

12 Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод на мелких групповых водозаборах и одиночных эксплуатационных скважинах: введ. 25.07.00 // ИС «Техэксперт: «6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

13 Мелиоративные системы и сооружения. Речные плотинные водозаборы (Пособие к СНиП 2.06.03-85): введ. 01.01.87 // ИС «Техэксперт: «6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

14 Гидротехнические сооружения / Н. П. Розанов [и др.]; под ред. Н. П. Розанова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.

15 Системы противопожарной защиты. Источники наружного противопожарного водоснабжения. Требования пожарной безопасности: СП 8.13130.2009: введ. в действие с 25.03.09 // ИС «Техэксперт: «6 поколение» Интранет [Электронный ресурс]. – Кодекс Юг, 2018.

УДК 631.674.6

А. С. Штанько, М. В. Власов

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗОН УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ

Целью исследования является разработка способа определения объема единичного контура увлажнения почвенного пространства при капельном поливе. Расчет поливных норм капельного полива предусматривает определение объемов единичных контуров увлажнения подкапельного почвенного пространства, формируемых одним капельным микроводовыпуском. Объем увлажняемого одной капельницей почвенного пространства в общем случае зависит от почвенных условий и технологических параметров капельного полива. Общепринятый способ его определения до настоящего времени отсутствует при все возрастающей потребности в нем, что и предопределило актуальность и необходимость проведения настоящего исследования. В основу предложенного способа положена полученная зависимость для определения объема единичного контура увлажнения, которая базируется на экспериментальных исследованиях, выполненных для широкого спектра почвенных условий капельного орошения, и позволяет с приемлемой для практического использования точностью прогнозировать (рассчитывать) объем увлажняемого при капельном поливе почвенного пространства.

Ключевые слова: капельное орошение, капельный полив, контур увлажнения, очертание контура, объем контура, почвенные условия, технологические условия.

A. S. Shtanko, M. V. Vlasov

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

THE ZONE SOIL SPACE MOISTURE VOLUMES DETERMINATION UNDER DRIP IRRIGATION

The purpose of the study is to develop a method for determining the volume of a single soil moisture contour during drip irrigation. The calculation of drip irrigation rates involves the determination of single moisture contours volume of subsurface soil space, formed by one drip micro outlet. The soil space volume moistened by one emitter generally depends on soil conditions and technological parameters of drip irrigation. In spite the ever-increasing demand the generally accepted method of its determination is still absent that predetermined the

relevance and necessity of the given research. The obtained dependence for determining the single moisture contour volume based on experimental studies carried out for a wide range of soil conditions under drip irrigation is the basis of the proposed method and allows to predict (calculate) the soil space volume moistened by drip irrigation.

Key words: drip irrigation, drip watering, moisture contour, contour outline, contour volume, soil conditions, technological conditions

Введение. В процессе капельного полива в подкапельном почвенном пространстве формируется зона, область или локальный контур искусственно увлажненной почвы [1, 2]. Линейные, площадные и объемные параметры контура капельного увлажнения в течение продолжительного времени являлись предметом научных исследований, в процессе которых специалисты в области капельного орошения пришли к выводу о необходимости определения объемов капельно увлажняемого пространства для последующего использования этих значений при определении поливных норм [3] и проектировании систем капельного орошения сельскохозяйственных культур [4]. При решении указанной задачи исследователи столкнулись с проблемой многофакторного влияния среды увлажнения и технологических условий капельного полива на форму (очертание) и размеры контуров увлажнения. Разнородность состава и структуры увлажняемой почвогрунтовой толщи, наличие в почве включений и пор приводило к трансформации форм и размеров контуров и значений показателей влажности почвы во внутриконтурном пространстве. Описывающие ограничивающие контуры условные поверхности имеют сложное очертание по глубине и в плане, что потребовало их аппроксимации и приведения к форме относительно простых геометрических фигур.

В наиболее ранних работах сложноформенностью локальных контуров капельного увлажнения почвогрунтового подкапельного пространства пренебрегали, а объем увлажняемой зоны определялся по объему параллелепипеда или куба по зависимостям:

$$W_{\text{кон}} = a \cdot b \cdot h_{\text{кон}} \text{ или при } a = b \quad W_{\text{кон}} = b^2 \cdot h_{\text{кон}},$$

где $W_{\text{кон}}$ – объем локального (единичного) контура капельного увлажнения почвы, м³;

a и b – линейные размеры контура увлажнения в плане (ширина и длина), м;

$h_{\text{кон}}$ – глубина зоны увлажнения (промачивания) почвы при капельном поливе, м.

Указанный подход в последующем использовался при расчетах объемов линейно расположенных контуров, формирующих полосу увлажнения почвы [5], и приводил к существенному (близкому к двукратному) завышению расчетных объемов увлажняемого почвенного пространства, а следовательно и поливных норм.

Известны предложения приведения формы единичных контуров капельного увлажнения почв к форме цилиндра. При такой аппроксимации их внешнего очертания объем контура $W_{\text{кон}}$, м³, предполагалось определять по соотношению вида:

$$W_{\text{кон}} = 0,785 \cdot d_{\text{кон}}^2 \cdot h_{\text{кон}},$$

где $d_{\text{кон}}$ – диаметр локального (единичного) контура капельного увлажнения почвы, м.

При этом в ранних разработках [6] за значение диаметра контура принималась его наибольшая фиксируемая по глубине величина, а имеющее при таком подходе место превышение расчетных значений объемов над измеренными компенсировалось введением корректирующих коэффициентов. В последующем указанный подход был усовершенствован введением в расчетную зависимость вместо значения $d_{\text{кон}}$ величины $d_{\text{ср}}$ – среднего по вертикальному увлажняемому профилю почвы диаметра, м [7]. При таком подходе объем контура максимально приближался к реальному значению, но его широкое использование сдерживалось отсутствием рекомендаций и зависимостей для определения значений среднего диаметра контура, на величину которого значимое влияние оказывают почвенные и технологические условия капельного полива.

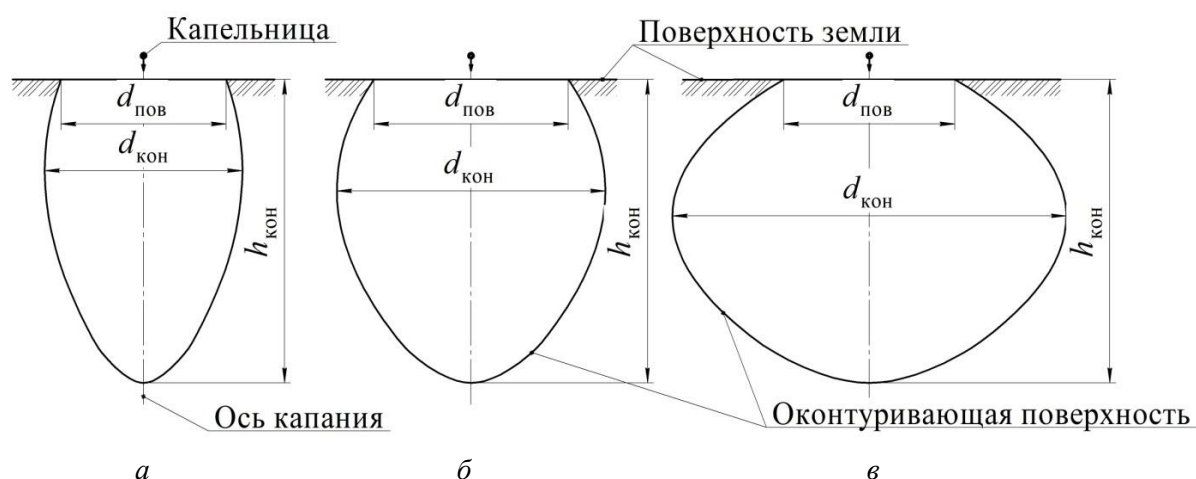
С учетом широкого разнообразия реально фиксируемых форм контуров и сложности их приведения к единой форме цилиндра М. Ю. Храбровым было предложено аппроксимировать контуры к форме усеченного шара для контуров, формирующихся в тяжелых типах почв, и к форме «цилиндро-конуса» для легких типов почв [8]. Предложенные М. Ю. Храбровым зависимости для определения объемов указанных форм контуров нашли реальных пользователей, но их широкое применение затруднялось по причине отсутствия зависимостей для определения линейных параметров указанных условно принятых форм контуров для всего спектра почвенных характеристик, и в частности для почв среднего гранулометрического состава.

Известны предложения по определению объемов увлажняемого пространства для контуров, условно аппроксимированных к форме эллипсоида [9] и параболоида [10]. Условность принятых форм очертания контуров при отсутствии должного объема рекомендаций по определению характерных линейных параметров указанных геометрических фигур ограничивает использование вышеприведенных предложений в реальной практике проектирования и эксплуатации систем капельного орошения.

В связи с вышеизложенным целью исследования определена разработка методики расчета объема единичного контура увлажнения почвенного пространства при капельном поливе, учитывающей почвенные и технологические условия его проведения.

Материалы и методы. К настоящему времени исследователями, пользователями и разработчиками систем капельного орошения растений собран значительный объем экспериментального материала по определению (измерению) геометрических параметров контуров увлажнения почвы, включая данные по их внешнему очертанию. Определенный объем экспериментальных данных, собранный авторами настоящего исследования, позволяет сформулировать авторское предложение по определению объема пространства (контура) промачивания почвы при капельном поливе.

В основу метода расчета положена зависимость для определения координат ограничивающей контур линии и ее математического описания [11]. Указанная зависимость получена для широкого спектра почвенных и технологических параметров и условий капельного полива и позволяет описать очертание оконтуривающей поверхности или ограничивающей вертикальный профиль контура увлажнения линии. Примеры профилей очертаний контуров, формирующихся в подкапельном почвенном пространстве в различных почвенных условиях, приведены на рисунке 1.



a – для почв легкого гранулометрического состава; *б* – для почв среднего гранулометрического состава; *в* – для почв тяжелого гранулометрического состава; $d_{\text{пов}}$ – поверхностный диаметр контура капельного увлажнения, м

Рисунок 1 – Примеры очертаний (вертикальных профилей) локальных контуров увлажнения

Результаты и обсуждение. Увлажняемое при капельном поливе почвогрунтовое пространство (контур капельного увлажнения почвы) в описательно-математическом отношении представляет собой тело вращения, которое формируется вращением вокруг оси капания плоскости, ограниченной вертикальной осью капания, горизонтальной поверхностью земли и ограничивающей контур линией (рисунок 2).

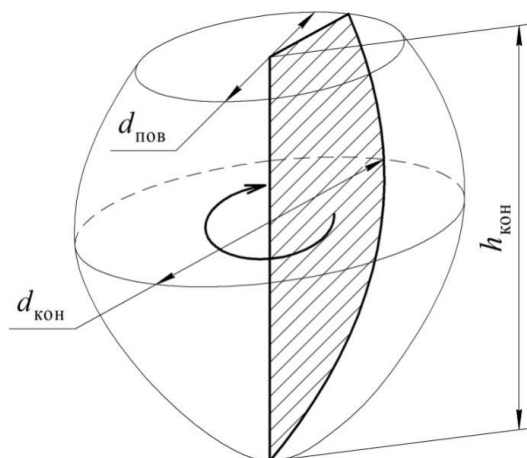


Рисунок 2 – Схема локального контура капельного увлажнения почвенного пространства

Зависимость, описывающая оконтуривающую локальную зону капельного увлажнения почвы в относительных координатах, имеет вид полинома [11]:

$$r_{h_j} / r_{\text{кон}} = k_0 + k_1 \cdot (h_j / h_{\text{кон}}) - k_2 \cdot (h_j / h_{\text{кон}})^2 + k_3 \cdot (h_j / h_{\text{кон}})^3 - k_4 \cdot (h_j / h_{\text{кон}})^{30}, \quad (1)$$

где r_{h_j} – радиус (удаленность от оси контура) точки на ограничивающей контур линии на глубине h_j или горизонтальная координата контурной линии на глубине h_j , м;

$r_{\text{кон}}$ – максимальный радиус (максимальное удаление граничной линии от оси контура) оконтуривающей зону (область) увлажнения почвы изоплеты;

k_0 – экспериментально установленный свободный член полинома (1):

$$k_0 = 0,5 \cdot [2 - 0,005 \cdot \bar{W}_{\text{г/ч}} \cdot \bar{\gamma}_{\text{об}} - 0,001 \cdot (10,47 \cdot \ln \bar{W}_{\text{г/ч}} - 13,60)^{1,84} - 0,002 \cdot (10,47 \cdot \ln \bar{W}_{\text{г/ч}} - 13,60)^{0,45}],$$

где $\bar{\gamma}_{\text{об}}$ – средняя по глубине увлажняемого слоя $h_{\text{кон}}$ плотность сложения почвы, т/м³;

$\bar{W}_{\text{г/ч}}$ – среднее по глубине слоя увлажнения (контура увлажнения) содержание физической глины в почве, определяемое в процентах от массы сухой почвы (% МСП);

k_1 – коэффициент при члене полинома (1) со значением переменной $(h_j / h_{\text{кон}})$:

$$k_1 = 1,03 / k_0^{1,2};$$

k_2 – коэффициент при члене полинома (1) со значением переменной $(h_j / h_{\text{кон}})^2$:

$$k_2 = k_0 + k_1;$$

k_3, k_4 – эмпирические коэффициенты при членах полинома со значениями соотношений $(h_j / h_{\text{кон}})^3$ и $(h_j / h_{\text{кон}})^{30}$ соответственно, определяемые по зависимости вида:

$$k_3 = k_4 = 0,255 \cdot k_0^{0,01}.$$

Объем пространства (контура капельного увлажнения почвы), образованного

вращением вокруг оси контура представленной на рисунке 2 фигуры, может быть определен как объем тела, которое ограничено поверхностью, полученной вращением вокруг оси ординат линии, описываемой полиномом (1), по зависимости вида:

$$W_{\text{кон}} = \pi \cdot \int_a^b \varphi^2(y) dy, \quad (2)$$

где π – математическая константа, $\pi = 3,14$;

a – нижний предел интегрирования, принимаемый равным 0;

b – верхний предел интегрирования, равный глубине контура увлажнения $h_{\text{кон}}$, м;

$\varphi(y)$ – функция переменной, представляющая собой зависимость вида:

$$r_{h_j} = r_{\text{кон}} \cdot \left[k_0 + k_1 \cdot (h_j / h_{\text{кон}}) - k_2 \cdot (h_j / h_{\text{кон}})^2 + k_3 \cdot (h_j / h_{\text{кон}})^3 - k_4 \cdot (h_j / h_{\text{кон}})^{30} \right].$$

Применительно к рассматриваемому случаю выражение (2) приобретает вид:

$$W_{\text{кон}} = \pi \cdot \int_0^{h_{\text{кон}}} \left[r_{h_j} \left(\frac{h_j}{h_{\text{кон}}} \right) \right]^2 d \left(\frac{h_j}{h_{\text{кон}}} \right).$$

В результате интегрирования получено выражение для определения объема контура увлажнения почвенного пространства при капельном поливе в виде:

$$\begin{aligned} W_{\text{кон}} = \pi \cdot r_{\text{кон}}^2 \cdot & \left(k_0^2 \cdot h_j + \frac{k_0 \cdot k_1}{h_{\text{кон}}} \cdot h_j^2 + \frac{k_1^2}{3 \cdot h_{\text{кон}}^2} \cdot h_j^3 - \frac{2 \cdot k_0 \cdot k_2}{3 \cdot h_{\text{кон}}^2} \cdot h_j^3 - \frac{k_1 \cdot k_2}{2 \cdot h_{\text{кон}}^3} \cdot h_j^4 + \right. \\ & + \frac{k_2^2}{5 \cdot h_{\text{кон}}^4} \cdot h_j^5 + \frac{k_0 \cdot k_3}{2 \cdot h_{\text{кон}}^3} \cdot h_j^4 + \frac{2 \cdot k_1 \cdot k_3}{5 \cdot h_{\text{кон}}^4} \cdot h_j^5 - \frac{k_2 \cdot k_3}{3 \cdot h_{\text{кон}}^5} \cdot h_j^6 + \frac{k_3^2}{7 \cdot h_{\text{кон}}^6} \cdot h_j^7 - \frac{2 \cdot k_0 \cdot k_4}{31 \cdot h_{\text{кон}}^{30}} \cdot h_j^{31} - \\ & \left. - \frac{k_1 \cdot k_4}{16 \cdot h_{\text{кон}}^{31}} \cdot h_j^{32} + \frac{2 \cdot k_2 \cdot k_4}{33 \cdot h_{\text{кон}}^{32}} \cdot h_j^{33} - \frac{k_3 \cdot k_4}{17 \cdot h_{\text{кон}}^{33}} \cdot h_j^{34} + \frac{k_4^2}{61 \cdot h_{\text{кон}}^{60}} \cdot h_j^{61} \right) \Big|_0^{h_{\text{кон}}} = \\ & = \pi \cdot r_{\text{кон}}^2 \cdot h_{\text{кон}} \cdot \left(k_0^2 + k_0 \cdot k_1 + \frac{k_1^2}{3} - \frac{2 \cdot k_0 \cdot k_2}{3} - \frac{k_1 \cdot k_2}{2} + \frac{k_2^2}{5} + \frac{k_0 \cdot k_3}{2} + \right. \\ & \left. + \frac{2 \cdot k_1 \cdot k_3}{5} - \frac{k_2 \cdot k_3}{3} + \frac{k_3^2}{7} - \frac{2 \cdot k_0 \cdot k_4}{31} - \frac{k_1 \cdot k_4}{16} + \frac{2 \cdot k_2 \cdot k_4}{33} - \frac{k_3 \cdot k_4}{17} + \frac{k_4^2}{61} \right). \end{aligned}$$

Выводы

1 Таким образом, предлагаемый способ определения объема локального контура увлажнения заключается в определении его как объема тела, которое ограничено поверхностью, полученной вращением вокруг оси ординат линии, описываемой предложенной авторами ранее и имеющей вид полинома зависимостью.

2 В результате исследований получена зависимость для расчета объема локального контура увлажнения, формирующегося в подкапельном почвенном пространстве при капельном поливе, позволяющая с точностью $\pm 12\%$ прогнозировать данный параметр для широкого спектра типов почв (при изменении содержания в них физической глины от 15 до 70 % МСП).

Список использованных источников

1 Анохин, А. М. Основы мелиорации вод и водных объектов: курс лекций / А. М. Анохин, М. М. Мордвинцев, В. Н. Шкура; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск, 2001. – 290 с.

2 Шкура, В. Н. Природообустройство: терминологический словарь / В. Н. Шкура; Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. – Новочеркасск, 2009. – 768 с.

3 Шкура, В. Н. Капельное орошение яблони: монография / В. Н. Шкура, Д. Л. Обухов, А. Н. Рыжаков; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

4 Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения: учеб. пособие / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 197 с.

5 Пат. 2204241 Российская Федерация, МПК А 01 G 25/02. Способ определения поливных норм при капельном орошении томатов / Кружилин И. П., Салдаев А. М., Кружилин Ю. И., Ходяков Е. А., Галда А. В.; заявитель и патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т орошаемого земледелия. – № 2001128337/13; заявл. 18.10.01; опубл. 20.05.03, Бюл. № 14. – 5 с.

6 Олейник, А. М. Характер формирования контуров увлажнения почвы при капельном орошении / А. М. Олейник, М. К. Гаджиев // Режимы орошения и водопотребление сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе: сб. науч. тр. / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1984. – С. 129–133.

7 Штанько, А. С. Расчет среднего диаметра и объема контура капельного увлажнения почв / А. С. Штанько, В. Н. Шкура // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 3(31). – С. 39–57. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=556&id=559>. – DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-39-57.

8 Храбров, М. Ю. Расчет распространения влаги в почве при капельном орошении / М. Ю. Храбров // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 34–35.

9 Мелихова, Е. В. Математическое моделирование и оптимизация режима орошения корнеплодов на светло-каштановых почвах Волгоградской области / Е. В. Мелихова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2009. – № 1. – С. 126–132.

10 Жатканбаева, А. О. Математическое моделирование линейного параметра контуров увлажнения при капельном орошении / А. О. Жатканбаева, А. Т. Козыкеева, Ж. С. Мустафаев // Журнал КазНАУ «Исследования и результаты». – 2016. – № 2. – С. 120–127.

11 Рыжаков, А. Н. О форме локального контура капельного орошения / А. Н. Рыжаков, В. Н. Шкура, А. С. Штанько // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 94–100.

УДК 631.347:631.58

А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский, В. Иг. Ольгаренко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

Р. В. Скиданов, В. В. Подлипнов

Институт систем обработки изображений Российской академии наук – филиал федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, Самара, Российская Федерация;

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, Самара, Российская Федерация

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ШИРОКОЗАХВАТНОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО ОРОШЕНИЯ

В статье приводится способ решения проблемы равномерного увлажнения сельскохозяйственных культур при поливе дождеванием, который заключается в использовании гиперспектрометра. Полученные с его помощью гиперспектральные изображения посредством системы управления обрабатываются, определяются сегмен-