

УДК 631.674.6:634

**А. С. Штанько, М. В. Власов**

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

**Я. Е. Удовидченко**

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар,  
Российская Федерация

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОЕКЦИИ ЛОКАЛЬНОГО КОНТУРА КАПЕЛЬНОГО УВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВЫ**

*Целью исследования является разработка способа определения геометрических параметров горизонтальной проекции локального контура капельного увлажнения почвы. При проектировании капельной поливной сети в садовых насаждениях перед проектировщиком встает задача подбора количества и расстановки капельных микропроводовыпусков в зоне расположения корневой системы растения. На начальном этапе решения этой задачи необходимы сведения о геометрических параметрах формирующейся в почве при капельном поливе зоны увлажнения. В процессе исследований проведен анализ опытных данных о параметрах контуров капельного увлажнения почвы, в результате которого получены описывающие их эмпирические зависимости, учитывающие почвенные, технологические и рельефные условия их формирования. В результате с использованием полученного комплекса зависимостей предложен способ определения геометрических параметров локального контура капельного увлажнения почвы, позволяющий прогнозировать конфигурацию и площадь горизонтальной проекции локальных контуров капельного увлажнения.*

*Ключевые слова:* капельное орошение; контур увлажнения; горизонтальная проекция; геометрические параметры; конфигурация; площадь.

\*\*\*\*\*

**A. S. Shtanko, M. V. Vlasov**

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

**Y. E. Udovidchenko**

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

### **DETERMINATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF HORIZONTAL PROJECTION OF SOIL DRIP MOISTENING LOCAL CONTOUR**

*The aim of the research is the development of a method for determining the geometric parameters of the horizontal projection of the soil drip moistening local contour. When designing a drip irrigation network in gardens, the designer is faced with the task of selecting the number and arrangement of drip micro-outlets in the zone of the plant's root system. At the initial stage of solving this problem, information on geometric parameters of moisture formed in soil during drip irrigation is needed. In the process of research an analysis of experimental data on the parameters of the soil drip moistening contours was conducted, as a result of which empirical dependencies describing soil, technological, and relief conditions for their formation were obtained. As a result, using the obtained complex of dependences, a method for determining the geometric parameters of the soil drip moistening local contour which allows predicting the configuration and the area of the horizontal projection of the drip moistening local contours is proposed.*

*Key words:* drip irrigation; moisture contour; horizontal projection; geometric parameters; configuration; area.

**Введение.** При капельном поливе сельскохозяйственных культур, в отличие от других способов полива, и в частности от дождевания [1], в почве формируются локальные зоны увлажнения, геометрические и влажностные параметры которых зависят от ряда условий проведения полива, основными из которых являются почвенные, технологические и рельефные [2–4]. При проектировании поливной сети капельного орошения сельскохозяйственных культур, особенно многолетних древесных культур в садовых насаждениях, проектировщик сталкивается с задачей подбора количества и расстановки капельных микроводовыпусков на площади, освоённой корневой системой растения. Одним из способов решения этой задачи является сопоставление площадей горизонтальных проекций зоны питания корневой системы растения и контуров капельного увлажнения почвы, соотношение которых принимается в зависимости от природно-климатической зоны культивирования растения и может составлять от 0,1 до 0,5 [5]. В связи с этим целью настоящего исследования определена разработка способа определения геометрических параметров горизонтальной проекции локального контура увлажнения почвы, формирующегося при капельном поливе.

**Материалы и методы.** Опытной базой для получения эмпирических зависимостей и разработки на их основе способа определения геометрических параметров горизонтальной проекции локального контура капельного увлажнения почвы послужили результаты натурных исследований параметров контуров влажности почвы. Проведёнными ранее исследованиями было установлено, что на конфигурацию контура капельного орошения почвы, кроме технологических (поливная норма, расход капельного микроводовыпуска) и почвенных (содержание физической глины, наименьшая влагоёмкость и объёмная масса почвы) условий проведения полива, значительное влияние оказывает уклон земельного участка [6, 7]. На относительно ровном (безуклонном) участке аппроксимированный контур увлажнения в плане имеет форму круга, а на пологосклонном участке при прочих равных условиях вытянут в направлении уклона поверхности земли, что проиллюстрировано рисунком 1.



**Рисунок 1 – Схемы контуров капельного увлажнения почвы**

Установлено, что чем больше уклон поверхности земли, тем больше выражено смещение очертания контура капельного увлажнения вниз по склону относительно капельного микроводовыпуска (точки водоподачи) [7]. При разработке способа прогнозирования параметров горизонтальной проекции локального контура влажности почвы приняты нижеследующие допущения: 1) при одинаковых технологических и почвенных условиях проведения полива площади горизонтальных проекций контуров влаж-

ности на безуклонных и пологосклонных участках принимаются одинаковыми; 2) в тех же условиях радиус горизонтальной проекции «безуклонного» контура влажности равен расстоянию от капельницы до границы контура влажности в поперечном склоне направлении для «склонового» контура влажности почвы.

**Результаты и обсуждение.** Анализ экспериментальных данных, собранных авторами настоящего исследования, позволил получить эмпирические зависимости для функциональной связи линейных размеров горизонтальной проекции локального контура увлажнения почвы с параметрами почвенной среды, требуемой глубиной увлажнения и уклоном поверхности земли на орошаемом участке. С использованием указанных зависимостей получены уравнения для определения координат граничной линии и площади горизонтальной проекции контура влажности почвы. На базе полученного комплекса зависимостей был разработан способ определения геометрических параметров горизонтальной проекции локального контура капельного увлажнения почвы, заключающийся в нижеследующем.

1 Исходными данными для расчета являются параметры, характеризующие условия проведения капельного полива: среднее содержание физической глины в почве  $W_{\Gamma}$  в процентах от массы сухой почвы (% МСП); средняя наименьшая влагоемкость исследуемого почвенного профиля  $W_{\text{НВ}}$ , % МСП; средняя плотность сложения почвы  $\gamma$ , т/м<sup>3</sup>; требуемая глубина увлажнения  $h_{\text{увл}}$ , м, и уклон поверхности земли  $\varphi_c$ , °.

2 Расстояние от точки капания до границы горизонтальной проекции контура влажности в поперечном склоне направлении  $L_{\text{к,п}}$ , м, определяется по зависимости:

$$L_{\text{к,п}} = 0,25 \cdot \left[ (0,51 + 0,009 \cdot \bar{W}_{\Gamma}) + (0,073 + 0,038 \cdot \bar{W}_{\text{НВ}}) \right] \cdot h_{\text{увл}} \quad (1)$$

Необходимо отметить, что в частном случае при уклоне поверхности земли  $\varphi_c$ , равном нулю, форма горизонтальной проекции контура капельного увлажнения принимается круглой с центром в точке капания и радиусом  $R_{\text{к}}$ , м. При этом радиус горизонтальной проекции «безуклонного» контура  $R_{\text{к}}$  равен значению  $L_{\text{к,п}}$  «склонового» контура и определяется по зависимости (1).

3 Расстояние от точки капания до границы горизонтальной проекции контура влажности в направлении вверх по склону  $L_{\text{к,в}}$ , м, рассчитывается по зависимости вида:

$$L_{\text{к,в}} = (1 - 0,045 \cdot \varphi_c) \cdot L_{\text{к,п}}$$

4 Расстояние от точки капания до границы горизонтальной проекции контура влажности в направлении вниз по склону  $L_{\text{к,н}}$ , м, определяется по зависимости:

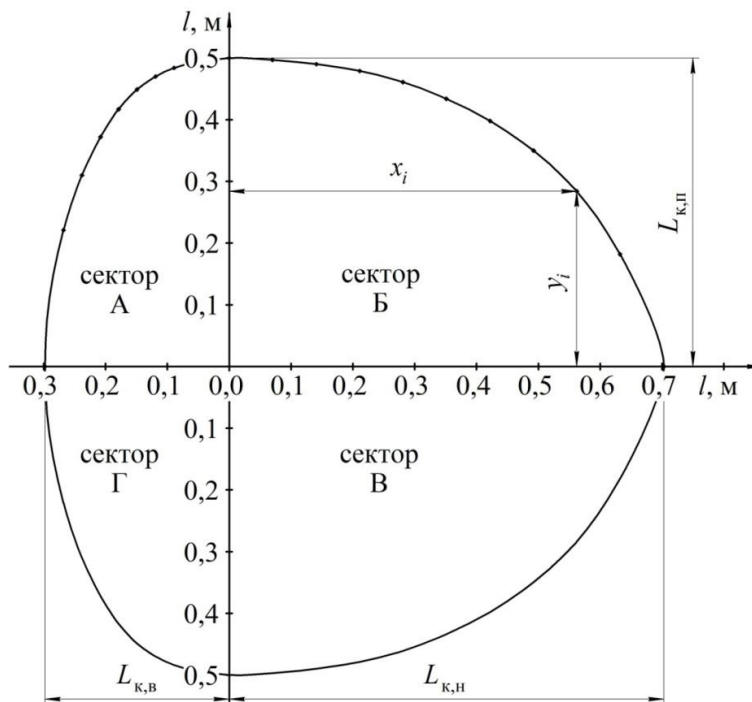
$$L_{\text{к,н}} = (1 + 0,045 \cdot \varphi_c) \cdot L_{\text{к,п}}$$

5 Координаты  $y_i$  граничной линии «верхового» сектора А (рисунок 2) для  $0 \leq x_i \leq L_{\text{к,в}}$  с шагом  $0,1 L_{\text{к,в}}$  определяются из уравнения вида:

$$\frac{y_i}{L_{\text{к,п}}} = 1 - \left[ 0,05 \cdot \frac{x_i}{L_{\text{к,в}}} + 0,10 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{\text{к,в}}} \right)^2 + 0,20 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{\text{к,в}}} \right)^3 + 0,50 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{\text{к,в}}} \right)^4 - 0,10 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{\text{к,в}}} \right)^5 + 0,25 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{\text{к,в}}} \right)^{25} \right], \quad (2)$$

где  $y_i$  – вертикальные координаты точки граничной линии, м;

$x_i$  – горизонтальные координаты точки граничной линии, м.



**Рисунок 2 – Схема планового очертания контура капельного увлажнения почвы**

6 Координаты  $y_i$  граничной линии «низового» сектора Б (рисунок 2) для  $0 \leq x_i \leq L_{к,н}$  с шагом  $0,1 L_{к,н}$  определяются из уравнения вида:

$$\frac{y_i}{L_{к,п}} = 1 - \left[ 0,05 \cdot \frac{x_i}{L_{к,н}} + 0,15 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,н}} \right)^2 + 0,40 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,н}} \right)^3 + 0,60 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,н}} \right)^4 - \right. \\ \left. - 0,60 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,н}} \right)^5 + 0,40 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,н}} \right)^{10} \right]. \quad (3)$$

7 Построение очертания горизонтальной проекции «склонового» контура капельного увлажнения почвы производится в соответствии с рисунком 2. Точка расположения капельного микроводовыпуска принимается за начало системы координат.

7.1 Граничные линии горизонтальной проекции контура влажности почвы строятся по секторам А и Б. Для этого на принятую систему координат наносятся точки граничной линии в указанных секторах, которые соединяются между собой. Необходимо отметить, что исходя из условия  $0 \leq x_i \leq L_{к,в}$  в эмпирической зависимости (2) для верхового сектора значение  $x_i$  принимается положительным. В системе координат по рисунку 2 точка расположения капельницы принимается за начало координат, следовательно, в данной системе координат при построении верхового сектора плана контура необходимо использовать отрицательные значения координаты  $x_i$ .

7.2 Очертания граничной линии горизонтальной проекции контура влажности почвы в секторах В и Г принимаются симметричными секторам А и Б.

8 Определяется площадь горизонтальной проекции контура влажности почвы.

8.1 Зависимости для определения площади секторов А и Б горизонтальной проекции «склонового» контура капельного увлажнения почвы получены путем интегрирования уравнений (2) и (3) соответственно. В результате площадь сектора А ( $S_A, m^2$ ) определяется по зависимости вида:

$$S_A = \int_0^{L_{к,в}} L_{к,п} \cdot \left( 1 - \left[ 0,05 \cdot \frac{x_i}{L_{к,в}} + 0,10 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,в}} \right)^2 + 0,20 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,в}} \right)^3 + 0,50 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,в}} \right)^4 - \right. \right. \\ \left. \left. - 0,10 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,в}} \right)^5 + 0,25 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,в}} \right)^{25} \right] \right) dx = 0,799 \cdot L_{к,п} \cdot L_{к,в},$$

а площадь сектора Б ( $S_B$ , м<sup>2</sup>) по зависимости вида:

$$S_B = \int_0^{L_{к,н}} L_{к,п} \cdot \left( 1 - \left[ 0,05 \cdot \frac{x_i}{L_{к,н}} + 0,15 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,н}} \right)^2 + 0,40 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,н}} \right)^3 + 0,60 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,н}} \right)^4 - \right. \right. \\ \left. \left. - 0,60 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,н}} \right)^5 + 0,40 \cdot \left( \frac{x_i}{L_{к,н}} \right)^{10} \right] \right) dx = 0,767 \cdot L_{к,п} \cdot L_{к,в}.$$

8.2 Так как секторы В и Г горизонтальной проекции контура являются симметричными секторам соответственно А и Б, общая площадь горизонтальной проекции контура капельного увлажнения почвы  $S_p$ , м<sup>2</sup>, определяется по зависимости вида:

$$S_p = (S_A + S_B) \cdot 2.$$

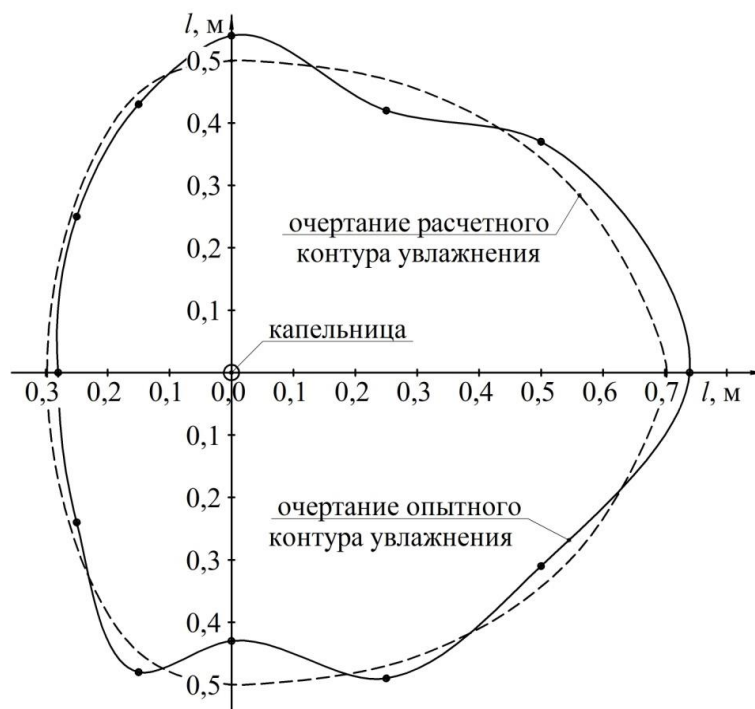
8.3 В частном случае при  $\varphi_c = 0^\circ$  площадь горизонтальной проекции «безуклонного» контура капельного увлажнения почвы  $S_{\varphi=0}$ , м<sup>2</sup>, для упрощения расчетов можно определить по зависимости для площади круга:

$$S_{\varphi=0} = \pi \cdot R_k^2.$$

Применимость для практического использования предложенного способа подтверждается сопоставлением данных о параметрах контура капельного увлажнения, зафиксированного на пологосклонном участке крутизной  $\varphi_c = 9^\circ$ , расположенном в Октябрьском районе Ростовской области, с расчетными значениями этих параметров для данных условий проведения полива. Почвы опытного участка представлены южными среднетяжелыми тяжелосуглинистыми малогумусными черноземами со следующими характеристиками:  $W_T = 58,0$  % МСП;  $W_{НВ} = 25,2$  % МСП;  $\gamma = 1,4$  т/м<sup>3</sup>. Глубина увлажнения составила  $h_{увл} = 0,97$  м. Сопоставление очертаний горизонтальных проекций опытного (построенного по данным натурных исследований) и расчетного (построенного по результатам расчета по предложенному способу) контуров капельного увлажнения почвы проиллюстрировано рисунком 3, который подтверждает качественное и количественное подобие форм очертания горизонтальной проекции опытного и расчетного (прогнозируемого) контуров капельного увлажнения почвы.

Значение площади прогнозируемого по предложенному способу и опытного контуров капельного увлажнения, приведенных на рисунке 3, составило  $S_p = 0,778$  м<sup>2</sup> и  $S_{оп} = 0,776$  м<sup>2</sup> соответственно. Отклонение расчетного значения от опытного составило 0,2 %, что свидетельствует о практической применимости предложенного способа определения геометрических параметров для условий проведения опыта. Отметим, что имеющие место отклонения координат граничной линии в отдельных точках контура, достигающие 14 %, носят локальный характер и не изменяют общего совпадения опытного и расчетного контуров влажности. При расширении опытного банка данных о фактических параметрах контуров капельного увлажнения возможна корректировка

коэффициентов полученных зависимостей с целью адаптации предложенного способа к различным сочетаниям почвенных, технологических и рельефных условий проведения капельного полива сельскохозяйственных растений.



**Рисунок 3 – Очертания горизонтальной проекции опытного и расчетного контуров капельного увлажнения почвы**

### Выводы

1 В результате исследований с использованием полученного комплекса эмпирических зависимостей был разработан способ определения геометрических параметров горизонтальной проекции локального контура капельного увлажнения почвы.

2 Апробацией способа путем сопоставления опытных и расчетных значений параметров горизонтальной проекции контура капельного увлажнения для конкретных условий проведения капельного полива установлено качественное и количественное подобие очертаний горизонтальной проекции опытного и прогнозируемого контуров.

3 В дальнейшем предполагается апробация предложенного способа в различных почвенных, технологических и рельефных условиях проведения капельного полива и его адаптация к различным сочетаниям почвенных, технологических и рельефных условий проведения капельного полива сельскохозяйственных растений.

### Список использованных источников

1 Васильев, С. М. Дождевание: учеб. пособие / С. М. Васильев, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 352 с.

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

3 Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения: учеб. пособие / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск, 2017. – 200 с.

4 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.

5 Ясониди, О. Е. Капельное орошение / О. Е. Ясониди. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

6 Штанько, А. С. Методика прогнозирования контуров капельного увлажнения почв на склоновых землях / А. С. Штанько, В. Н. Шкура // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2019. – № 4(36). – С. 72–87. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=630&id=636>. – DOI: 10.31774/2222-1816-2019-4-72-87.

7 Храбров, М. Ю. Ресурсосберегающие технологии и технические средства орошения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Храбров Михаил Юрьевич. – М., 2008. – 266 с.

УДК 634.11:581.43

**А. С. Штанько, А. А. Куприянов**

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

**Я. Е. Удовидченко**

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

### **РАСПОЛОЖЕНИЕ И РАЗМЕРЫ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ЯБЛОНИ СОРТА АЙДАРЕД, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА ПОЛОГИХ СКЛОНАХ**

*Цель исследования заключается в определении формы и геометрических параметров корневой системы яблоневых растений, произрастающих на склоновых землях, для последующего их использования при определении количества и мест расположения микроводовыпусков капельного орошения деревьев. Основу материала исследования составили результаты раскопок корневой системы яблонь сорта Айдаред, произраставших на полого-склоновом участке крутизной, составляющей 5,8; 6,0 и 9,0°, почвенный покров которого представлен южным среднемоющим слабогумусированным тяжелосуглинистым черноземом. В результате проведенного исследования корневой системы трех плодоносящих яблоневых растений сорта Айдаред, произраставших на склоновом ландшафте, установлены: очертания зоны расположения основной части корней растения; удаленность ее границ от корневой шейки и заглубленность основной массы корней под поверхность земли; очертания приштамбовой зоны растения с малым количеством обрастающих корней («водо- и пищепотребляющих корешков»); геометрические параметры области корнеосвоенного почвенного пространства для размещения капельных микроводовыпусков, обеспечивающих формирование в ее пределах локальных контуров капельного увлажнения почвы подачей поливной воды и растворенных в ней элементов питания растений. Сделанные обобщения позволяют прогнозировать расположение, форму и размеры зоны концентрации основной массы корневой системы исследованных яблоневых растений для обоснованного размещения в ее пределах капельницы, обеспечивающих качественный капельный полив яблони сорта Айдаред, культивируемой на полого-склоновых земельных участках.*

*Ключевые слова: яблоневые растения; корневая система; склоновые земли; заглубленность корней; удаленность корней; основная масса корней.*

\*\*\*\*\*

**A. S. Shtanko, A. A. Kupriyanov**

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

**Y. E. Udovidchenko**

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation