

ФОРМИРОВАНИЕ КОНТУРА УВЛАЖНЕНИЯ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ И СПОСОБ ЕГО КОРРЕКТИРОВАНИЯ

В. М. ЛУКАШЕВИЧ, А. А. КОНСТАНТИНОВ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: kanstantsinau@mail.ru

(Поступила в редакцию 20.03.2025)

Особенности распределения влаги в почве при капельном орошении определяются локальным способом подачи воды на орошаемый участок. Вода при капельном орошении подается точно и распределяется в последующем в вертикальной и горизонтальной плоскостях под действием сил, зависящих от типа и состава почвы, начального уровня содержания влаги, интенсивности поступления воды из источника и других факторов, то есть распределение влаги зависит от целого комплекса природных факторов и особенностей функционирования капельной системы. Кроме того, накопленный опыт возделывания овощных культур при капельном орошении сегодня уже не оставляет сомнений в необходимости учета функции отбора влаги корнями растений [1].

Следует учитывать, что локальный характер увлажнения почвы при капельном поливе обуславливает высокие требования к установлению количественных закономерностей формирования зон увлажнения при разных типах почв, в зависимости от их гранулометрического состава, содержания органического вещества и исходной влажности [2].

В результате проведенного опыта сделаны следующие заключения:

- форму контура увлажнения в первом приближении можно рассматривать как часть поверхности эллипсоида вращения вокруг вертикальной оси, проходящей через центр капельницы;
- на дерново-подзолистой почве, во время подачи воды и до момента ее прекращения, форма контура увлажнения шаровидная, в период после прекращения подачи воды и по истечению срока наблюдения форма имела вид натянутого эллипсоида в вертикальном направлении;
- радиус увлажнения на поверхности почвы составил 0,3 м;
- соотношение наибольшего диаметра зоны увлажнения на глубине 0,2–0,4 м и диаметра увлажнения на поверхности почвы не одинаковы, соотношение диаметров равно 2,0;
- фиксация увлажнения на границе глубины 0,5 м свидетельствует о значительном оттоке поливной воды из зоны корнеобитаемого слоя значительного количества видов овощных культур.

Анализ полученных данных послужил поиску решений направленных на устранение недостатков капельного полива, в частности по поиску решений направленных на уменьшение оттока продуктивной влаги в слои почвы расположенные ниже корнеобитаемого слоя.

С этой целью было предложено изобретение: «Устройство подпочвенного капельного орошения с использованием защитного аккумуляющего экрана».

Ключевые слова: распределение влаги, контур увлажнения, изобретение, подпочвенный капельный полив, фильтрация, капельный полив.

The characteristics of soil moisture distribution with drip irrigation are determined by the local method of water supply to the irrigated area. With drip irrigation, water is supplied pointwise and then distributed in the vertical and horizontal planes under the action of forces that depend on the type and composition of the soil, the initial level of moisture content, the intensity of water supply from the source and other factors, that is, the distribution of moisture depends on a whole range of natural factors and the characteristics of the drip system. In addition, the accumulated experience of cultivating vegetable crops with drip irrigation today leaves no doubt about the need to take into account the function of moisture extraction by plant roots. It should be taken into account that the local nature of soil moistening with drip irrigation determines high requirements for establishing quantitative patterns of formation of moistening zones for different types of soils, depending on their granulometric composition, organic matter content and initial moisture content. The following conclusions were made as a result of the experiment:

- *the shape of the humidification contour can be considered as a first approximation as part of the surface of an ellipsoid of revolution around a vertical axis passing through the center of the dripper;*
- *on sod-podzolic soil, during water supply and until it was stopped, the shape of the humidification contour was spherical, in the period after the water supply was stopped and at the end of the observation period, the shape had the form of an ellipsoid stretched in the vertical direction;*
- *the radius of humidification on the soil surface was 0.3 m;*
- *the ratio of the largest diameter of the humidification zone at a depth of 0.2–0.4 m and the diameter of humidification on the soil surface are not the same, the ratio of the diameters is 2.0;*
- *the recording of humidification at the boundary of a depth of 0.5 m indicates a significant outflow of irrigation water from the root zone of a significant number of vegetable crops.*

The analysis of the obtained data served to search for solutions aimed at eliminating the shortcomings of drip irrigation, in particular, to search for solutions aimed at reducing the outflow of productive moisture into the soil layers located below the root-inhabited layer.

For this purpose, an invention was proposed: "A device for subsurface drip irrigation using a protective accumulating screen."

Key words: moisture distribution, humidification circuit, invention, subsurface drip irrigation, filtration, drip irrigation.

Введение

Овощные культуры предъявляют различные требования к зонам и характеру распределения влаги при капельном поливе. Эти требования определяются, преимущественно, характером распределения

корневой системы овощей и зоной наиболее интенсивного отбора влаги корнями. Наряду с этим необходимо учитывать, что рост и распространение корневой системы растений существенным образом зависит от параметров зоны увлажнения. Доказано, что большая часть корней, т. е. наиболее активно функционирующая их часть, располагается в зоне оптимального увлажнения [3], что дает возможность управлять ростом корневой системы растений. Однако такая возможность вместе с преимуществами требует определенного уровня накопленных и систематизированных знаний, которые позволят увязать биологию культуры, природные особенности региона и параметры формирования зон увлажнения, позволяющих с наибольшей полнотой реализовать генетический потенциал продуктивности растений.

Необходимость изучения закономерностей распределения влаги в почве при орошении овощей в области исследований обуславливается следующим:

- потребностью предоставления капельного полива овощей, как дополнительного источника влаги в водном питании растений, что требует изучения зон увлажнения с параметрами, изменяющимися в достаточно широких пределах;

- природными особенностями района, определяющими энергетические ресурсы атмосферы, динамику водопотребления, и, как следствие, объемы и интенсивность отбора влаги корнями растений;

- отсутствием экспериментального материала, который учитывал бы изменение закономерностей формирования контура увлажнения вследствие роста и развития овощных культур. Рост растений сопровождается существенным увеличением водопотребления, что обуславливает повышение влияния отбора влаги их корневой системой [4].

Цель исследования – обоснование формирования контура увлажнения при капельном поливе, разработка нового способа капельного полива.

Основная часть

Критерием выполнения заданных схемой опыта условий являлась влажность почвы в активном горизонте, которая должна, в среднем, соответствовать наименьшей влагоемкости. В связи с тем, что контур увлажнения формируется неравномерно, важно выбрать зону замера влажности почвы.

В опыте в качестве такой зоны выбрана осевая линия полосы увлажнения, соответствующая месту расположения поливных трубопроводов. Дополнительное измерение влажности почвы на расстоянии от места расположения поливного трубопровода и расчет средней влажности всего контура увлажнения усложняет процедуру эксперимента и не имеет практического преимущества.

Определение содержания почвенной влаги проводили термостатно-весовым способом [5]. Для получения экспериментальных данных, влажность почвы в весовых единицах, определенная отношением содержащейся в почве влаги к массе высушенной почвы, переводилась в относительные единицы путем деления на основную водную характеристику почвы – величину наименьшей влагоемкости. Причем значения наименьшей влагоемкости брались дифференцированно для почвы разных горизонтов, через 0,1 м, и к ним относили значения фактической влажности почвы с той же глубины. Это позволило получить объективную картину распределения влаги в почве в сформированном вторичном контуре увлажнения [6].

Анализ результатов опытов, аналитической и графической обработки экспериментального материала позволяют утверждать, что подача поливной воды обеспечивает насыщение расчетного горизонта до наименьшей влагоемкости на участках без насаждений, а также при мульчировании почвы, задерживая испарения влаги в почве [7, 8].

С увеличением расстояния от оси увлажнителя (капельницы) мощность горизонта промачивания почвы и влагосодержание увлажненных участков снижалось в сравнении с основной зоной контроля влажности. Наибольший диаметр пятна увлажнения за сутки достигается за счет увеличения поливной нормы, а контур увлажнения почвы расширяется за счет мульчирования почвы. За пределами зоны оптимального увлажнения влажность почвы изменялась в пределах 50–60 % НВ, то есть почва была достаточно сильно иссушена. Следует учитывать, что контур увлажнения почвы не является строгой, геометрически определенной фигурой. В нем существуют переходные зоны. Например, с поливной нормой 64 м³/га, при заданном для расчетов горизонте увлажнения 0,3 м в горизонте 0,5–0,6 м влажность почвы соответствовала 58–68 % НВ. Это выше, чем в постилающем горизонте почвы, но существенно ниже, чем в основной зоне увлажнения. В горизонте 0–0,4 м с диаметром 0,5–0,8 м влажность почвы не опускалась ниже 70 % НВ, а в слое 0,1–0,2 м с диаметром 0,2 м – превышала величину наименьшей влагоемкости. Последнее может свидетельствовать как о наличии еще не

перераспределенной влаги к моменту отбора образцов, так и являться ошибкой вследствие неоднородности водно-физических свойств почвы на опытном участке.

На участке, где опыт проводился с применением мульчирования, диаметр по контуру увлажнения, также как и площадь зоны увлажнения почвы значительно увеличивается. Это объясняется тем, что влага в почве, прикрытой рыхлым слоем органического вещества (в данном опыте опилки), меньше подвержена испарению, так как испаряясь, влага задерживается в слое мульчи и сохраняет ее.

Неравномерность распределения влаги по контуру увлажнения подтверждают данные, полученные по всей площади, определяемой диаметром и мощностью горизонта увлажнения. Осреднение общего влагосодержания по всей этой площади дает уровень 84–90 % НВ, что на 10–16 % меньше, чем подаваемая поливная норма. Однако, это не дает нам считать, что поливная норма завышена, так как часть влаги перераспределяется за пределы рассматриваемой площади, вследствие сглаженности перехода от увлажняемой зоны почвы к неувлажняемой.

На участках, где полив проводили с поливной нормой 64 м³/га в расчете на увлажнение 0,3-метрового слоя почвы, влага распределялась следующим образом: зона равная наименьшей влагоемкости ограничивалась вертикально слоем 0,25 м и диаметром 0,2–0,25 м. Далее мощностью 0,15 м находился горизонт с запасами влаги, соответствующими 95 % НВ. В слое почвы глубиной до 0,5 м влажность не опускалась ниже 75 % НВ. Применяя мульчирование при той же поливной норме, зона, равная наименьшей влагоемкости, увеличилась до 0,3 м, диаметр контура увлажнения составил 0,9 м, а влажность слоя почвы глубиной до 0,5 м не опускалась ниже 80 % НВ, составил 1,5 м в диаметре, а мощность горизонта увлажнения – 1,1 м.

При проведении полива нормой 95 м³/га, в расчете на увлажнение 0,3-метрового слоя почвы, влага распределялась иначе: зона равная наименьшей влагоемкости ограничивалась вертикально слоем 0,3 м и диаметром 0,3 м. Далее мощностью 0,1–0,2 м находился горизонт с запасами влаги, соответствующими 95 % НВ. Дальше, в слое почвы диаметром 0,8 м и глубиной до 0,7 м влажность не опускалась ниже 75 % НВ. С применением мульчирования при сохранении той же нормы полива 95 м³/га зона равная наименьшей влагоемкости увеличилась вертикально слоем до 0,35 м и диаметром 0,3–0,4 м, а диаметр по контуру увлажнения увеличился до 1,0–1,2 м.

При проведении полива нормой 127 м³/га, определённой для расчетного горизонта почвы 0,3 м, зона, равная наименьшей влагоемкости, составила 0,43 м, диаметром 0,4 м, слой почвы с влажностью не ниже 70 % НВ ограничился диаметром 0,9 м и мощностью горизонта 0,85 м. С применением мульчирования при той же поливной норме, зона, равная наименьшей влагоемкости, увеличилась до 0,46 м, диаметром 0,45 м, слой почвы с влажностью не ниже 70 % НВ составил 1,5 м в диаметре, а мощность горизонта увлажнения – 1,1 м. Результаты вычисления площадей зоны насыщения и оптимального увлажнения почвы сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Площади влажности почвы по границам контура увлажнения без применения мульчирования, м²

Поливная норма, м ³ /га	Площадь зоны насыщения $\omega_{нас}$, м ²	Площадь зоны оптимального увлажнения $\omega_{опт}$, м ²
64	0,039	0,512
95	0,073	0,812
127	0,127	1,020

Таблица 2. Площади влажности почвы по границам контура увлажнения с применением мульчирования, м²

Поливная норма, м ³ /га	Площадь зоны насыщения $\omega_{нас}$, м ²	Площадь зоны оптимального увлажнения $\omega_{опт}$, м ²
64	0,083	0,720
95	0,143	0,887
127	0,246	1,375

Аналитический и графический анализ экспериментального материала позволяет изучить еще одну важную особенность распределения влаги в почве при капельном орошении овощей. Она обусловлена тем, что влага при капельном орошении распределяется от точечного источника, а содержание воды в почве после полива сокращается от зоны расположения капельницы в вертикальном и горизонтальном направлении. Отбор почвенной влаги корневой системой овощей, обуславливая расход части не перераспределенной воды, делает этот переход более динамичным, а мощность горизонта промачивания – меньше. Однако, при поливе поверхности почвы, находящейся под уклоном, влага в почве с течением времени перераспределяется преимущественно в сторону уклона. Та же самая закономерность сохраняется с мульчированием почвы и с увеличением нормы полива.

Для выявления более точной закономерности формирования контура увлажнения почвы при капельном орошении и распределения влаги в объеме почвы во времени, был произведен научный экс-

перимент в лаборатории кафедры мелиорации и водного хозяйства УО БГСХА. Для осуществления эксперимента использовалась лабораторная установка, физический смысл которой заключался в следующем: в металлический бак размером 1,0×1,0×0,6 м был помещен массив грунта, взятый с опытного участка, уложенный послойно с воспроизведением морфологического сложения. В массив грунта было помещено 150 датчиков влажности, которые образовывали измерительную сетку. Расположение датчиков в горизонтальном направлении образовывало сетку 60×60 см с ячейками 10×10 см, в вертикальном направлении шаг датчиков составлял 10 см на глубину 60 см. каждый датчик подключался к сигнальной лампе расположенной на контрольном табло. На поверхности почвы располагалась капельная трубка. Положение капельницы соответствовало центру поверхности почвенного массива грунта. Поливная норма соответствовала техническим характеристикам капельницы (2,1 л / час). Расчетное время проведения опыта составило одни сутки. Время полива один час. Наблюдения фиксировались с помощью видеосъемки.

Алгоритм проведения опыта включал следующую последовательность.

Вода подавалась на капельницу, включался секундомер и видеофиксация. Продолжительность подачи воды составляла один час, расход воды контролировался при помощи мерного сосуда, установленного на капельнице, расположенной за пределами металлического бака. По мере поступления воды и впитывания ее в почву, при достижении датчика, на контрольном табло отмечалось загорание индикатора, свидетельствующее о достижении увлажнения почвы в заданной точке объема грунта. По истечении времени подача воды прекращалась, а фиксация увлажнения почвы продолжалась на протяжении последующих суток.

По результатам проведенного опыта можно сделать следующие заключения:

- форму контура увлажнения в первом приближении можно рассматривать как часть поверхности эллипсоида вращения вокруг вертикальной оси, проходящей через центр капельницы;
- на дерново-подзолистой почве во время подачи воды и до момента ее прекращения форма контура увлажнения шаровидная, в период после прекращения подачи воды и по истечении срока наблюдения форма имела вид натянутого эллипсоида в вертикальном направлении;
- радиус увлажнения на поверхности почвы составил 0,3 м;
- соотношение наибольшего диаметра зоны увлажнения на глубине 0,2–0,4 м и диаметра увлажнения на поверхности почвы неодинаковы, соотношение диаметров равно 2,0;
- фиксация увлажнения на границе глубины 0,5 м свидетельствует о значительном оттоке поливной воды из зоны корнеобитаемого слоя значительного количества видов овощных культур.

Анализ полученных данных послужил поиску решений, направленных на устранение недостатков капельного полива, в частности по поиску решений, направленных на уменьшение оттока продуктивной влаги в слои почвы, расположенные ниже корнеобитаемого слоя.

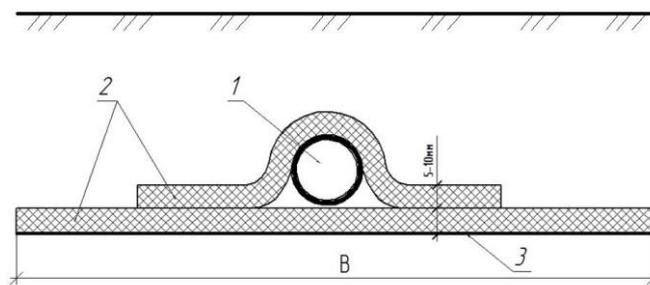
С этой целью было предложено изобретение: «Устройство подпочвенного капельного орошения с использованием защитного аккумулялирующего экрана».

Изобретение относится к специальности 6-05-0811-03 «Мелиорация и водное хозяйство» и может быть использовано в качестве способа подпочвенного капельного орошения овощных культур при грядковом или безгрядковом способе посева, с небольшой глубиной залегания корнеплодов или основного объема корневой системы.

В основу настоящего изобретения положена задача создания нового устройства подпочвенного капельного орошения, способного экономить воду, путем предотвращения фильтрации в нижние слои почвы и целенаправленной подачи этой воды в корнеобитаемый слой, сокращать интервалы полива за счет аккумуляции воды в специальном экране.

Поставленная задача решается тем, что подающий воду трубопровод в виде капельной трубки помещается в специальный экран, выполненный из гидрофильного материала толщиной 5–10 мм, имеющего нижний водонепроницаемый слой. Экран помещается в почву на глубину ниже корнеобитаемого слоя.

Сущность изобретения и возможность его осуществления поясняется рис. 1.



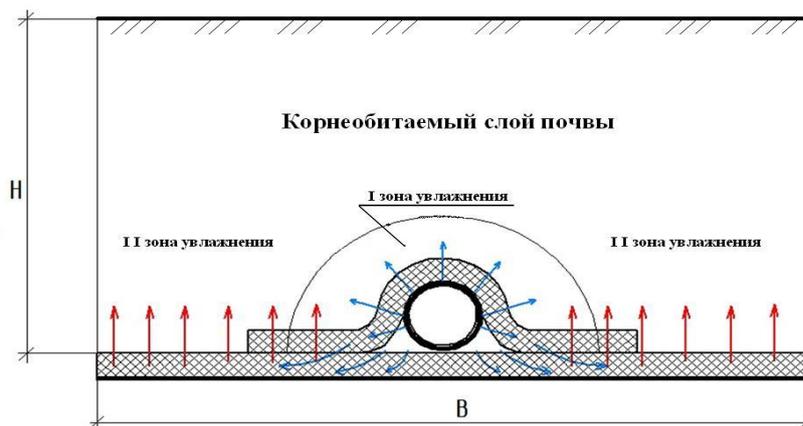
Условные обозначения:

- 1 – Капельная трубка;
- 2 – Экран из гидрофильного материала;
- 3 – Слой гидрофобного материала.

Рис. 1. Устройство подпочвенного капельного орошения с использованием защитного аккумулирующего экрана

Изобретение работает следующим образом. Вся конструкция, являющаяся неразборной, помещается на заданную глубину (H), равную корнеобитаемому слою почвы. Причем ширина экрана (B) принимается равной величине (H). Далее все засыпается почвой. По подающему трубопроводу (расположенному на поверхности почвы) вода поступает в капельную трубку (1), после чего через эмиттеры капельной трубки поступает в аккумулирующий воду экран (2).

По мере поступления и увеличения объема воды происходит ее распределение по экрану, а также фильтрация в верхние слои корнеобитаемой почвы (I зона увлажнения, рис. 2). После полного наполнения экрана, вода начинает фильтроваться под действием капиллярного подсоса по всей его площади (II зона увлажнения, рис. 2).



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- Фильтрация воды в почву на начальном этапе орошения;
- Фильтрация воды в верхний слой почвы из аккумулирующего экрана.

Рис. 2. Принцип работы устройства подпочвенного капельного орошения с использованием защитного аккумулирующего экрана

Конструкция предлагаемого изобретения позволяет:

- 1) избежать потерь воды вследствие растекания по поверхности почвы и испарения, т.к. устройство расположено в слое почвы;
- 2) исключить фильтрацию воды в нижние слои почвы;
- 3) равномерно распределять влагу в зоне корневой системы растений;
- 4) экономить воду, так как подача ее осуществляется в безнапорном режиме через эмиттеры капельной трубки, что способствует направленному впитыванию воды вышерасположенным слоем почвы;
- 5) увеличить межполивные интервалы, путем накопления влаги в аккумулирующем экране.

Заключение

Предложенное изобретение «Устройство подпочвенного капельного орошения с использованием защитного аккумулирующего экрана» способно повысить эффективность системы капельного полива путем избегания потерь воды вследствие растекания по поверхности почвы и испарения, так как

устройство расположено в слое почвы; исключить фильтрацию воды в нижние слои почвы, равномерно распределять влагу в зоне корневой системы растений, экономить воду, так как подача ее осуществляется в безнапорном режиме через эмиттеры капельной трубки, что способствует направленному впитыванию воды вышерасположенным слоем почвы, увеличить межполивные интервалы, путем накопления влаги в аккумулялирующем экране.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ромащенко, М. И. Изучение водопотребления плодовых, ягодных культур и винограда при микроорошении / М. И. Ромащенко, В. Н. Корюненко, О. Д. Семаш // Вестник аграрной науки. – 1994. – № 3. – С. 74–81.
2. Бородычев, В. В. Агроэкологические требования к гидромелиоративным системам нового поколения / В. В. Бородычев, А. В. Майер // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Защитное лесоразведение и мелиорация земель в степных и лесостепных районах России». – Волгоград: изд. ВГСХА, 1998. – С. 98–105.
3. Шейн, Е. В. Почвенные парадоксы (влагопроводность почв и капельное орошение) / Е. В. Шейн // Природа. – 2002. – № 10. – С. 8–10.
4. Лукашевич, В. М. Инновационные и ресурсосберегающие технологии в производстве овощной продукции / В. М. Лукашевич // III Республиканский форум молодых ученых учреждений высшего образования: сборник / редкол.: Н. Н. Шалобыта (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2024. – С. 232–234.
5. Бишоф, Э. А. Методические указания по статической обработке экспериментальных данных в мелиорации и почвоведении / Э. А. Бишоф, Г. С. Калмыков. – Л.: типография №6, 1977. – 270 с.
6. Лукашевич, В. М. Перспективы развития капельного орошения редиса в условиях северо-восточной части Республики Беларусь / В. М. Лукашевич, А.А. Константинов // Почвоведение в прошлом, в настоящем и будущем : материалы Междунар. науч.-практ. конф. посвященной «Всемирному дню почв» 5-6 декабря 2022 г. / Институт Почвоведения и Агрохимии и Хазарский университет: под ред.: Гулиев А. [и др.]. – Баку: Азербайджан, 2023. – С. 247–248.
7. Лукашевич, В. М. Капельное орошение салата в открытом грунте в условиях северо-восточной части Республики Беларусь / В. М. Лукашевич, А.А. Константинов // Почвоведение в прошлом, в настоящем и будущем : материалы Междунар. науч.-практ. конф. посвященной «Всемирному дню почв» 5-6 декабря 2022 г. / Институт Почвоведения и Агрохимии и Хазарский университет: под ред. : Гулиев А. [и др.]. – Баку: Азербайджан, 2023. – С. 239–241.
8. Методические рекомендации по определению оптимальных поливных и оросительных норм для сельскохозяйственных культур / А. С. Анженков [и др.]; РУП «Институт мелиорации». – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 24 с.