

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.674.6:634.1.055

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-1-1-18

Расчет поливной нормы при капельном орошении древесно-плодовых культур в садовых насаждениях

Андрей Сергеевич Штанько¹, Виктор Николаевич Шкура²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹shtanko.77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6699-5245>

²VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

Аннотация. Цель: разработка методики расчета поливной нормы при капельном орошении древесно-плодовых культур, обеспечивающей формирование в почвенном пространстве контуров увлажненной почвы с требуемыми геометрическими и влажностными параметрами. **Материалы и методы.** Эмпирическую базу для разработки методики составили материалы авторских исследований, посвященных определению геометрических размеров (параметров) контуров увлажнения почвы. Рабочая гипотеза исследования предусматривала определение нормы водоподачи на одну капельницу, одно древесно-плодовое растение и ряд культур в насаждении с последующим установлением нормы капельного полива на единицу площади капельно-орошаемого сельскохозяйственного угодья, учитывающей количество расположенных на нем капельных микроводовыпусков. **Результаты и обсуждение.** При определении геометрических параметров контуров влажности и нормы водоподачи в качестве факторов влияния рассмотрены основные почвенные и технологические параметры капельного полива и контурообразования (содержание в почве физической глины, ее наименьшая влагоемкость и плотность сложения, уровни дополивной и постполивной влажности почвы, заданная глубина увлажнения почвенного профиля и расход капельницы). Полученные авторские зависимости позволяют определить линейные, площадные и объемные размеры локальных контуров влажности и норму водоподачи, обеспечивающую в соответствующих условиях капельного полива образование в почвенной толще локального, первично формирующегося контура увлажнения с требуемой глубиной промачивания почвенного слоя. Исследование предложенной методики показало отклонение прогнозируемых параметров от опытных контуров увлажнения почвы в пределах $\pm 10,0\%$. **Выводы.** Разработана методика, позволяющая с приемлемой для практики точностью определять поливную норму для капельного орошения сельскохозяйственных угодий как сумму норм водоподачи всех капельных водовыпусков, орошающих 1 га сельскохозяйственных угодий.

Ключевые слова: капельное орошение, режим орошения, поливная норма, норма водоподачи, контур увлажнения почвы, характеристики почвы, расход капельницы

Для цитирования: Штанько А. С., Шкура В. Н. Расчет поливной нормы при капельном орошении древесно-плодовых культур в садовых насаждениях // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 1. С. 1–18. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-1-18>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Irrigation rate calculation during drip irrigation of tree-fruit crops in garden plantings

Andrey S. Shtanko¹, Viktor N. Shkura²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹shtanko.77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6699-5245>

²VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

Abstract. Purpose: to develop the methodology for calculating irrigation rate for drip irrigation of tree-fruit crops, ensuring the formation of moistened soil contours in soil space with the required geometric and moisture parameters. **Materials and methods.** The empirical basis for the methodology development was the materials of the author's research devoted to determining the geometric dimensions (parameters) of soil moisture contours. The working hypothesis of the study involved determining the water supply rate for one emitter, one tree-fruit plant and a number of crops in the plantation, with further determining drip irrigation rate per unit area of drip-irrigated agricultural land, taking into account the number of drip micro-water outlets located on it. **Results and discussion.** When determining the geometric parameters of moisture contours and water supply rate, the main soil and technological parameters of drip irrigation and contour formation (physical clay content in soil, its lowest moisture capacity and bulk density, levels of pre-irrigation and after-irrigation soil moisture, specified depth soil profile moistening and dripper consumption) were considered as influence factors. The dependencies obtained by the author make it possible to determine the linear, areal and volumetric dimensions of local moisture contours and water supply rate, which, under appropriate conditions of drip irrigation, ensures the formation of a local, initially formed moisture contour with the required soil wetting depth in the soil layer. A study of the proposed methodology showed a deviation of the predicted parameters from the experimental soil moisture contours within $\pm 10.0\%$. **Conclusions.** A methodology allowing determining the irrigation rate for drip irrigation of agricultural land as the sum of the water supply rates of all drip water outlets irrigating 1 hectare of agricultural land with practical accuracy has been developed.

Keywords: drip irrigation, irrigation regime, irrigation rate, water supply rate, soil moisture contour, soil characteristics, emitter flow rate

For citation: Shtanko A. S., Shkura V. N. Irrigation rate calculation during drip irrigation of tree-fruit crops in garden plantings. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(1):1–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-1-18>.

Введение. Поливная норма является одной из определяющих характеристик технологии и режима капельного орошения сельскохозяйственных культур, в т. ч. многолетних древесно-плодовых культур, выращиваемых по индустриальным технологиям ведения уходных работ. В процессе развития теории и практики орошаемого земледелия установлению значимой поливной нормы капельного полива уделялось значительное внимание. В ряду отечественных специалистов в области мелиорации земель, которые внесли предложения по определению поливной нормы, отметим вклад А. И. Голованова и Е. В. Кузнецова [1], О. Е. Ясониди [2], А. Д. Ах-

медова и Е. Ю. Галиуллиной [3], М. Н. Лытова [4], Е. А. Ходякова [5], М. Ю. Храброва [6], М. К. Гаджиева и других исследователей технологии капельного полива. Известны рекомендации по расчету поливных норм, приведенные в нормативных и справочных изданиях^{1, 2} [7–9].

Анализ известных предложений по определению нормы капельного полива сельскохозяйственных культур позволяет отметить следующее.

1 Предлагаемые расчетные зависимости для определения поливной нормы капельного орошения $N_{\text{пол}}$ базируются на использовании классической, физически обоснованной формулы А. Н. Костякова³, предложенной для условий сплошного увлажнения 1 га орошаемого участка, м³/га:

$$N_{\text{пол}} = 100 \cdot \bar{\gamma}_{\text{об}} \cdot h_{\text{увл}} \cdot (\beta_{\text{п/п}} - \beta_{\text{д/п}}), \quad (1)$$

где 100 – переводной коэффициент, позволяющий получить размерность $N_{\text{пол}}$ в т/га, а так как 1 м³ воды имеет массу 1 т, то и в м³/га;

$\bar{\gamma}_{\text{об}}$ – среднее по увлажняемому почвенному слою значение плотности сложения (объемной массы) почвы, т/м³;

$h_{\text{увл}}$ – глубина («мощность») увлажняемого слоя почвы, м;

$\beta_{\text{п/п}}$ и $\beta_{\text{д/п}}$ – средняя по глубине почвенного профиля постполивная и дополивная влажность почвы в процентах от массы сухой почвы (% МСП).

2 В ряде известных предложений адаптация зависимости (1) к технологии капельного орошения, характеризуемой определенной степенью локальности зон увлажнения почвенного пространства (зоны капельного увлажнения почвы формируются только в корнеобитаемом почвенном про-

¹Капельное орошение: пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения» [Электронный ресурс]: утв. Приказом Совхозпроектот от 11 апр. 1986 г. № 113. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

²ГОСТ Р 58331.3-2019. Системы и сооружения мелиоративные. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур. Общие требования [Электронный ресурс]. Введ. 2019-07-01. М.: Стандартинформ, 2019. 27 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200163278> (дата обращения: 15.12.2023).

³Здесь и далее зависимости записаны в обозначениях авторов статьи.

странстве), осуществлялась посредством применения корректирующего коэффициента (параметра) и использования формулы (1) в виде, $\text{м}^3/\text{га}$:

$$N_{\text{пол}} = 100 \cdot \bar{\gamma}_{\text{об}} \cdot h_{\text{увл}} \cdot \Pi_{\text{увл}} \cdot (\beta_{\text{п/п}} - \beta_{\text{д/п}}),$$

где $\Pi_{\text{увл}} = \omega_{\text{увл}} / \omega_{\text{пит}}$ – параметр, определяющий долю увлажняемой площади $\omega_{\text{увл}}$ от площади питания растения $\omega_{\text{пит}}$, отведенной ей схемой посадки, или общей площади орошаемого участка.

Отсутствие определенности в значениях указанного параметра $\Pi_{\text{увл}}$, зависящего от природно-климатических условий территории, схемы посадки растений, их биологических особенностей и ряда других факторов, и несоответствие принимаемых значений фактическим приводили к значительным погрешностям при определении поливных норм капельного орошения сельскохозяйственных культур. Использование корректирующих коэффициентов к значению параметра $\Pi_{\text{увл}}$, полученных для определенного сочетания почвенных, технологических и климатических условий капельного полива, имело локальный характер, в связи с чем указанный подход не нашел широкого применения и не получил общего признания.

3 В части известных работ [5, 10] предлагалось в зависимости (1) использовать величину реально увлажняемой площади (в пределах орошаемого участка площадью 1 га) с применением зависимости, м^3 :

$$N_{\text{пол}} = \bar{\gamma}_{\text{об}} \cdot h_{\text{увл}} \cdot a \cdot b \cdot k \cdot (\beta_{\text{п/п}} - \beta_{\text{д/п}}), \quad (2)$$

где a и b – размеры полосы капельного увлажнения почвы по ширине и протяженности, м;

k – коэффициент, учитывающий условия капельного полива.

Отсутствие научно обоснованных рекомендаций по определению значений a , b и k для различных условий капельного орошения не позволяет использовать зависимость (2) в условиях, отличных от опытных.

4 Известно предложение [6, 11] по использованию зависимости вида, м³/га:

$$N_{\text{пол}} = \bar{\gamma}_{\text{об}} \cdot h_{\text{увл}} \cdot a \cdot b \cdot n_{\text{кап}} \cdot (\beta_{\text{п/п}} - \beta_{\text{д/п}}),$$

где a и b – размеры формируемого в почвенной толще контура увлажнения почвы с условно принятой прямоугольной формой в плане, м;

$n_{\text{кап}}$ – количество капельниц на 1 га орошаемого участка.

Определенная не соответствующая реалиям условность принятой прямоугольной формы контура увлажнения и отсутствие рекомендаций по определению его плановых размеров не позволяют получить значение поливной нормы, соответствующее реальным условиям капельного полива.

5 С точки зрения физического представления процесса формирования контура увлажнения, более приемлемо использование зависимости, м³/га:

$$N_{\text{пол}} = \bar{\gamma}_{\text{об}} \cdot V_{\text{кон}} \cdot n_{\text{кап}} \cdot (\beta_{\text{п/п}} - \beta_{\text{д/п}}), \quad (3)$$

где $V_{\text{кон}}$ – объем контура капельного увлажнения почвы, м³.

Имеются рекомендации по расчету объемов локальных контуров влажности, базирующиеся на условно (эмпирически) принятых их формах в виде «шарового пояса», «усеченного конуса», «цилиндра», «эллипсоида вращения» и других формах, которые имеют локальный характер. Указанное обстоятельство предопределило некоторую ограниченность использования зависимости (3) в реальной практике капельного орошения [6, 11].

Известны предложения по определению поливных норм, рассчитываемых в объемах поливной воды (в кубических метрах или литрах) на одно растение (дерево), на один капельный водовыпуск (одну капельницу) и на один локальный (единичный) контур увлажнения (в метрах кубических на растение, метрах кубических на дерево, метрах кубических на капельницу, метрах кубических на контур). Данные предложения по разновидностям поливных норм имеют определенное физическое обоснование, но формально не соответствуют общепринятому определению термина

«поливная норма» («норма полива» или «разовая норма полива»). В общепринятом толковании под термином «поливная норма» понимается «количество (объем) воды, подаваемое(ый) на единицу увлажняемой площади за один полив»⁴. В качестве измерителя поливной нормы используется соотношение количества кубических метров поливной воды на 1 га орошаемого участка – кубические метры на гектар. Указанное несоответствие в терминологии требует разрешения.

Несмотря на значительное количество предложений, общепринятая методика расчета норм капельного полива отсутствует, разработка методик ведется до настоящего времени [12–16]. Указанное обстоятельство и возрастающие объемы создания и использования капельно-орошаемых сельскохозяйственных угодий и капельных систем орошения агропромышленных садов актуализируют решение задачи по разработке научно обоснованной методики расчета норм капельного орошения.

Материалы и методы. Научную и эмпирическую базу для разработки методики (способа) определения норм капельного полива сельскохозяйственных угодий составили материалы и результаты ранее проведенных авторских исследований, выполненных в широком диапазоне почвенных и технологических условий капельного полива, и полученные на их основе эмпирические зависимости для определения геометрических и влажностных параметров контуров капельно-увлажняемого почвенного пространства, формирующихся в различных почвенных и технологических условиях проведения капельных поливов [17–19]. Полевые исследования параметров контуров увлажнения почвы осуществлялись на очищенных от растительности площадках, располагавшихся на территории яблоневых садов, что исключало влияние корневых систем на геометрические и влаж-

⁴Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85: СП 100.13330.2016: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-коммун. хоз-ва Рос. Федерации 16.12.16: введ. в действие с 17.06.17. М.: Минстрой России, 2016. 222 с.

ностные параметры контуров увлажнения почвы. В качестве основных факторов, влияющих на процесс формирования контуров увлажнения почвы, а также их геометрические и влажностные параметры, рассмотрены нижеследующие.

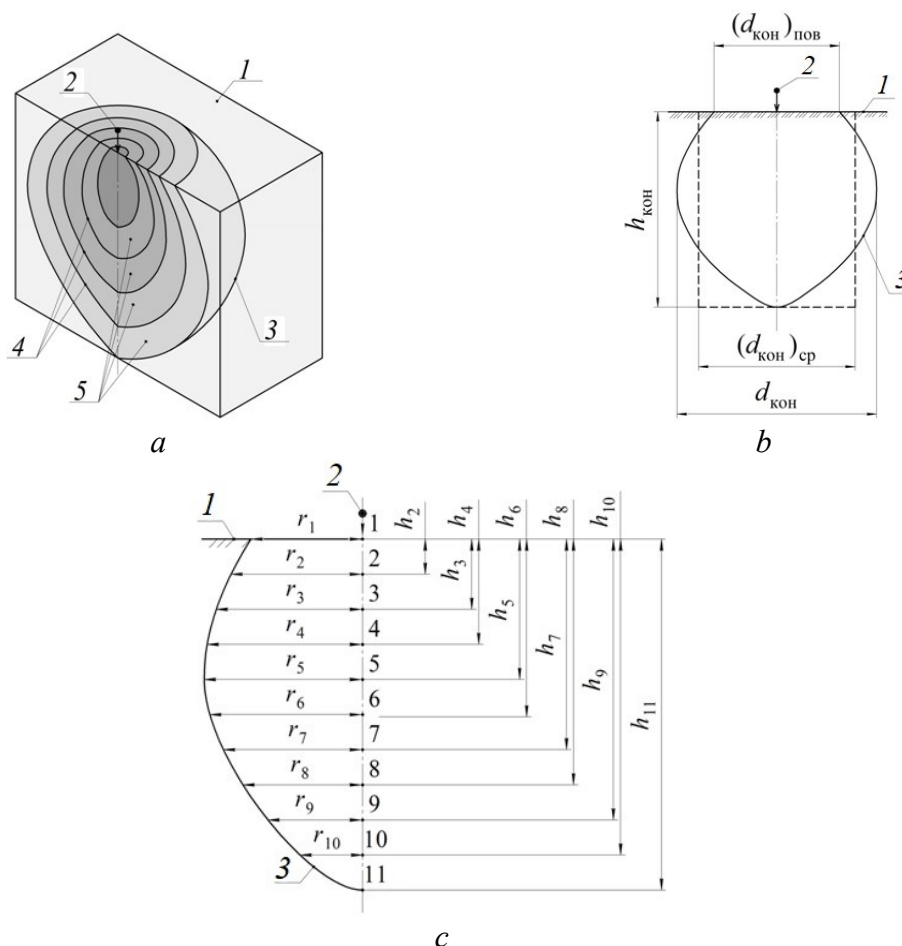
1 Почвенные условия контурообразования, характеризуемые: количеством в почве частиц размером $< 0,01$ мм (содержанием физической глины – \bar{W}_g), определяемым в процентах от массы сухой почвы (% МСП) и изменяющимся от 14,0 до 72,0 % МСП; величиной наименьшей влагоемкости в пределах увлажняемого почвенного слоя $\bar{W}_{нв}$ от 12,0 до 31,0 % МСП; уровнем доливной влажности почвы $\bar{\beta}_{д/п}$, изменяющимся от 58,0 до 75,0 % от $\bar{W}_{нв}$; плотностью сложения почвы $\bar{\gamma}_{об}$ от 1,10 до 1,40 т/м³. В расчетах используются осредненные по проектной глубине увлажняемого слоя почвы ($h_{увл}$, м) значения вышеуказанных почвенных характеристик.

2 Технологические условия капельного полива, определяемые: расходом капельниц $q_{кап}$, л/ч; нормой (объемом) подачи воды капельным водовыпуском за один полив $N_{кап}$, л/кап.; глубиной контура влажности $h_{кон} = h_{увл}$, м; средним уровнем постполивной влажности почвы во внутриконтурном пространстве $\bar{\beta}_{п/п}$, % МСП.

Локальные контуры увлажнения почвы, формирующиеся в почвенном пространстве при капельном поливе, характеризуются приведенными на рисунке 1 формой и геометрическими параметрами.

Рабочая гипотеза исследования предусматривала: 1) определение нормы (объема) водоподдачи на один капельный водовыпуск (одну капельницу) ($N_{кап}$, м³/кап.), обеспечивающий(ую) формирование в определенных почвенных и технологических условиях капельного полива локального «первичного» контура увлажненного почвенного пространства с заданной глубиной увлажнения $h_{увл}$, м; 2) установление необходимого для формиро-

вания полосы или зоны увлажняемого почвенного пространства количества капельниц на единице площади капельно-орошаемого угодья $n_{\text{кап}}$;
 3) расчет нормы капельного полива $N_{\text{пол}}$, м³/га.



a – общий вид контура увлажнения почвы в разрезе; *b* – параметры контура;
c – расчетная схема профиля контура; 1 – поверхность земли; 2 – капельница;
 3 – граничная линия локального контура; 4 – внутриконтурные изоуплеты влажности почвы; 5 – внутриконтурные зоны влажности почвы; $d_{\text{кон}}$ – максимальный диаметр контура, м; $(d_{\text{кон}})_{\text{ср}}$ – средний диаметр контура, м; $(d_{\text{кон}})_{\text{пов}}$ – поверхностный диаметр контура, м; $r_1 - r_{10}$ – радиус профиля контура в сечении, заглубленном под поверхность земли на величину $h_1 - h_{10}$, м

a – general cross-sectional view of soil moisture contour; *b* – contour parameters;
c – design diagram of the contour profile; 1 – ground surface; 2 – emitter;
 3 – boundary line of the local contour; 4 – intra-contour soil moisture isopleths;
 5 – intra-contour soil moisture zones; $d_{\text{кон}}$ – maximum contour diameter, m;
 $(d_{\text{кон}})_{\text{ср}}$ – average contour diameter, m; $(d_{\text{кон}})_{\text{пов}}$ – surface contour diameter, m;
 $r_1 - r_{10}$ – contour profile radius in a section buried under the surface by an amount $h_1 - h_{10}$, m

Рисунок 1 – Контур капельного увлажнения почвы

Figure 1 – Drip soil moisture contour

В соответствии с вышеприведенными положениями рабочей гипотезы, поливную норму на 1 га садового древесно-плодового насаждения при его капельном орошении предложено определять по соотношению, м³/Га:

$$N_{\text{пол}} = N_{\text{кап}} \cdot n_{\text{кап}}. \quad (4)$$

Величину $N_{\text{пол}}$ по соотношению (4) и значения входящих в него параметров рекомендуется определять в соответствии с нижеприведенной методикой (способом) расчета поливной нормы для капельного орошения садовых насаждений. Предлагаемый способ расчета поливной нормы для капельного орошения древесно-плодовых растений, культивируемых в капельно-орошаемых садовых насаждениях, включает: 1) методику определения нормы водоподдачи на один капельный микроводовыпуск (одну капельницу), обеспечивающей в определенных почвенных и технологических условиях формирование в подкапельном почвенном пространстве контура увлажнения с заданной глубиной промачивания и средней по контуру влажностью почвы [18]; 2) методику расчета необходимого количества капельниц и обоснования схемы их размещения в зоне питания возделываемых культур, при которых обеспечивается полив необходимой доли площади зоны питания их корневых систем в почвенных и природно-климатических условиях территории сада [19]; 3) расчет количества капельниц, устраиваемых на поливных линиях 1 га сада.

Результаты и обсуждение. Норма водоподдачи на одну капельницу $N_{\text{кап}}$, л/кап., обеспечивающая в определенных почвенных и технологических условиях капельного полива формирование в подкапельном почвенном пространстве локального контура капельно-увлажненной почвы с заданной глубиной увлажнения почвенной толщи до заданного уровня влажности внутриконтурного пространства, определяется по зависимости, л/кап.:

$$N_{\text{кап}} = 10 \cdot k_{\text{пот}} \cdot \bar{\gamma}_{\text{об}} \cdot V_{\text{кон}} \cdot (\beta_{\text{п/п}} - \beta_{\text{д/п}}), \quad (5)$$

где 10 – переводной коэффициент, позволяющий получать значения нормы водоподдачи в литрах на одну капельницу, т. е. в л/кап.;

$k_{\text{пот}}$ – коэффициент, корректирующий величину нормы водоподачи с учетом объема потерь поливной воды на испарение в процессе (на протяжении) капельного полива, зависящий от микроклиматических характеристик (испаряемости) и продолжительности полива, $k_{\text{пот}} = 1,02 \dots 1,05$;

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

$V_{\text{кон}}$ – объем контура увлажненной почвы, формирующегося в почве при капельном поливе, м³, $V_{\text{кон}} = 0,785 \cdot h_{\text{кон}} \cdot (d_{\text{кон}})_{\text{ср}}^2$;

$h_{\text{увл}} = h_{\text{кон}}$ – глубина контура влажности, соответствующая заданной глубине увлажняемого слоя почвы, м;

$(d_{\text{кон}})_{\text{ср}}$ – средний диаметр контура, м, $(d_{\text{кон}})_{\text{ср}} = 0,757 \cdot d_{\text{кон}}$;

$d_{\text{кон}}$ – максимальный диаметр контура (диаметр контура), определяемый расчетом по зависимости вида, м:

$$d_{\text{кон}} = \Pi_{\text{п/у}} \cdot \Pi_q \cdot \Pi_{\beta} \cdot h_{\text{кон}},$$

где $\Pi_{\text{п/у}}$ – параметр, характеризующий влияние почвенных условий на геометрические параметры (форму и размеры) контура увлажнения:

$$\Pi_{\text{п/у}} = 0,5 \cdot (0,670 + 0,0095 \cdot \bar{W}_{\text{г}} + 0,0345 \cdot \bar{W}_{\text{нв}}),$$

где $\bar{W}_{\text{г}}$ – среднее по глубине увлажняемого почвенного слоя содержание физической глины, % МСП;

$\bar{W}_{\text{нв}}$ – среднее по увлажняемому почвенному слою значение наименьшей влагоемкости почвы, % МСП;

Π_q – коэффициент, характеризующий влияние производительности капельницы на процесс формирования и геометрию (форму и размеры) контура увлажнения, определяемый по зависимости вида:

$$\Pi_q = (q_{\text{кап}} / 2,0)^{0,1 \cdot \bar{W}_{\text{г}} / \bar{W}_{\text{нв}}},$$

где $q_{\text{кап}}$ – производительность (расход) капельного водовыпуска, л/ч;

Π_{β} – коэффициент, определяющий влияние уровня доливной влажности почвы на геометрические параметры (форму и размеры) контура:

$$\Pi_{\beta} = \left(\bar{W}_{\Gamma} / \bar{W}_{\text{НВ}} \right)^{0,4} \cdot \left(1,0 - \bar{\beta}_{\text{д/п}} / \beta_{\text{НВ}} \right)^{0,11 \cdot \bar{W}_{\Gamma} / \bar{W}_{\text{НВ}}},$$

где $\bar{\beta}_{\text{д/п}}$ – среднее по глубине увлажняемого почвенного слоя значение доливной влажности почвы, % МСП;

$\beta_{\text{НВ}}$ – величина влажности почвы, соответствующая уровню наименьшей влагоемкости, % МСП;

$\bar{\beta}_{\text{п/п}}$ – среднее по внутриконтурному пространству значение уровня постполивной влажности почвы, % МСП.

Методика определения нормы водоподачи, рассчитываемой в литрах на одну капельницу, формализована алгоритмом в виде приведенной на рисунке 2 блок-схемы и доведена до уровня программы для ЭВМ.

Для оценки приемлемости методики проведено сравнение расчетных и фактических значений параметров контуров на свободных от растительности площадках, исходные условия капельного полива которых приведены в таблице 1, а результаты выполненных расчетов сведены в таблицу 2.

Зафиксированные очертания используемых при сопоставлении опытных контуров проиллюстрированы на рисунке 3.

В соответствии с зависимостью (5) использование прогнозных значений норм водоподачи ($N_{\text{кап}}$) позволяет определить нормы водоподачи на одно древесно-плодовое растение ($N_{\text{рас}}$, л/растение), один ряд культур ($N_{\text{ряд}}$, л/ряд) и поливную норму на 1 га капельно-орошаемого садового насаждения ($N_{\text{пол}}$, м³/га). Расчет указанных показателей производится по соотношениям:

$N_{\text{рас}} = N_{\text{кап}} \cdot n_{\text{рас}}$; $N_{\text{ряд}} = N_{\text{кап}} \cdot n_{\text{ряд}}$; $N_{\text{пол}} = N_{\text{кап}} \cdot n_{\text{пол}}$, где $n_{\text{рас}}$, $n_{\text{ряд}}$ и $n_{\text{пол}}$ – количество капельниц, обеспечивающих капельный полив соответственно одного растения, одного ряда растений и 1 га капельно-орошаемого сада.



Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма определения нормы водоподачи на один капельный микроводовыпуск
Figure 2 – Algorithm flow chart for determining the water supply rate to one drip micro-water outlet

Таблица 1 – Исходные условия и данные для прогнозирования норм водоподачи в локальный контур влажности, формируемый при поливе одной капельницей

Table 1 – Initial conditions and data for predicting water supply rates to a local moisture contour formed during irrigation by one emitter

Опытный участок	Значение параметра						
	\bar{W}_r , % МСП	$\bar{W}_{нв}$, % МСП	$\bar{\gamma}_{об}$, т/м ³	$\beta_{д/п}$, % МСП	$\beta_{п/п}$, % МСП	$h_{увл}$, м	$q_{кап}$, л/ч
ОПХ «Донлесхоз»	45,5	26,4	1,30	17,16	23,76	1,00	2,00
ОПХ «Ключевое»	65,6	30,1	1,33	20,77	27,1	0,90	2,00

Таблица 2 – Расчетные и опытные значения параметров контуров влажности, сформированных при расчетном значении объема водоподачи

Table 2 – Calculated and experimental values of moisture contour parameters formed at the calculated value of the water supply volume

Опытный участок	Параметр	Значение параметра				
		$N_{кап}$, л/кап.	$h_{кон}$, м	$d_{кон}$, м	$(d_{кон})_{ср}$, м	$V_{кон}$, м ³
ОПХ «Донлесхоз»	Расчетный	41,81	1,00	1,026	0,776	0,473
	Опытный		1,02	1,08	0,807	0,521
	Отклонение, %		–	1,96	5,04	3,78
ОПХ «Ключевое»	Расчетный	41,05	0,90	1,082	0,819	0,474
	Опытный		0,92	1,130	0,829	0,497
	Отклонение, %		–	2,17	4,24	1,23

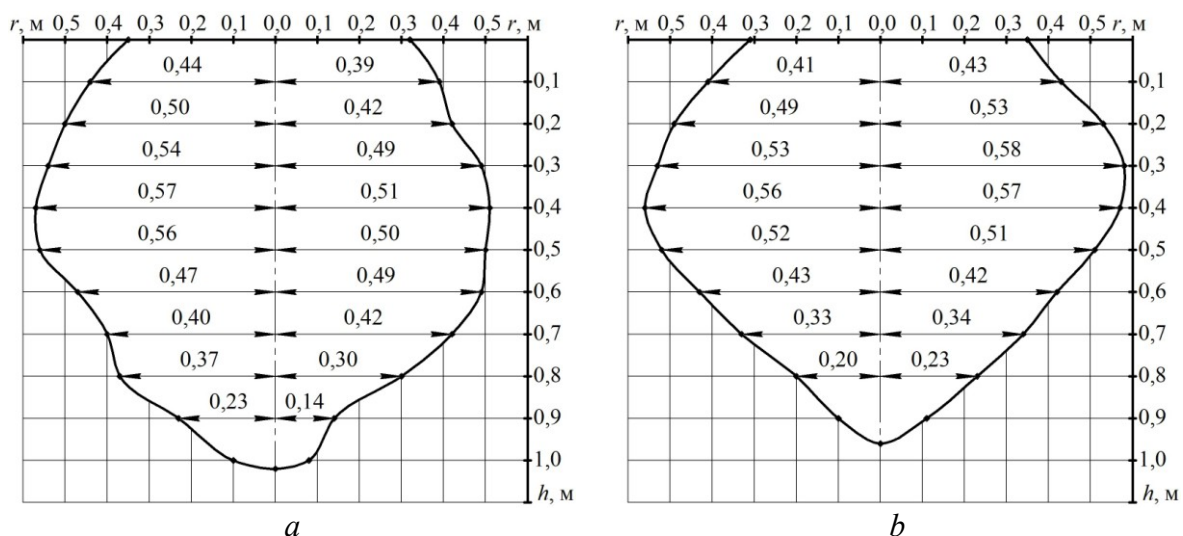


Рисунок 3 – Очертания профилей контуров влажности на опытных участках ОПХ «Донлесхоз» (a) и ОПХ «Ключевое» (b)

Figure 3 – Outlines of moisture contour profiles on experimental areas of “Donleskhoz” experimental production farm (a) and “Klyuchevoe” experimental production farm (b)

Выводы

1 Разработана рекомендуемая к широкому практическому использованию методика расчета (прогнозирования) нормы подачи воды через одну капельницу, обеспечивающую формирование в почвенном пространстве контура увлажненной почвы с заданной глубиной увлажнения почвенной толщи и определенным уровнем постполивной влажности.

2 Поливную норму при капельном орошении (в классическом и общепринятом толковании термина) предложено определять как сумму норм водоподдачи всех капельных водовыпусков, функционирующих на 1 га капельно-орошаемого древесно-плодового насаждения.

3 Предложенная методика приемлема для широкого спектра почвенных и технологических условий капельного полива и позволяет с приемлемой для практики точностью (при погрешности, не превышающей $\pm 10,0\%$) устанавливать норму водоподдачи и поливную норму при капельном орошении.

Список источников

1. Голованов А. И., Кузнецов Е. В. Основы капельного орошения. Краснодар: КГАУ, 1996. 96 с.
2. Ясониди О. Е. Капельное орошение. Новочеркасск: Лик, 2011. 322 с.
3. Ахмедов А. Д., Галиуллина Е. Ю. Капельное орошение яблоневого сада в ООО «Липовские сады» Ольховского района // Интеграционные процессы в науке, образовании и аграрном производстве – залог успешного развития АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. / ФГОУ ВПО ВГСХА. Волгоград, 2011. Т. 1. С. 202–205. EDN: WPWMDZ.
4. Лытов М. Н. Особенности применения дифференцированных режимов водоснабжения при капельном способе орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2020. № 2(78). С. 54–60. EDN: MFVCOF.
5. Ходяков Е. А. Определение поливной нормы при капельном орошении // Водосберегающие технологии сельскохозяйственных культур: сб. науч. тр. Волгоград: Изд-во Волгогр. гос. с.-х. акад., 2001. С. 48–52.
6. Храбров М. Ю., Губин В. К., Колесова Н. Г. Определение технологических параметров систем капельного орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 1(61). С. 132–136. EDN: VRCUDB.
7. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / И. П. Айдаров [и др.]; под ред. Б. Б. Шумакова. М.: Колос, 1999. 432 с. EDN: WFINLZ.
8. Проектирование и расчет дождевания и капельного орошения сельскохозяйственных культур: метод. пособие / В. В. Мелихов, И. П. Кружилин, Н. Н. Дубенок,

А. Г. Болотин, А. Е. Новиков, В. Ф. Мамин, А. А. Новиков, Т. Г. Константинова, Д. А. Болотин, Т. С. Кошкарлова, Д. И. Василюк, А. В. Гурба; ВНИИОЗ. Волгоград, 2017. 184 с. EDN: VOSBNF.

9. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справочник / Г. В. Ольгаренко, В. И. Городничев, А. А. Алдошкин, В. И. Булгаков, Т. А. Капустина, И. А. Костоварова, С. С. Турапин, А. А. Терпигорев, А. В. Муравьев, С. С. Савушкин, С. М. Давшан, А. В. Грушин, С. Л. Шленов; под общ. Г. В. Ольгаренко; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации. М.: Росинформагротех, 2015. 263 с. EDN: YSVGCSX.

10. 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. № 001128337/13; завл. 18.10.01; опубл. 20.05.03, Бюл. № 14. 5 с. EDN: VLMHNM.

11. Мелихова Е. В. Моделирование и обоснование ресурсосберегающих параметров капельного орошения при возделывании корнеплодов: монография. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2017. 112 с. EDN: ZHVNIP.

12. Расчет поливных норм при капельном орошении в условия сухостепного Заволжья / Н. А. Пронько, В. В. Корсак, Ю. Ю. Каднова, М. Ю. Филиппова, О. А. Баклушина // Основы рационального природопользования: материалы VI Нац. конф. с междунар. участием. Саратов, 2020. С. 55–59. EDN: WUNUUA.

13. Рогачев А. Ф., Мелихова Е. В. Компьютерное моделирование и параметризация в среде MathCAD контуров увлажнения при капельном орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4(64). С. 367–378. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-37. EDN: VBOPAO.

14. Пат. 2683724 Российская Федерация, МПК⁶ А 01 G 25/00, СПК¹³ А 01 G 25/00. Способ определения поливной нормы при капельном поливе растений / Щедрин В. Н., Штанько А. С., Шкура В. Н.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. № 2018128077; заявл. 31.07.18; опубл. 01.04.19, Бюл. № 10. 9 с. EDN: TYTEIY.

15. Modeling moisture redistribution of drip irrigation systems by soil and system parameters: regression-based approaches / B. Karimi, N. Karimi, J. Shiri, H. Sanikhani // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2022. 36. P. 157–172. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02031-y>.

16. Modeling moisture bulb distribution on sloping lands: Numerical and regression-based approaches / S. Solat, F. Alinazari, E. Maroufpoor, J. Shiri, B. Karimi // Journal of Hydrology. 2021. 601. 126835. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126835>.

17. Штанько А. С., Шкура В. Н. Геометрия локальных контуров капельного увлажнения почвы, формирующихся в южных черноземах // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 3. С. 123–140. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1297> (дата обращения: 15.12.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-123-140>. EDN: PTMNJY.

18. Штанько А. С., Шкура В. Н. О трансформации контуров капельного увлажнения почвы в постполивной период // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2023. Т. 13, № 3. С. 69–86. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1379> (дата обращения: 15.12.2023). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-69-86>. EDN: AYRQFY.

19. Штанько А. С., Сарахатунова Ю. Я. Определение количества капельных водовыпусков и их расположение в зоне питания плодовых культур // Природообустройство. 2022. № 3. С. 41–47. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-41-47. EDN: ZDOHDI.

References

1. Golovanov A.I., Kuznetsov E.V., 1996. *Osnovy kapel'nogo orosheniya* [Fundamentals of Drip Irrigation]. Krasnodar, KSAU Publ., 96 p. (In Russian).
2. Yasonidi O.E., 2011. *Kapel'noe oroshenie* [Drip Irrigation]. Novocherkassk, Lik Publ., 322 p. (In Russian).
3. Akhmedov A.D., Galiullina E.Yu., 2011. *Kapel'noe oroshenie yablonevogo sada v OOO "Lipovskie sady" Ol'khovskogo rayona* [Drip irrigation of an apple orchard in "Lipovskie Sady" LLC Olkhovsky district]. *Integratsionnye protsessy v nauke, obrazovanii i agrarnom proizvodstve – zalog uspehnogo razvitiya APK: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Integration Processes in Science, Education and Agricultural Production – the Key to the Successful Development of the Agro-Industrial Complex: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. FGOU VPO VGSKhA, Volgograd, vol. 1, pp. 202-205, EDN: WPWMDZ. (In Russian).
4. Lytov M.N., 2020. *Osobennosti primeneniya differentsirovannykh rezhimov vodoobespecheniya pri kapel'nom sposobe orosheniya* [Features of differentiated water supply modes application for drip irrigation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(78), pp. 54-60, EDN: MFVCOF. (In Russian).
5. Khodyakov E.A., 2001. *Opreделение polivnoy normy pri kapel'nom oroshenii* [Determining irrigation rate for drip irrigation]. *Vodosberegayushchie tekhnologii sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: sb. nauch. tr.* [Water-saving Technologies for Agricultural Crops: Collection of Scientific Papers]. Volgograd, Volgograd State Agricultural Academy Publ., pp. 48-52. (In Russian).
6. Khrabrov M.Yu., Gubin V.K., Kolesova N.G., 2016. *Opreделение tekhnologicheskikh parametrov sistem kapel'nogo orosheniya* [Determination of technological parameters of drip irrigation systems]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(61), pp. 132-136, EDN: VRCUDB. (In Russian).
7. Aidarov I.P. [et al.], Shumakov B.B. [ed.], 1999. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Oroshenie: spravochnik* [Land Reclamation and Water Management. Irrigation: Reference Book]. Moscow, Kolos Publ., 432 p., EDN: WFINLZ. (In Russian).
8. Melikhov V.V., Kruzhilin I.P., Dubenok N.N., Bolotin A.G., Novikov A.E., Mamin V.F., Novikov A.A., Konstantinova T.G., Bolotin D.A., Koshkarova T.S., Vasilyuk D.I., Gurba A.V., 2017. *Proektirovanie i raschet dozhddevaniya i kapel'nogo orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: metod. posobie* [Design and Calculation of Irrigation Systems and Drip Irrigation of Agricultural Crops: a manual]. VNIIOZ, Volgograd, 184 p., EDN: VOSBNF. (In Russian).
9. Olgarenko G.V., Gorodnichev V.I., Aldoshkin A.A., Bulgakov V.I., Kapustina T.A., Kostovarova I.A., Turapin S.S., Terpigorev A.A., Muravyov A.V., Savushkin S.S., Davshan S.M., Grushin A.V., Shlenov S.L., 2015. *Resursosberegayushchie energoeffektivnye ekologicheski bezopasnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva orosheniya: spravochnik* [Energy-Efficient Resource-Saving Ecologically Safe Technologies and Technical Means of Irrigation: a Reference Book]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Moscow, Rosinformagrotech Publ., 263 p., EDN: YSVG CX. (In Russian).
10. Kruzhilin I.P., Saldaev A.M., Kruzhilin Yu.I., Khodyakov E.A., Galda A.V., 2001. *Sposob opredeleniya polivnykh norm pri kapel'nom oroshenii tomatov* [Method for Determining Irrigation Rates for Drip Irrigation of Tomatoes]. Patent RF, no. 2204241, EDN: VLMHNM. (In Russian).

11. Melikhova E.V., 2017. *Modelirovanie i obosnovanie resursosberegayushchikh parametrov kapel'nogo orosheniya pri vozdeleyvanii korneplodov: monografiya* [Modeling and Justification of Resource-Saving Parameters of Drip Irrigation for Root Crop Cultivation: monograph]. Volgograd, Volgograd State Agrarian University, 112 p., EDN: ZHVNIP. (In Russian).

12. Pronko N.A., Korsak V.V., Kadnova Yu.Yu., Filippova M.Yu., Baklushina O.A., 2020. *Raschet polivnykh norm pri kapel'nom oroshenii v usloviyakh sukhostepnogo Zavolzh'ya* [Calculation of irrigation rates for drip irrigation under the conditions of Trans-Volga dry steppe]. *Osnovy ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: materialy VI Natsionalnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Basis of Rational Use of Nature Resources: Proc. of the VI National Conference with International Participation]. Saratov, pp. 55-59, EDN: WUNUUA. (In Russian).

13. Rogachev A.F., Melikhova E.V., 2021. *Komp'yuternoe modelirovanie i parametrizatsiya v srede MathCAD konturov uvlazhneniya pri kapel'nom oroshenii* [Computer modeling and parameterization in the MathCAD environment of humidification contours during drip irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 4(64), pp. 367-378, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-37, EDN: VBOPAO. (In Russian).

14. Shchedrin V.N., Shtanko A.S., Shkura V.N., 2018. *Sposob opredeleniya polivnoy normy pri kapel'nom polive rasteniy* [A Method for Determining the Irrigation Rate for Drip Irrigation of Plants]. Patent RF, no. 2683724, EDN: TYTEIY. (In Russian).

15. Karimi B., Karimi N., Shiri J., Sanikhani H., 2022. Modeling moisture redistribution of drip irrigation systems by soil and system parameters: regression-based approaches. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36, pp. 157-172, <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02031-y>.

16. Solat S., Alinazari F., Maroufpoor E., Shiri J., Karimi B., 2021. Modeling moisture bulb distribution on sloping lands: Numerical and regression-based approaches. *Journal of Hydrology*, 601, 126835, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126835>.

17. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2022. [Geometry of drip soil moisture local contours formed in southern chernozems]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 123-140, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1297> [accessed 15.12.2023], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-123-140>, EDN: PTMNJY. (In Russian).

18. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2023. [On transformation of drip soil moisture contour in after-irrigation period]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 13, no. 3, pp. 69-86, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1379> [accessed 15.12.2023], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-69-86>, EDN: AYRQFY. (In Russian).

19. Shtanko A.S., Sarakhatunova Yu.Ya., 2022. *Opredelenie kolichestva kapel'nykh vodovypuskov i ikh raspolozhenie v zone pitaniya plodovykh kul'tur* [Determination of the number of drip water outlets and their location in the feeding zone of fruit crops]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 3, pp. 41-47, DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-41-47, EDN: ZDOHDI. (In Russian).

Информация об авторах

А. С. Штанько – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, shtanko.77@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6699-5245;

В. Н. Шкура – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, VNShkura@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4639-6448.

Information about the authors

A. S. Shtanko – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, shtanko.77@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6699-5245;

V. N. Shkura – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, VNShkura@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4639-6448.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 01.12.2023; одобрена после рецензирования 10.01.2024;
принята к публикации 30.01.2024.
The article was submitted 01.12.2023; approved after reviewing 10.01.2024; accepted for
publication 30.01.2024.*