

Земледелие и мелиорация

УДК 631.674.52

DOI: 10.31857/S2500262722020016, EDN: FZVSGD

МНОГОЛЕТНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АГРОЦЕНОЗОВ И СИСТЕМЫ КОМБИНИРОВАННОГО ОРОШЕНИЯ ДЛЯ ЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**Н. Н. Дубенок¹**, академик РАН,
А. В. Майер², кандидат сельскохозяйственных наук¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: n.dubenok@mail.ru²Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники
и мелиорации имени А.Н. Костякова,
127434, Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2
E-mail: vkovniigim@yandex.ru

Исследования проводили с целью разработки систем комбинированного орошения, обеспечивающих эффективное решение задач регулирования гидротермического режима почвы, растения и приземного слоя атмосферы для создания оптимальных условий роста и развития растений. Принципиальным методологическим подходом к созданию систем комбинированного орошения выступает объединение различных способов полива и реализация их в особом режиме в рамках единого технологического процесса. Другой ключевой момент заключается в том, что проведение поливов разными способами обеспечивается на базе единой технической системы, которая выступает самостоятельным конструктивным решением. Создание таких инженерных систем представляется отправной точкой перехода к новым мелиоративным технологиям, обеспечивающим комплексное регулирования факторов жизни и расширенную протекцию сельскохозяйственных посевов от климатических рисков в условиях открытого грунта. Обоснована потребность и техническая реализуемость сочетания мелкодисперсного дождевания сельскохозяйственных культур с такими известными способами полива, как капельное, дождевание, внутрпочвенное и поверхностное орошение. Мелкодисперсное дождевание, обеспечивая покрытие вегетативных органов растения каплями размером 100...400 мкм, с последующим их испарением и поглощением скрытой теплоты парообразования, позволяет эффективно регулировать микроклимат в среде посева. При испарении вода охлаждает листовую поверхность на 5...7 °С, и повышает фактическую влажность приземного слоя воздуха на 14...16 %, тем самым снимая пиковую температурную напряженность и улучшая физиологическое состояние растений. Однако в условиях аридного климата с острым дефицитом естественной влагообеспеченности мелкодисперсное дождевание не позволяет компенсировать потребность растений в воде, не регулирует запасы почвенной влаги. Это определяет необходимость совместного использования мелкодисперсного дождевания со способами полива, обеспечивающими регулирование почвенной влаги.

LONG-TERM STUDIES OF THE HYDROTHERMAL REGIME OF AGROCENOSIS AND THE SYSTEM OF COMBINED IRRIGATION FOR ITS REGULATION**Dubенок N.N.¹, Mayer A.V.²**¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49
E-mail: n.dubenok@mail.ru²Kostyakov All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Melioration,
127434, Moskva, ul. Bolshaya Akademicheskaya, 44, corp. 2
E-mail: vkovniigim@yandex.ru

The purpose of this study is to develop combined irrigation systems that provide an effective solution to the problems of regulating the hydrothermal regime of soil, plants, and the surface layer of the atmosphere to create optimal conditions for the growth and development of plants. The principal methodological approach in the creation of combined irrigation systems is the combination of various irrigation methods and their implementation in a special mode within a single technological process. Another key point is that irrigation is carried out in different ways on the basis of a single technical system, which is an independent design solution. The creation of such engineering systems is the starting point for the transition to new reclamation technologies that provide a comprehensive regulation of life factors and extended protection of agricultural crops from climatic risks in open ground conditions. Research substantiates the need and technical feasibility of combining fine sprinkling of agricultural crops with other known methods of irrigation, such as drip, sprinkling, subsoil and surface irrigation methods. It is shown that finely dispersed sprinkling, providing coverage of the vegetative organs of the plant with drops of 100-400 microns in size, followed by their evaporation and absorption of the latent heat of vaporization, makes it possible to effectively regulate the microclimate in the sowing environment. During evaporation, water cools the leaf surface by 5-7 0C, and increases the actual humidity of the surface air layer by 14-16%, thereby removing peak temperature stress and improving the physiological state of plants. However, in an arid climate with an acute shortage of natural moisture supply, finely dispersed sprinkling does not make it possible to compensate for the need of plants for water and does not regulate soil moisture reserves. This determines the need for the joint use of fine-dispersed sprinkling with irrigation methods that ensure the regulation of soil moisture.

Ключевые слова: инновационные технологии, системы орошения, конструктивная новизна, мелкодисперсное дождевание, гидротермический режим, способы полива, комбинированное орошение.

Key words: innovative technologies, irrigation systems, constructive novelty, irrigation functions, hydrothermal regime, irrigation methods, combined irrigation.

Результаты исследований, проведенных в последние десятилетия свидетельствуют, что подъем сельскохозяйственного производства в нашей стране невозможен без широкого распространения новых технологий и приемов орошения. Комплексное развитие мелиорации в Российской Федерации сегодня требует строительства новых гидросооружений, конструктивного переоснащения действующих систем орошения и разработки современных систем орошения [1, 2]. На сегодняшний день широко используются технологии орошения с минимальными затратами поливной воды. В большей степени этим требованиям отвечают оросительные системы локального действия [3, 4, 5].

Регулирование температуры и влажности воздуха при этих способах орошения возможно только при объединении их с увлажняющими поливами, в основе которых заложен принцип водной дисперсии. В остро-засушливые и сухие годы регулирование гидротермического режима при возделывании овощных, садовых и ягодных культур, несомненно, приведет к повышению их урожайности [6, 7].

При мелкодисперсном дождевании (МДД) капли воды, распыленные до размеров 100...400 мкм за 1,0...1,5 минуты при расходе 800...1000 л/га, полностью покрывают всю листовую поверхность растений. Распределенная по ней вода, испаряясь, снижает температуру листьев растений и увеличивает влажность приземного слоя воздуха [8, 9, 10]. Многолетними исследованиями установлено, что применение такого способа орошения позволяет существенно повысить урожайность и качество овощных, а также многолетних садовых культур [11, 12].

При орошении посевов поверхностным способом, когда дневные температуры достигают пиковых значений, транспирация растений превышает оптимальные значения, происходит потеря тургора, выступающая одной из причин снижения физиологической активности растений. Поэтому целесообразно в орошаемых чеках между поливами напуском проводить освежительные поливы посредством объединения способов орошения (полив напуском + малоинтенсивное дождевание). Применение целевого объединения способов орошения для условий южных регионов России особенно актуально. Незащищенность возделываемых культур от прямого воздействия солнечных лучей на плоды и листовую поверхность, вызывает глубокий прогрев плодов в период созревания и оказывает пагубное влияние на весь урожай в целом. Для поддержания оптимального гидротермического режима необходимо совместное использование таких способов орошения, как поверхностное, капельное, внутрипочвенное в сочетании с увлажнительными или освежительными поливами на основе мелкодисперсного или малоинтенсивного дождевания [11, 12].

Цель исследования – разработка систем комбинированного орошения, обеспечивающих эффективное решение задач регулирования гидротермического режима почвы, растения и приземного слоя атмосферы для создания оптимальных условий роста и развития растений.

Методика. Методологической основой исследований выступает принцип незаменимости и равнозначности факторов жизни растений и, следующая из этого, потребность в комплексном регулировании условий произрастания. Относительно гидротехнических мелиораций это подразумевает, в частности, поддержание влажности воздуха не менее 50 %, влажности почвы в пределах наименьшей влагоемкости (70...80 % НВ) и периодическое смачивание листовой поверхности

растений мелкодисперсным дождеванием, когда температура воздуха превышает оптимальные значения для каждой культуры.

Технология орошения напрямую связано с климатическими и гидрогеологическими условиями, а также биологическими особенностями возделываемых культур [13, 14]. Важным элементом разрабатываемой технологии орошения выступает сочетание двух или нескольких способов полива, обеспечивающих в совокупности регулирование гидротермического режима агрофитоценоза и протекцию посевов от климатических рисков.

Исследования проводили по общепринятым методикам на орошаемых землях Волгоградской области и Республики Калмыкия.

Результаты и обсуждение. Разработка комбинированных оросительных технологий, которые базируются на использовании традиционных способов полива, в сочетании с увлажнительными способами орошения на сегодняшний день позиционируется как инновационное направление исследований. В условиях засушливого климата аридных регионов России фактические метеопараметры часто выходят за пределы физиологического оптимума возделываемых культур. Это касается таких показателей, как температура среды, влажность воздуха, температура почвы и др. Степень недопущения стрессовых ситуаций в отношении растений, зависит от конструктивных возможностей оросительной системы, которую необходимо усовершенствовать для проведения комбинированных поливов и использовать в полном объеме. Увеличение температуры выше физиологического оптимума для растений приводит к необратимым изменениям в их организме. Длительное воздействие высокой температуры на возделываемые культуры может привести к полной потере урожая. Для каждой культуры установлены интервалы температурного оптимума, в которых при определенных запасах влаги в почве обеспечивается получение устойчивых урожаев возделываемых культур, например, для пшеницы – 16...20 °С, кукурузы – 23...25 °С и т.д. При возделывании злаковых культур в засушливые или остро-засушливые периоды в сочетании с высокими дневными температурами важно не пересушить пыльцу растения во время цветения. При выращивании картофеля особенно важно выдерживать оптимальную температуру почвы в пределах 17...19 °С на протяжении 1,5...2,0 недель при образовании столо-

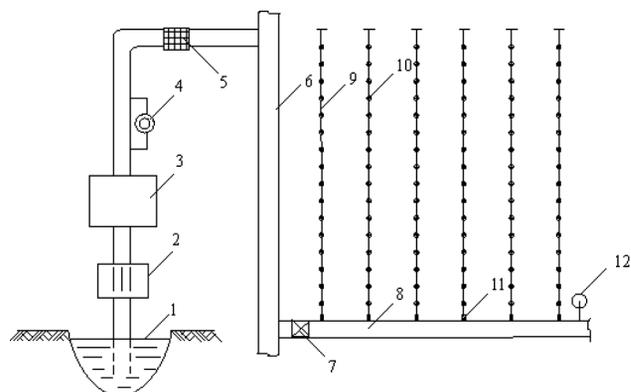


Рис. 1. Условная классическая схема капельного орошения: 1 – водозабор; 2 – водяной насос; 3 – узел фильтрации; 4 – насос дозатор; 5 – фильтр тонкой очистки; 6 – магистральный трубопровод; 7 – контроллер; 8 – распределительный трубопровод; 9 – капельный трубопровод; 10 – капельница; 11 – стартовый коннектор; 12 – манометр.

нов. Создание благоприятных температурных условий в это время дает задел для формирования будущего урожая картофеля. Это возможно только при комбинированном орошении [5].

Создание комбинированных систем на базе капельного орошения включает следующее. Капельное орошение, как оно есть сегодня – это целый комплекс технологических звеньев, связанных с подачей и фильтрацией воды, водоводами, трубопроводной и поливной сетью разных диаметров, где главную роль выполняет капельница (рис. 1). Вмонтированные в поливные линии компенсированные капельницы, позволили нам объединить капельное орошение с мелкодисперсным дождеванием. Уникальность компенсированной капельницы состоит в том, что при увеличении давления в поливных капельных линиях расход воды распределяется, равномерно по всему поливному трубопроводу, осуществляя одинаково равные капельные водовыпуски. Исходя из принципа компенсированного давления в поливном трубопроводе, капельницы сохраняют расходную характеристику, то есть расход воды остается неизменным. Повышение давления в поливных трубопроводах с 0,01... 0,15 МПа до 2,0...2,5 МПа необходимо для создания рабочего цикла при работе комбинированной системы капельного орошения в сочетании с режимом мелкодисперсного дождевания (рис. 2).

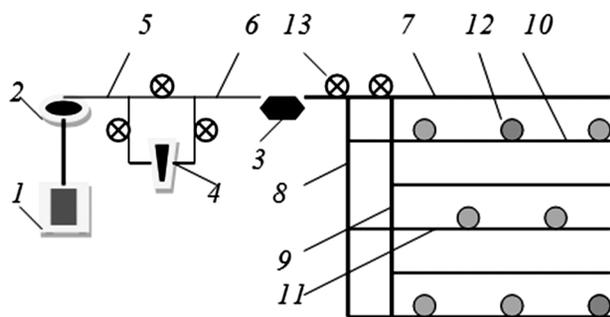


Рис. 2. Условная схема системы орошения для регулирования микроклимата агрофитоценозов:

1 – водоем; 2 – насосная станция; 3 – фильтровальная станция; 4 – станция питания; 5, 6 – трубопроводные водоводы; 7 – поливные капельные линии; 8 – распределительный трубопровод КО + МДД; 9 – распределительный трубопровод для КО; 10, 11 – поливные трубопроводы для КО + МДД; 12 – стойки с распылительными насадками; 13 – кран контролер.

Мелкодисперсное дождевание (МДД) предусматривает мелкий распыл воды (100...400 мкм). Такое орошение при увлажнении листовой поверхности растений позволяет понизить температуру воздуха в жаркие периоды времени на 5...7 °С, и увеличить фактическую влажность окружающего воздуха на 14...16 % [6, 7, 10]. Объединение двух таких малообъемных способов орошения как мелкодисперсное дождевание и капельное орошение дает возможность полностью исключить ирригационную эрозию. Главная задача МДД заключается в регулировании микроклимата в среде растений до достижения физиологически оптимальных показателей или в стремлении к ним. Даже при оптимальной влажности почвы до 90 % НВ, но при высокой дневной температуре растения испытывают дефицит влаги. Это вызывает тепловой стресс, что негативно сказывается на физиологических ростовых процессах и зачастую приводит к значительной потере урожая [12, 13]. Совмещение способов капельного орошения и мелкодисперсного

дождевания улучшит показатели фотосинтеза растений и физиологические процессы в целом.

Принцип работы комбинированной системы орошения состоит в следующем. Забор воды осуществляется из водоемчика 1; это может быть пруд накопитель, скважина или оросительный канал. Насосная станция 2 подает под давлением 0,15 МПа воду к фильтрующей станции 3. Отфильтрованная вода из распределительного трубопровода 8 поступает в поливные трубопроводы, предназначенные для капельного орошения 10 и мелкодисперсного дождевания 11, затем она подается из распределительного трубопровода 9 в поливные трубопроводы 7. Для мелкодисперсного дождевания в распределительном трубопроводе 8 посредством крана контролера 13 поднимают давление до 0,2 МПа и в работу вступают распылители 12 мелкодисперсного дождевания для поддержания гидротермического режима посева. Схема расстановки стоек зависит от радиуса распыла насадки. Она может предусматривать расстояние между стойками 3 м × 4 м или 1,5 м × 6 м в шахматном порядке, но должна обеспечивать полное смачивание вегетативного полога.

По многолетним данным испарение влаги с листьев растений происходит в течение разных промежутков времени: от 17 минут в жаркие дни до 2 ч, когда солнечная инсоляция менее активна. Такое соотношение препятствует конвективному теплообмену между слоем воздуха и внешней средой, поэтому необходимо выбирать правильное время для проведения мелкодисперсного дождевания. В наших исследованиях интервал между увлажнениями по трем вариантам составлял 0,5, 1,5 и 2,0 ч.

Полив путем дождевания осуществляется стационарными системами орошения и передвижными поливными машинами. Интенсивность искусственного дождя (мм/ч) представляет собой количество осадков, создаваемых этой системой в единицу времени на единицу площади. В последние годы разработчики проектируют такие системы, которые создают искусственный дождь одинаковой интенсивности в каждой точке орошаемой площади. Сущность модернизации таких машин прежних лет выпуска заключается в замене серийных дождевальных аппаратов и насадок кругового действия на малоинтенсивные насадки секторного типа, что позволяет проводить комбинированные поливы.

Для решения задачи по регулированию микроклимата при дождевании был дооборудован дополнительный трубопроводом с распылительными насадками для мелкодисперсного дождевания широко известный дождевальный агрегат ДДА-100МА. В конечном результате была создана комбинированная система орошения, которая осуществляет дождевание в сочетании с МДД (рис. 3). Дооборудованный двух консольный

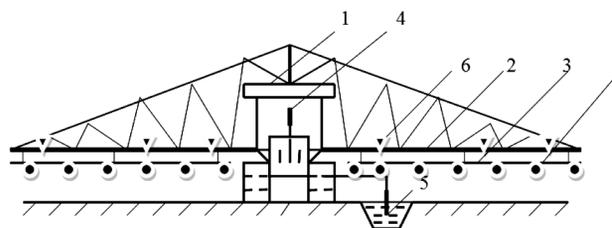


Рис. 3. ДДА-100 МА, дооборудованный трубопроводом для МДД: 1 – трактор; 2 – поливной трубопровод; 3 – дополнительный трубопровод; 4 – инжектор; 5 – всасывающий механизм; 6 – дождевальный аппарат; 7 – распылительная насадка.

гидротермического режима способствует созданию необходимого микроклимата, особенно в острозасушливые годы.

Литература

1. Александров А. Д., Бородычев В. В., Чичасов В. Я. Мелкодисперсное дождевание картофеля // *Земледелие*. 1978. № 3. С. 24–25.
2. Бородычев В. В., Лытов М. Н. *Технологические основы регулирования гидротермического режима агрофитоценоза в условиях орошения* // *Научная жизнь*. 2019. Т. 14. № 10 (98). С. 1484–1495. doi: 10.35679/1991-9476-2019-14-10-1484-14952.
3. Бородычев В. В., Лытов М. Н. *Проблемы оптимального водообеспечения сои в условиях орошения* // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2019. № 2 (54). С. 39–49.
4. Бочарников В. С., Мещеряков М. П. *Новые приемы возделывания овощных культур в системе водосберегающего орошения* // *Овощеводство и тепличное хозяйство*. 2014. № 4. С. 54.
5. Добрачев Ю. П., Соколов А. П. *Модели роста и развития растений и задача повышения урожайности* // *Природоустройство*. 2016. № 3. С. 90–96.
6. Дубенок Н. Н., Майер А. В. *Разработка систем комбинированного орошения для полива сельскохозяйственных культур* // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2018. № 1 (49). С. 9–19.
7. Дубенок Н. Н., Майер А. В. *Система мелкоструйчатого внутрипочвенного орошения многолетних насаждений* // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2018. № 2 (50). С. 157–164.
8. Заикин И. И., Заикина А. К. *К вопросу развития мелкодисперсного дождевания* // *Сб. научных трудов*. М.: ВНИИГиМ, 1978. С. 67–70.
9. Курейчева Л. В., Карпенко Н. П. *Оценка эффективности оросительных мелиораций в зональном ряду почв* // *Почвоведение*. 2015. № 5. С. 587. doi: 10.7868/S0032180X15030065.
10. Курбанов С. А., Майер А. В., Магомедова Д. С. *Исследование системы капельного орошения и мелкодисперсного дождевания* // *Проблемы развития АПК региона*. 2012. № 3. С. 5–9.
11. *Мелкодисперсное дождевание сельскохозяйственных культур в условиях Нижнего Поволжья* / Б. Б. Шумаков, А. В. Колганов, В. В. Бородычев и др. // *Сб. научных трудов*. Волгоград: ВНИИОЗ, 1994. С. 20–29.
12. Degirmenci H., Tanriverdi C., Arslan F. *Assesment of irrigated areas by sprinkler and drip irrigation methods in lower Seyhan plain* // *Kahramanmaras sutcu imam university journal of natural sciences*. 2016. Vol. 19. No. 4. P. 454–461.
13. *Improving irrigation scheduling of wheat to increase water productivity in shallow groundwater conditions using aquacrop* / M. Goosheh, E. Pazira, A. Gholami, et al. // *Irrigation and drainage*. 2018. Vol. 67. No. 5. P. 738–754. doi: 10.1002/ird.2288.

Поступила в редакцию 13.01.2022
 После доработки 02.03.2022
 Принята к публикации 22.03.22