растений, нормально растущих на хорошо дренированных почвах, нарушаются почти немедленно, если прерывается этот обмен кислорода и углекислоты. Недостаточный газообмен может снизить урожай растений, даже если он длится всего один день, и привести к гибели корней, если он продолжается несколько дней [2, 8], т.е. при нарушении аэрации. Аэрация – это обмен кислорода между атмосферой, почвой и корнями растений. Большая часть газообмена, эффективного для аэрации корней растений в хорошо дренированной почве происходит через почву. Однако в почвах насыщенных водой, основное значение может иметь обмен через само растение. Если почва насыщена водой, то газы должны перемещаться в воде в растворенной форме. В естественных условиях такое перемещение происходит слишком медленно, чтобы быть эффективным. Если в почве имеются наполненные газом поры, то растворенные в воде газы стремятся к равновесию с газообразной фазой. Если наполненные газом поры вза-

имосвязаны и достигают поверхности почвы, то газообмен с атмосферой происходит как через почвенную воду, так и через газообразную фазу, причем обмен через газообразную фазу происходит быстрее, так как скорость диффузии в этом случае гораздо выше, чем диффузии в почвенной воде. Хотя газообмен может происходить также за счет движения воздуха в почву и из нее в результате изменения скорости ветра, температуры, барометрического давления и содержания воды в почве, однако его масштабы имеют второстепенное значение по сравнению с газообменом путем диффузии.

Дыхание корней растений и микроорганизмов является основной причиной поглощения почвами кислорода и выделения ими углекислого газа. Скорость дыхания регулируется такими условиями как температура, обеспечение водой, а также типом и количеством дышащих тканей (К.А. Блэк, // Растения и почва, глава 3с.101) позволили предложить методы оценки испаряемости вблизи лесных полос и на открытом пространстве, уточненные по данным наблюдений с использованием испарителей (Левин, 1953). В тех же комплексных полевых опытах среди лесных полос было исследовано (А. И. Куценко) иссушение почвы по горизонтам почвенного профиля в слоях 0–50 см, 50–100 см, 100–150 см и установлено 20% уменьшение количества испарявшейся влаги в слое 0–180 см. относительно открытого поля.

Для объективности наших исследований мы выделили отдельно из универсальной многофункциональной системы орошения, функцию подачи теплого воздуха посредством установок предусмотренных для мелкоструйчатого орошения и мелкодисперсного дождевания и провели экспериментальный опыт.

Наблюдениями было установлено, что в весенний период температура окружающего воздуха колеблется в диапазоне от +5⁰С до +19⁰С днем, и от минус 3 до -5⁰С ночью. Самые низкие температуры возникают ночью и в утренние часы, при восходе солнца, который сопровождается, усилением скорости ветра до 5м/сек. В этот весенний период времени в Волгоградской области уже к середине марта на плодовых деревьях набухают почки, а в апреле месяце начинается цветение. Для садовода особенно характерно не пропустить в это время ночных и утренних заморозков. Их появление пагубно влияет на будущий урожай плодовых культур, вплоть до полного осыпания цветочных завязей даже при незначительных низких отрицательных температурах воздуха от – 1⁰С.

На таблицах 1-2 представлены выкладки наблюдений за суточными весенними температурами по времени, из которых определенно видно присутствие ранних замо-

розков, которые несомненно скажутся на формирование урожайности плодовых культур.

Таблица 1. – Динамика суточных температур воздуха, 14 - 15.03.2020 г.

Время час/сут	22	24	02	04	06	08	10
Температура воздуха 0 С	2	0	-1	-2	-1	1	2

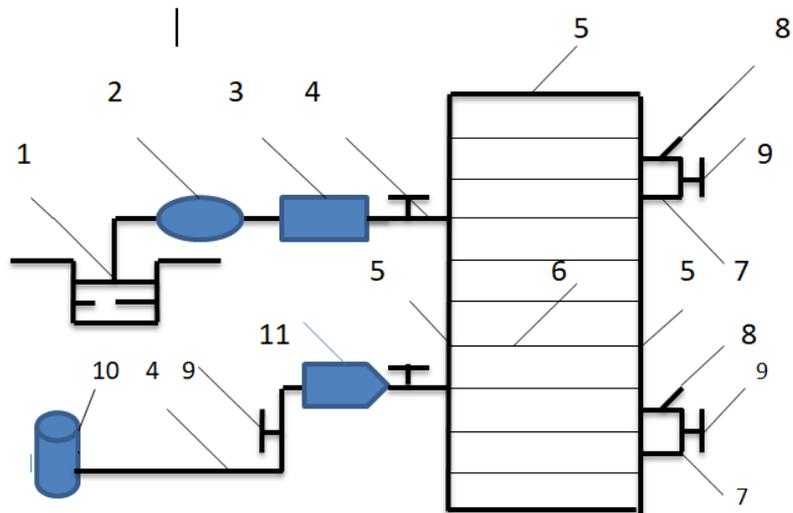
Таблица 2. – Динамика суточных температур воздуха, 01- 02.04.- 2020г.

Время час/сут	22	24	02	04	06	07	08	10
Температура Воздуха 0С	1	0	-1	-3	-2	-1	0	2

Анализируя вышеизложенный материал, мы пришли к выводу, чтобы избежать в дальнейшем воздействие отрицательных температур при цветении содовых культур, необходимо разработать решения направленные на усовершенствование стационарных поливных систем трубопроводного типа.

Усовершенствование системы орошения заключается в следующем. На существующую стационарную классическую систему орошения (рисунок 2), мы ввели в эксплуатацию конструктивные элементы и агрегаты (рисунок 3), для дополнительной функции снабжения системы орошения теплым воздухом, связанные с предотвращением воздействия на цветущий сад отрицательных температур при весенних заморозках.

Проанализировав материалы по разработке стационарных систем орошения, мы пришли к выводу, что для обогрева каждого многолетнего насаждения потребуется садовая установка при помощи которой возможно обеспечение подачи теплого воздуха непосредственно в его крону. Такие садовые установки были разработаны для орошения многолетних насаждений при капельных, аэрозольных и комбинированных поливах (Н.Н. Дубенок, А.В. Майер, В.С. Бочарников, С.В.Бородычев). Мы остановились на комбинированной садовой установке, т.е. капельное орошение в сочетании с аэрозольным, которая имела возможность обеспечить подачу теплого воздуха посредством капельниц и распылителей непосредственно в крону многолетнего насаждения. Подача теплого воздуха через садовую установку позволит уберечь многолетние насаждения от пагубных ранних заморозков, особенно во время цветения.



1-Водозабор; 2-Насосная станция; 3-Блок фильтров; 4-Подводящий трубопровод; 5- Распределительный трубопровод; 6- Поливной трубопровод; 7- Сбросное устройство; 8-Сбросной клапан; 9-запорная арматура; 10-Газовый баллон; 11- газовый теплогенератор; 12- Подводящая линия; 13-Границы поливного модуля; 14-Замыкающий трубопровод

Рисунок 4 - Усовершенствованная схема стационарной системы орошения трубопроводного типа с подачей теплого воздуха

Принцип работы системы орошения предназначенной для подачи теплого воздуха посредством установки для МДД, непосредственно в крону многолетнего насаждения (рисунок 1). Как видно из рисунка 3, к газовому генератору 11, из газового баллона 10, подается жидкий газ, из теплогенератора 11 теплый воздух принудительно подается в распределительный трубопровод 5, затем в поливные трубопроводы 6, посредством гибких поливных трубок теплый воздух попадает в установку с поливным трубопроводом выполненным в виде круга с смонтированными в него капельницами с ускоренным расходом воды до 8 л/мин (рисунок 4). Поливной модуль состоит из водозабора 1, насосной станции 2, блока фильтров тонкой и грубой очистки 3, распределительного 5, поливных 6, и замыкающего трубопроводов 13. На замыкающем трубопроводе смонтированы сбросные устройства 7, с запорной арматурой 9, для сброса холодного воздуха при запуске системы обогрева воздуха. При работе системы орошения в режиме обогрева запорной арматурой 9, запирается подводящий трубопровод 4, системы орошения и теплый воздух по распределительному трубопроводу 15 подается к установке, установленной у каждого многолетнего насаждения. При выходе воздуха из капельниц 16 и распылителей расположенных на поливном трубопроводе установки 5 по высоте всей кроны и вокруг садового насаждения. Теплый воздух поднимается

вверх, меняя знак отрицательной температуры на положительную температуру, согревая тем самым цветущие почки и сберегая их от преждевременных заморозков (рисунок 5).

В процессе исследований с марта по май месяцы наблюдениями были установлены суточные отрицательные температуры с ночными и утренними заморозками и произведены опыты по показаниям влияния подаваемого теплого воздуха на суточную температуру окружающего воздуха.

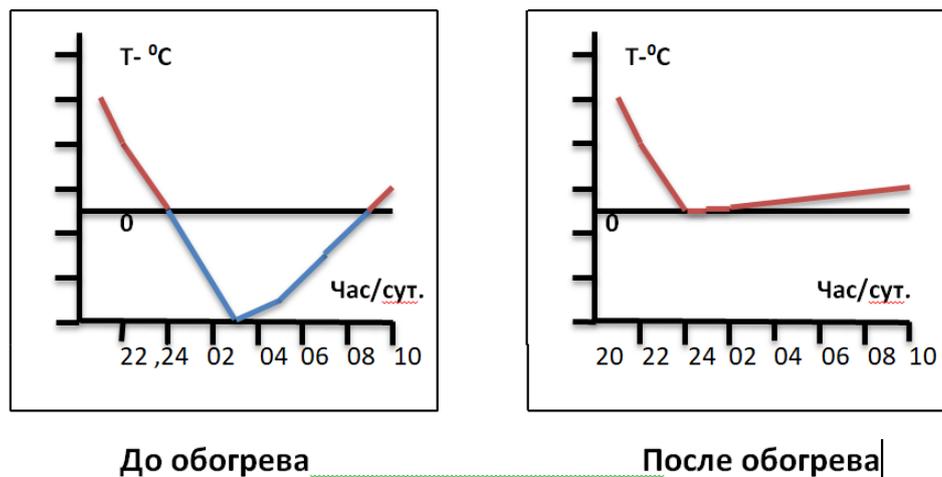
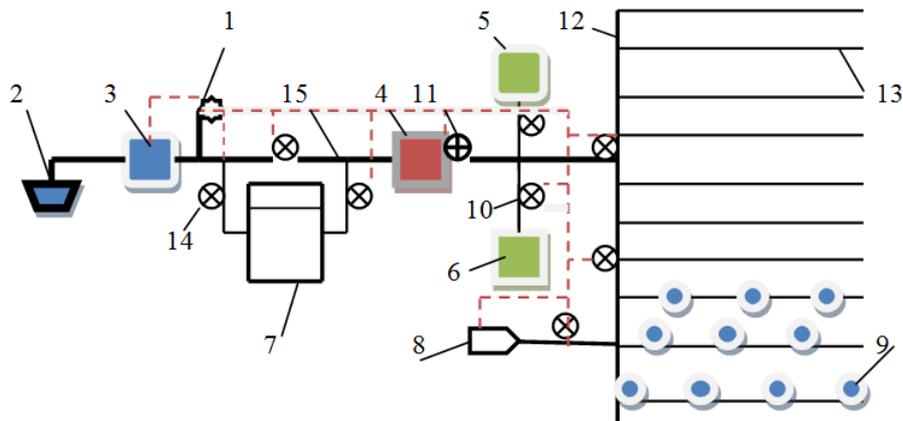


Рисунок 5 - Графики кривых суточных температур.

Наблюдениями установлено, что с началом работы газового терморегулятора, отрицательная температура меняет свой знак на плюсовую температуру после сброса холодного воздуха с распределительного трубопровода, с началом поступления теплого воздуха в крону многолетнего насаждения (рисунок 4). Проанализировав выше изложенные материалы мы пришли к необходимости создания такой системы орошения, которая позволит обеспечивать не только необходимые пороги влажности, а полностью регулировать гидротермический режим агрофитоценозов, тем самым контролировать физиологический процесс развития и формирования возделываемых растений. Нами предложены условные схемы для разработки универсальной системы орошения с введением дополнительных конструктивных элементов при вводе в эксплуатацию необходимых функций полива и их объединения в одну многофункциональную систему орошения.



1 - пульт управления; 2- водозабор; 3- насосная станция; 4- станция очистки; 5- кислородная станция; 6- станция углекислого газа; 7- гидроподкормщик; 8- теплогенератор; 9- установка для МДД + струйчатый полив; 10- транспортирующий газопровод; 11- перепускной кран с обратным клапаном; 12- распределительный трубопровод для комбинированного орошения; 13- поливные линии комбинированного орошения; 14- контроллеры; 15 - транспортирующий трубопровод; пунктирная линия-электропроводка

Рисунок 6 - Условная схема универсальной многофункциональной системы орошения для регулирования физиологических и гидротермических процессов

Принцип работы универсальной многофункциональной системы орошения: Водозабор 2 осуществляется насосной станцией 3, далее поливная вода под давлением до 0,5 МПа подается к фильтровальной станции грубой и мелкой очистки 4, затем поливная вода транспортируется к распределительным трубопроводам к станции обогащения воды углекислым газом 7 (CO_2) и к станции обогащения поливной воды кислородом 6 (O_2), где запорной арматурой служат автоматические контроллеры 14; активированная вода поступает в установки 9 для мелкодисперсного дождевания (МДД) При насыщении поливной системы теплым воздухом в период ранних весенних заморозков с пульта (ПУ) управления 1 подается команда на включение теплогенератора 8, который соединён носовой частью с контроллером и распределительным трубопроводом 12 системы орошения, и теплый воздух подается через водовыпуски в почву (при внутрипочвенном орошении), на поверхность почвы (при капельном орошении), через насадки МДД для регулирования микроклимата. Для обогащения растений элементами питания в системе орошения предусмотрен гидроподкормщик 6 с резервуаром для смешивания жидких удобрений, и растворенные в поливной воде удобрения попадают в корневую систему растений, или на их листовую поверхность.

Для функции обогащения поливной воды предусмотрен смеситель, в котором вода при смешивании активируется с кислородом или углекислым газом, в зависимости от решаемой задачи исследования.

Выводы. Анализ выше изложенных исследований по разработке дополнительных функций в стационарных системах орошения трубопроводного типа показал, что изыскания велись в правильном направлении. Опытным путем была доказана целесообразность данного направления. Цель и задачи исследований по разработке универсальной системы орошения с производством дополнительных функций для управления физиологическим процессом при выращивании многолетних насаждений и агрофитоценозов с регулированием гидротермического режима решены положительно. Расширение функциональных возможностей на стационарных оросительных системах – это путь к совершенству современной модернизации мелиорируемых земельных площадей. Предложено теоретическое и научное обоснование технологических приемов комплексного регулирования агрофитоценоза, для повышения природно-ресурсного потенциала новых конструкций гидромелиоративных систем и автоматизированных комплексов.

Список литературы

1. Дубенок Н.Н., Майер А.В. Разработка систем комбинированного орошения для полива сельскохозяйственных культур // Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование.- 2018. – С. 9 - 19.
2. Дубенок Н.Н., Майер А.В. Комбинированная гидромелиоративная система для орошения садовых насаждений // Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование.-2018. – С.43 – 51.
3. Соловьев, Д.А., Журавлева Л.А. Роботизированный оросительный комплекс "Каскад" // Аграрный научный журнал. - 2020. - № 1. - С. 74-78. DOI: 10.28983/asj.y2020i1pp74-78
4. Бородычев В.В., Конторович И.И., Лытов М. Н. Научные разработки ВФ ВНИИГиМа //Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 5-6 С.8-10. Техно-технологические основы регулирования гидротермического режима агрофитоценоза в условиях орошения // Научная жизнь. - 2019. - Т.14. - № 10 (98). - С. 1484-1495. DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-10-1484-1495
5. He, Y., X. M. Bloomberg Effects of drip irrigation and nitrogen fertigation on stand growth and biomass allocation in young triploid *Populus tomentosa* plantations // Forest ecology and management. – 2020. – V.461. – N.117937 DOI: 10.1016/j.foreco.2020.117937
6. Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П. Оценка эффективности оросительных мелиораций в зональном ряду почв // Почвоведение. - 2015. - № 5. - С. 587. DOI: 10.7868/S0032180X15030065
7. Добрачев Ю.П., Соколов А.П. Модели роста и развития растений и задача повышения урожайности // Природообустройство. 2016 - № 3. С. 90-96.

8. Бочарников В.С., Мещеряков М.П. Новые приемы возделывания овощных культур в системе водосберегающего орошения // Овощеводство и тепличное хозяйство. 2014 г. № 4 – с.54.

9. Мелихова Е.В. Математическое моделирование солевого режима при фертигации в почвогрунтах фрактальной структуры // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2017. - № 2 (46). - С. 249-255.

10. Haider, S. Projected crop water requirement over agro-climatically diversified region of Pakistan // Agricultural and Forest Meteorology. - 2020. - V. 281. - P. 107824.

11. Chen X. Jeong S.-J. Irrigation enhances local warming with greater nocturnal warming effects than daytime cooling effects // Environmental research letters. – 2018. – V.13. – I. 2. – N. 024005 DOI: 10.1088/1748-9326/aa9dea

12. Q. Yang, X. Huang, Q. Tang Irrigation cooling effect on land surface temperature across China based on satellite observations // Science of the total environment. – 2020. – V. 705. - N 135984. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135984

References

1. Dubenok N.N., Majer A.V. Razrabotka sistem kombinirovannogo orosheniya dlja poliva sel'skohozjajstvennyh kul'tur // Izvestija nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie.- 2018. – S. 9 - 19.

2. Dubenok N.N., Majer A.V. Kombinirovannaja gidromeliorativnaja sistema dlja orosheniya sadovyh nasazhdenij // Izvestija nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie.-2018. – S.43 – 51.

3. Solov'ev, D.A., Zhuravleva L.A. Robotizirovannyj orositel'nyj kompleks "Kaskad" // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. - 2020. - № 1. - S. 74-78. DOI: 10.28983/asj.y2020i1pp74-78

4. Borodychev V.V., Kontorovich I.I., Lytov M. N. Nauchnye razrabotki VF VNIIGiMa //Melioracija i vodnoe hozjajstvo. 2014. № 5-6 S.8-10. Tehniko-tehnologicheskie osnovy regulirovanija gidrotermicheskogo rezhima agrofitocenoza v uslovijah orosheniya // Nauchnaja zhizn'. - 2019. - T.14. - № 10 (98). - S. 1484-1495. DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-10-1484-1495

5. He, Y., X. M. Bloomberg Effects of drip irrigation and nitrogen fertigation on stand growth and biomass allocation in young triploid Populus tomentosa plantations // Forest ecology and management. – 2020. – V.461. – N.117937 DOI: 10.1016/j.foreco.2020.117937

6. Kirejcheva L.V., Karpenko N.P. Ocenka jeffektivnosti orositel'nyh melioracij v zonal'nom rjadu pochv // Pochvovedenie. - 2015. - № 5. - S. 587. DOI: 10.7868/S0032180X15030065

7. Dobrachev Ju.P., Sokolov A.P. Modeli rosta i razvitija rastenij i zadacha povysheniya urozhajnosti // Prirodoobustrojstvo. 2016 - № 3. S. 90-96.

8. Bocharnikov V.S., Meshherjakov M.P. Novye priemy vzdelyvaniya ovoshhnyh kul'tur v sisteme vodosberegajushhego orosheniya // Ovoshhevodstvo i teplichnoe hozjajstvo. 2014 g. № 4 – с.54.

9. Melihova E.V. Matematicheskoe modelirovanie solevogo rezhima pri fertigacii v pochvogruntah fraktal'noj struktury // Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. - 2017. - № 2 (46). - S. 249-255

10. Haider, S. Projected crop water requirement over agro-climatically diversified region of Pakistan // Agricultural and Forest Meteorology. - 2020. - V. 281. - P. 107824.

11. Chen X. Jeong S.-J. Irrigation enhances local warming with greater nocturnal warming effects than daytime cooling effects // Environmental research letters. – 2018. – V.13. – I. 2. – N. 024005 DOI: 10.1088/1748-9326/aa9dea

12. Q. Yang, X. Huang, Q. Tang Irrigation cooling effect on land surface temperature across China based on satellite observations // Science of the total environment. – 2020. – V. 705. - N 135984. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135984

**Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.**

Информация об авторе.

Майер Александр Владимирович – старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костюкова, (РФ 127750 г. Москва ул. Большая академическая 44 корпус 2), кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID: номер : [https:// orcid.org/1000-0002-0065-8916](https://orcid.org/1000-0002-0065-8916)т.89053378678 э/pvkovniigim@yandex.ru