

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.674.6

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-119-135

Теоретическое обоснование компоновочно-конструктивных решений поливных модулей систем капельного орошения древесно-плодовых насаждений

Виктор Николаевич Шкура¹, Андрей Сергеевич Штанько²

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

¹VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

²shtanko.77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6699-5245>

Аннотация. Цель: разработка методологии определения параметров и выбора компоновочно-конструктивного решения поливного модуля для капельного орошения и фертигации древесно-плодовых растений, культивируемых в промышленных садах по индустриальным технологиям ведения агротехнических работ. Экономическая и продукционная эффективность капельно орошаемых древесно-плодовых садов определяется степенью соответствия компоновочно-конструктивных решений систем капельного орошения природно-климатическим условиям и потребностям возделываемых культур. Указанное соответствие технических возможностей систем капельного орошения физиологическим особенностям растений обеспечивается капельными поливными модулями, непосредственно осуществляющими подачу поливной воды или раствора в зоны их потребления корневыми системами растений. **Материалы и методы.** Основу публикации составили результаты авторских исследований и разработок систем капельного орошения промышленных садов и авторские методики прогнозирования размеров контуров или зон капельного увлажнения почвенного пространства и параметров корневых систем яблоневых культур. **Результаты.** Выполнено обобщение частных авторских методик прогнозирования параметров контуров влажности, формирующихся в почвенной толще при капельном поливе, и параметров корневых систем многолетних древесно-плодовых культур рядовой посадки, разработанных применительно к условиям их возделывания в капельно орошаемых садах. В результате адаптации и совместного использования указанных методик разработана методология прогнозирования параметров зон увлажнения, формируемых расположенными вдоль рядов поливными линиями. **Выводы.** Разработано научно-методическое обоснование выбора компоновочно-конструктивного решения капельного поливного модуля, обеспечивающего капельное орошение древесно-плодовых культур рядовой посадки, возделываемых в промышленных капельно орошаемых садах по индустриальным технологиям ведения работ.

Ключевые слова: капельное орошение, промышленный сад, древесно-плодовые культуры, контур увлажнения почвы, корневая система, поливной модуль

Для цитирования: Шкура В. Н., Штанько А. С. Теоретическое обоснование компоновочно-конструктивных решений поливных модулей систем капельного орошения древесно-плодовых насаждений // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 119–135. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-119-135>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Theoretical substantiation of layout and design solutions for irrigation modules of drip irrigation systems in tree and fruit plantations

Viktor N. Shkura¹, Andrey S. Shtanko²

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

¹VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

²shtanko.77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6699-5245>

Abstract. Purpose: developing the methodology for parameter determination and choosing a layout and design solution for an irrigation module for drip irrigation and fertigation of tree and fruit plants cultivated in industrial gardens using industrial technologies for agrotechnical work. The economic and production efficiency of drip-irrigated tree-fruit orchards is determined by the degree of compliance of the layout and design solutions of drip irrigation systems with the natural and climatic conditions and the needs of cultivated crops. The specified compliance of the technical capabilities of drip irrigation systems with the physiological characteristics of plants is ensured by drip irrigation modules that directly supply irrigation water or solution to the zones of their consumption by the root systems of plants. The basis of the publication was the results of the author's research and development of drip irrigation systems for industrial gardens and the author's methods for predicting the size of the contours or zones of drip moisture in the soil space and the parameters of the apple crops root systems. **Results.** A generalization of private author's methods for predicting the parameters of moisture contours formed in the soil column during drip irrigation, and the parameters of root systems of perennial tree-fruit crops of row planting, developed in relation to the conditions of their cultivation in drip irrigated gardens, is carried out. As a result of the adaptation and joint use of these methods, a methodology for predicting the parameters of moistening zones formed by irrigation lines located along the rows has been developed. **Conclusions.** A scientific and methodological justification has been developed for choosing a layout and design solution for a drip irrigation module that provides drip irrigation of tree-fruit crops of row planting cultivated in industrial drip-irrigated orchards using industrial technologies for conducting work.

Keywords: drip irrigation, industrial garden, tree and fruit crops, soil moisture contour, root system, irrigation module

For citation: Shkura V. N., Shtanko A. S. Theoretical substantiation of layout and design solutions for irrigation modules of drip irrigation systems in tree and fruit plantations. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(4):119–135. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-119-135>.

Введение. Многолетняя история развития орошаемого плодового хозяйства, мировой и отечественный опыт его ведения показали перспективность и эффективность использования в садах технологий капельного орошения. Отметим, что к настоящему времени отечественными специалистами в области капельно орошаемого плодового хозяйства разработаны соответствующие

потребностям современной практики садоводства предложения и рекомендации по устройству и использованию капельно орошаемых садов, культивируемых по индустриальным технологиям. При этом урожайность плодовых культур, возделываемых в таких садах, характеризуется широким диапазоном («пестротой») показателей и в большинстве случаев значительно уступает показателям мировой и передовой отечественной практики, а также уровню потенциальной продуктивности растений [1–6].

Недостатком известных разработок является неполная увязанность технических решений капельно орошаемых садов с агробиологическими особенностями и потребностями возделываемых в них древесно-плодовых культур, а компоновочно-конструктивные решения поливных сетей и устройств капельного орошения в промышленных плодовых садах не обеспечивают требований по охране почвенного покрова [7–9].

Определенную научную и практическую ценность имеют авторские методики: прогнозирования геометрических и влажностных параметров локальных контуров увлажнения почвы, формирующихся в почвенном пространстве при капельном поливе [10]; прогнозирования геометрических параметров характерных зон расположения корневых систем плодовых культур [11]; определения поливных норм для одной капельницы, обеспечивающих формирование локального контура увлажненной почвы в определенных почвенных условиях с заданной глубиной промачивания и уровнем влажности внутриконтурного почвенного пространства [12].

Несмотря на наличие указанных рекомендаций, взаимная увязка результатов прогнозирования геометрических параметров контуров увлажнения почвы и корневых систем древесно-плодовых культур, формирующихся в различных климатических, почвенных, фитологических, рельефно-планировочных и технологических условиях, при проектировании капельно орошаемых насаждений до настоящего времени не практикуется.

Наличие частных методик прогнозирования параметров контуров

влажности почвы и корневых систем позволяет разработать методику выбора компоновочно-конструктивного решения поливного модуля, обеспечивающего качественное орошение древесно-плодовых растений, культивируемых при их рядовой посадке в промышленных садах, и соответствующего условиям их создания и функционирования. Разработка указанной методологии определена основной задачей настоящего исследования.

Материалы и методы. Фактологическую основу разработки составили авторские частные методики определения: линейных, площадных и объемных размеров контуров влажности почвы; параметров характерных зон корневых систем растений и поливной нормы капельного орошения.

Результаты и обсуждение. В соответствии с современными представлениями о создании поливных модулей для капельного орошения ряда многолетних древесно-плодовых культур, возделываемых в промышленных садах, они должны соответствовать нижеприведенным требованиям.

1 Обеспечивать соответствующую условиям произрастания и потребностям культур площадь увлажняемого почвенного пространства.

2 Формировать в пределах зон питания древесных растений массивы (контуры или полосы) увлажняемого почвенного пространства с определенной глубиной промачивания слоя почвы и уровнем ее влажности.

3 Обеспечивать подачу поливной воды или раствора в зоны потребления влаги и элементов питания корнями корневой системы растений.

4 Исключать подачу поливной воды на штамб или корневую шейку древесно-плодовых растений и в пределах их приштамбовой зоны.

5 Не создавать препятствий для ведения агротехнических работ.

6 Соответствовать экологическим требованиям к орошению растений, исключаящим негативное воздействие на почвенный покров.

Соответствующее указанным требованиям техническое решение поливного модуля для капельного орошения промышленного сада может быть запроектировано при выполнении нижеприведенных рекомендаций и

соблюдении предлагаемой методологии расчета и конструирования, схема расчетно-графических операций которой приведена на рисунке 1.

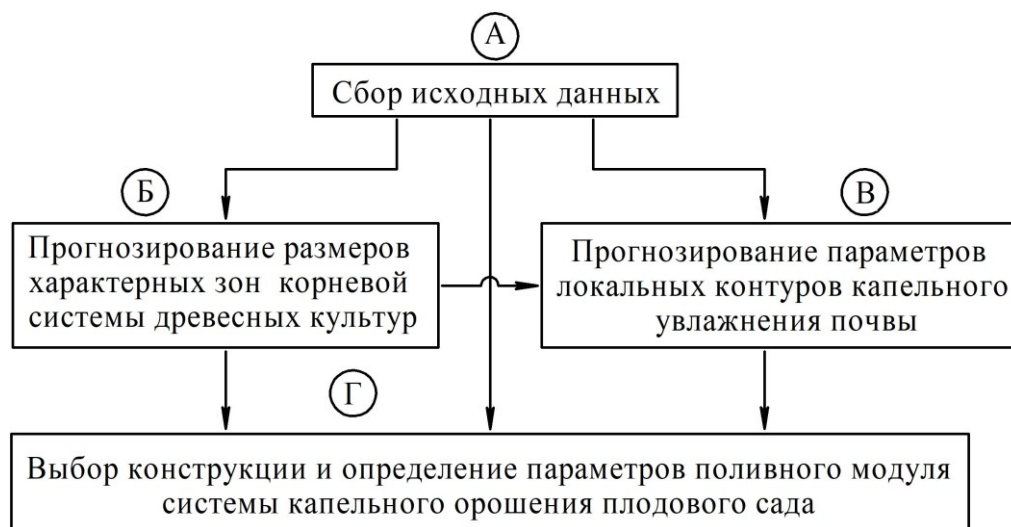


Рисунок 1 – Блок-схема расчетно-графических операций по выбору компоновочно-конструктивного решения поливного модуля для капельного орошения древесно-плодовых растений рядовой посадки, культивируемых в промышленных садах

Figure 1 – Block scheme of calculation and graphic operations for choosing a layout and design solution of an irrigation module for drip irrigation of tree and fruit plants row planting, cultivated in industrial gardens

В качестве исходных данных для проектирования капельных поливных модулей (по блоку А рисунка 1) рассматриваются нижеследующие.

1 В качестве климатических характеристик предлагается использовать коэффициент природной увлажненности территории сада $k_{\text{увл}}$.

2 Почвенные условия садового участка, характеризующиеся: содержанием в почве глинистых частиц (физической глины) W_r , измеряемым в процентах от массы сухой почвы (% МСП); наименьшей влагоемкостью в пределах расчетного увлажняемого слоя почвы $W_{\text{нв}}$, % МСП; плотностью сложения (объемной массой) почвы $\gamma_{\text{об}}$, т/м³; глубиной (мощностью) гумусированного (перегнойно-аккумулятивного) слоя почвы $h_{\text{гум}}$, м.

3 Фитологические условия, характеризующиеся биологическими особенностями культивируемых многолетних плодовых растений, включая

данные об их возрасте t_p , лет, и возрасте вступления в полное плодоношение $t_{п/п}$, лет; форме и диаметре кроны $\bar{D}_{кр}$, м; высоте растений H_p , м; рослости подвоя и привоя («подвойно-привойной» комбинации).

4 Планировочные решения древесно-плодовых насаждений, характеризующихся схемой посадки растений, определяемой соотношением междурядового $B_{м/р}$, м, и внутрирядового $L_{м/р}$, м, расстояний $B_{м/р} \times L_{м/р}$.

5 Технологическими параметрами, влияющими на контурообразование и геометрию контуров влажности почвы, являются нижеследующие:

а) глубина подлежащего увлажнению почвенного слоя $h_{увл}$, м, или глубина контура влажности $h_{кон}$, м, задаваемая специалистами в области агрономии по величине заглубленности основной части корней $(h_k)_{о/ч}$, м;

б) расходная характеристика капельного водовыпуска (расход капельницы $q_{кап}$, м³/ч), принимаемая с учетом гранулометрии увлажняемого почвенного профиля. В соответствии с данными предшествующих авторских исследований расход капельницы принят равным $q_{кап} = 0,002$ м³/ч;

в) уровень дополивной влажности подлежащей капельному увлажнению почвенной толщи, определяемый в долях от наименьшей влагоемкости: $\beta_{д/п} = \alpha_{д/п} \cdot W_{НВ}$ (где $\alpha_{д/п}$ – коэффициент, равный доле влажности от наименьшей влагоемкости почвы и характеризующий уровень дополивной влажности почвы). Средние значения $\beta_{д/п}$ определяются для всей глубины слоя увлажнения и задаются специалистами в области агрономии с учетом типа почв орошаемого участка и вида возделываемой на нем культуры;

г) верхний уровень влажности почвы во внутриконтурном почвенном пространстве (уровень послеполивной влажности почвы): $\beta_{п/п} = \alpha_{п/п} \cdot W_{НВ}$, где $\alpha_{п/п}$ – коэффициент, определяющий долю от наименьшей влагоемкости и, соответственно, послеполивную влажность почвы, значе-

ние которой должно быть достигнуто в результате проведения капельного полива.

Указанные данные устанавливаются по соответствующим методикам, в совокупности составляющим методологию сбора исходной информации для расчета и конструирования поливных модулей для капельного орошения древесно-плодовых растений, культивируемых в промышленных древесно-плодовых насаждениях (см. блок А рисунка 1).

Методология прогнозирования геометрических параметров корневых систем (см. блок Б рисунка 1) предусматривает определение следующих параметров: заглубленности нижней границы зоны расположения основной части корней корневой системы культуры под поверхность земли $(h_k)_{o/ч}$, среднего диаметра корневой системы в плане $\bar{D}_{к/с}$, удаленности от корневой шейки зон расположения основной части корней $(R_k)_{o/ч}$ и приштамбовой зоны $(R_k)_{п/ш}$ корневой системы многолетней культуры.

Заглубленность нижней границы зоны расположения основной части $(h_k)_{o/ч}$, м, корневой системы яблоневых культур для условий глубокого залегания уровня грунтовых вод ($> 2,0$ м) определяется по зависимости:

$$(h_k)_{o/ч} = 0,25 \cdot \Pi_{п/у} \cdot k_{кл/у} \cdot \Pi_{р/у} \cdot (t_p / t_{п/п})^{0,15},$$

где $\Pi_{п/у}$ – параметр, определяющий влияние почвенных условий на заглубленность основной части корней яблони ($\Pi_{п/у} = (k_{п/у})_1 \cdot (k_{п/у})_2$);

$(k_{п/у})_1$ – коэффициент, характеризующий влияние почвенных условий на заглубленность нижней границы зоны основной части (массы) корневой системы, определяемый по глубине (мощности) гумусированного (перегнойно-аккумулятивного) слоя $h_{гум}$, м ($(k_{п/у})_1 = 1,0 + 0,61 \cdot h_{гум}$);

$(k_{п/у})_2$ – коэффициент почвенных условий, определяемый содержанием в почве физической глины W_r , % МСП ($(k_{п/у})_2 = 1,85 - 0,006 \cdot W_r$);

$k_{\text{кл/у}}$ – коэффициент, характеризующий климатические условия произрастания яблоневых культур, определяемый по величине коэффициента природного увлажнения территории по зависимости: $k_{\text{кл/у}} = 1,80 - k_{\text{увл}}$;

$\Pi_{\text{р/у}}$ – параметр, характеризующий влияние фитологических условий на заглубленность корней, определяемый показателями рослости через коэффициенты рослости подвоя $k_{\text{под}}$ и привоя $k_{\text{пр}}$ ($\Pi_{\text{р/у}} = k_{\text{под}} \cdot k_{\text{пр}}$);

$k_{\text{под}}$ – коэффициент, определяющий влияние рослости подвоя на заглубленность корней, принимается для слаборослых: $k_{\text{под}} = 0,94 \pm 0,04$, и для среднерослых подвоев яблоневых культур: $k_{\text{под}} = 1,13 \pm 0,06$;

$k_{\text{пр}}$ – коэффициент влияния рослости привоя на заглубленность корневой системы яблоневых культур, принимается для слаборослых привоев равным $1,03 \pm 0,05$ и для среднерослых привоев $k_{\text{пр}} = 1,16 \pm 0,08$.

Прогнозирование размеров корневых систем яблоневых культур в плане предусматривает определение среднего радиуса (удаленности окончаний корневых ветвей от штамба) с использованием зависимости:

$$\begin{aligned} \bar{R}_{\text{к/с}} = & (1,0 + 0,61 \cdot h_{\text{тум}}) \cdot (1,85 - 0,006 \cdot W_{\text{г}}) \cdot (1,08 - 0,8 \cdot \frac{h_{\text{к}}}{H_{\text{р}}}) \times \\ & \times (1,9 - k_{\text{увл}}) \cdot (t_{\text{ш/п}} / t_{\text{р}})^{0,15} \cdot \bar{R}_{\text{кр}}, \end{aligned}$$

где $\bar{R}_{\text{к/с}}$ – радиус корневой системы плодового растения в плане, м;

$h_{\text{тум}}$ – мощность перегнойно-аккумулятивного слоя почвы, м;

$W_{\text{г}}$ – содержание в почве глинистых частиц, % МСП;

$h_{\text{к}}$ – заглубленность основной части корневой системы, м;

$H_{\text{р}}$ – высота многолетнего древесно-плодового растения, м;

$k_{\text{увл}}$ – коэффициент природной увлажненности (коэффициент влажности) территории, определяемый через соотношение активных запасов влаги

в метровом слое почвы за вегетационный период при температуре $t > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ $V_{\text{в/з}}$ и объема эвапотранспирации $V_{\text{э/т}}$ ($k_{\text{увл}} = V_{\text{в/з}} / V_{\text{э/т}}$) [1];

$\bar{R}_{\text{кр}}$ – радиус кроны плодового растения (яблони) в плане, м.

Удаленность границы зоны расположения основной части (массы) корней корневой системы яблоневых культур от штамба (корневой шейки) многолетнего плодового растения $(R_{\text{к/с}})_{\text{о/ч}}$, м, определяется по зависимости:

$$(R_{\text{к/с}})_{\text{о/ч}} = 0,70 \cdot \left[\frac{t_{\text{п}} - 1}{t_{\text{п/п}} + 2} \right]^{0,16} \cdot R_{\text{к/с}},$$

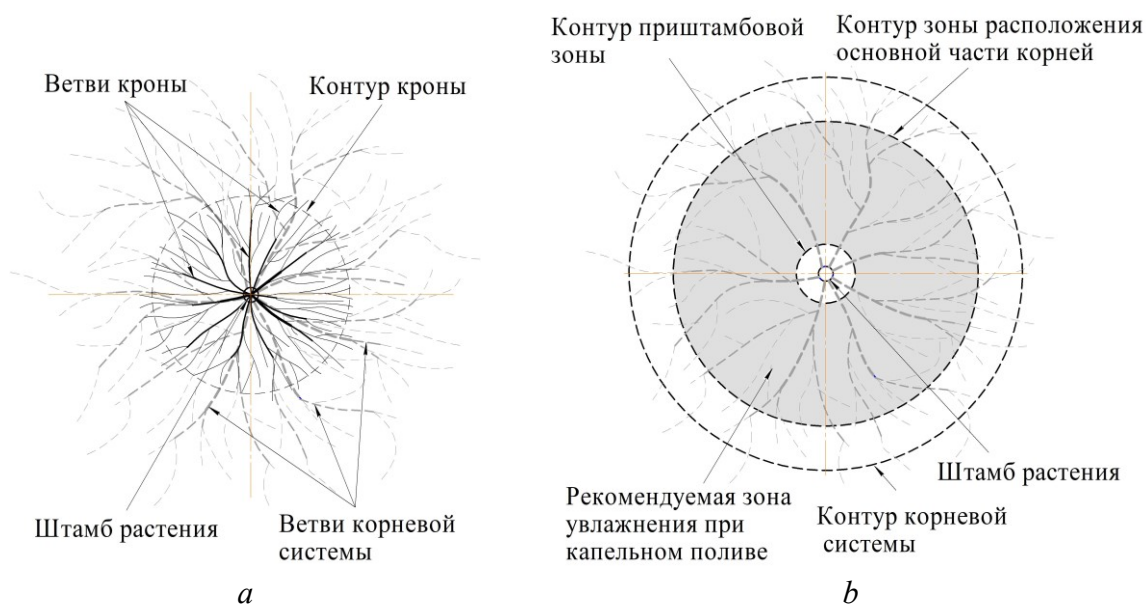
где $R_{\text{к/с}}$ – радиус корневой системы древесной культуры в плане, м.

Удаленность границы расположения приштамбовой зоны корневой системы яблони $(R_{\text{к/с}})_{\text{п/ш}}$, м, устанавливается по соотношению:

$$(R_{\text{к/с}})_{\text{п/ш}} = 0,10 \cdot R_{\text{к/с}}^{1,5} \cdot \left[\frac{t_{\text{п}} - 1}{t_{\text{п/п}} - 2} \right]^{0,3}.$$

При капельном орошении многолетних древесно-плодовых культур зону питания растения рекомендуется увлажнять в области, расположенной между границами, оконтуривающими приштамбовую зону и зону расположения основной части корней, в соответствии с рисунком 2.

Основными геометрическими параметрами контуров капельного увлажнения почвы, используемыми при проектировании поливного модуля систем капельного орошения плодовых культур (см. блок В рисунка 1), являются: глубина контура влажности $h_{\text{кон}}$, м, соответствующая заданной глубине увлажнения почвенного слоя $h_{\text{увл}}$, м; максимальный диаметр контура капельного увлажнения почвы (диаметр контура) $d_{\text{кон}}$, м; средний диаметр контура $(d_{\text{кон}})_{\text{ср}}$, м; площадь горизонтальной проекции контура увлажнения $\omega_{\text{кон}}$, м², и его объем $W_{\text{кон}}$, м³, проиллюстрированные рисунком 3.

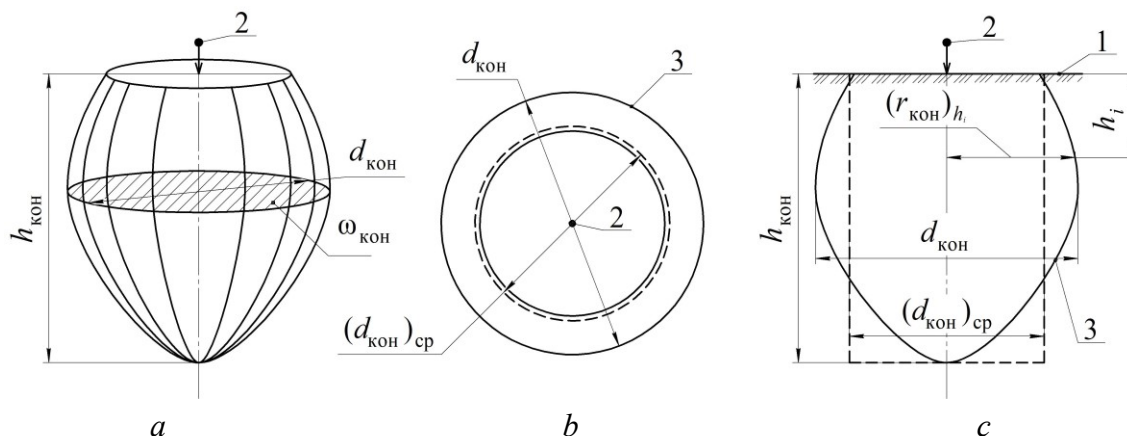


a – схема растения; *b* – геометрические параметры корневой системы

a – scheme of the plant; *b* – geometrical parameters of the root system

Рисунок 2 – Схема (вид сверху) отдельно стоящего многолетнего древесного плодового растения

Figure 2 – Scheme (top view) of a freestanding perennial woody fruit plant



a – схема контура влажности почвы; *b* – вид сверху (горизонтальная проекция контура влажности); *c* – вид сбоку (вертикальная проекция контура влажности);

1 – поверхность земли; *2* – капельный водовыпуск; *3* – границная линия локального контура влажности почвы; $(r_{\text{кон}})_{h_i}$ – радиус профиля контура

в сечении, заглубленном на величину h_i , м

a – scheme of soil moisture contour; *b* – top view (horizontal projection of moisture contour); *c* – side view (vertical projection of moisture contour); *1* – the land surface; *2* – drip water outlet; *3* – boundary line of local soil moisture contour; $(r_{\text{кон}})_{h_i}$ – contour profile radius

in the section buried by the value h_i , m

Рисунок 3 – Геометрические параметры локального контура капельного увлажнения почв

Figure 3 – Geometric parameters of the local contour of drip soil moisture

Определение геометрических параметров локальных контуров капельного увлажнения почвы проводится по нижеприведенной методике.

1 Устанавливается максимальный диаметр контура влажности почвы (далее – диаметр локального контура влажности) $d_{\text{кон}}$, м, по зависимости:

$$d_{\text{кон}} = 0,5 \cdot h_{\text{кон}} \cdot (0,583 + 0,009 \cdot W_{\text{г}} + 0,038 \cdot W_{\text{нв}}).$$

2 Средний диаметр локального контура влажности почвы $(d_{\text{кон}})_{\text{ср}}$, м, находится с использованием эмпирической зависимости, имеющей вид:

$$(d_{\text{кон}})_{\text{ср}} = 0,5 \cdot h_{\text{кон}} \cdot (0,0292 \cdot W_{\text{нв}} + 0,0765 \cdot W_{\text{г}}^{0,6}).$$

3 Площадь горизонтальной проекции локального контура капельного увлажнения почвы $\omega_{\text{кон}}$, м², рекомендуется определять по зависимости:

$$\omega_{\text{кон}} = 0,785 \cdot (0,5 \cdot h_{\text{кон}} \cdot (0,583 + 0,009 \cdot W_{\text{г/ч}} + 0,038 \cdot W_{\text{нв}}))^2. \quad (1)$$

4 Объем контура влажности $W_{\text{кон}}$, м³, определяется из соотношения:

$$W_{\text{кон}} = 0,196 \cdot (0,0292 \cdot W_{\text{нв}} + 0,0765 \cdot W_{\text{г}}^{0,6})^2 \cdot h_{\text{кон}}^2.$$

Блок расчетно-графических операций по выбору конструкции поливного модуля (блок Г рисунка 1) включает нижеследующие позиции.

1 Определение размеров площади питания растения $\omega_{\text{пит}}$, м²:

$$\omega_{\text{пит}} = B_{\text{м/р}} \times L_{\text{м/р}}.$$

2 Установление части площади питания, подлежащей увлажнению:

$$\alpha_{\text{увл}} = 1,0 - 0,9 \cdot k_{\text{увл}}^{0,5}.$$

3 Определение капельно увлажняемой площади по соотношению:

$$\omega_{\text{увл}} = \alpha_{\text{увл}} \cdot \omega_{\text{пит}}.$$

4 Расчет площади локального контура капельного увлажнения почвы $\omega_{\text{кон}}$ по блоку В рисунка 1 с использованием зависимости (1).

5 Расчет необходимого количества капельниц $(n_{\text{кап}})_{\text{рас}}$, шт., обеспечивающих формирование требуемой площади увлажнения, по зависимости:

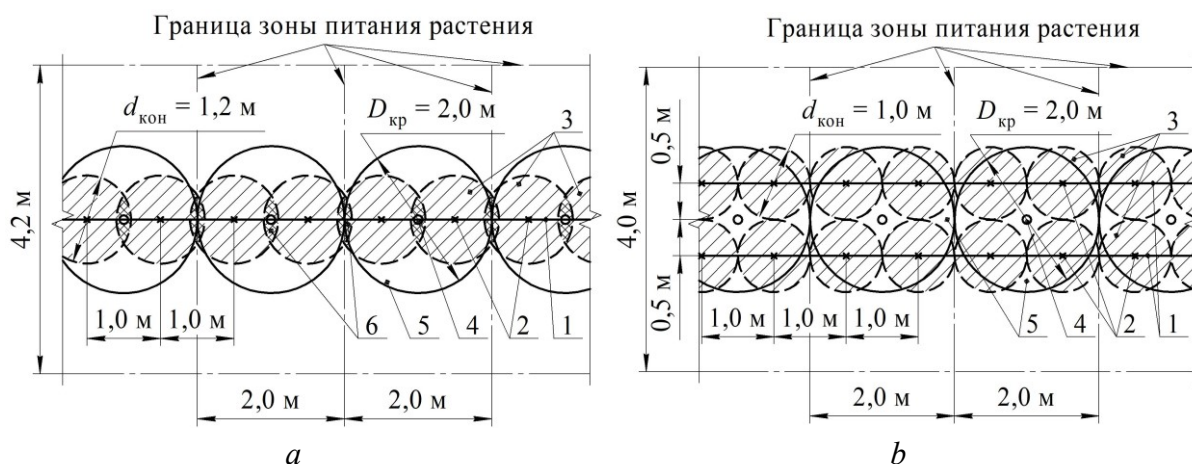
$$(n_{\text{кап}})_{\text{рас}} = \omega_{\text{увл}} / \omega_{\text{кон}}.$$

Полученное число капельниц округляем до целого значения, принимаемого для конструирования поливного модуля ($(n_{\text{кап}})_{\text{пр}}$, шт.).

6 С учетом принятого количества капельниц $(n_{\text{кап}})_{\text{пр}}$ рассматриваются варианты устройства одно- или двухниточного поливного модуля.

7 Определяются параметры характерных зон расположения корней корневой системы многолетней древесно-плодовой культуры $(R_{\text{к/с}})_{\text{о/ч}}$ и $(R_{\text{к/с}})_{\text{п/ш}}$ в соответствии с методиками (формулами) по блоку Б рисунка 1.

8 В соответствии с пп. 6 и 7 вычерчивается схема поливного модуля, обеспечивающего капельный полив ряда древесно-плодовых культур, и проверяется его соответствие требованиям, предъявляемым к поливным модулям. Принимается решение о выборе компоновочного решения поливного модуля в соответствии со схемами, приведенными на рисунке 4.



- 1 – поливной трубопровод; 2 – капельница; 3 – контур влажности почвы;
4 – штамб культуры; 5 – крона культуры; 6 – зона наложения контуров влажности
1 – irrigation pipeline; 2 – dripper; 3 – soil moisture contour;
4 – crop stem; 5 – crop canopy; 6 – zone of moisture contours overlap

Рисунок 4 – Схемы односточного (а) и двухниточного (b) капельных поливных модулей

Figure 4 – Single-thread (a) and double-thread (b) schemes of drip irrigation modules

9 Величина поливной нормы (объема поливной воды) $(N_{\text{пол}})_{\text{кап}}$, $\text{м}^3/\text{кап}$, подаваемая на один капельный водовыпуск и обеспечивающая фор-

мирование в почвенном пространстве с определенными характеристиками W_r , W_{HB} , $\gamma_{об}$, $\beta_{д/п}$ и $\beta_{п/п}$ зоны увлажнения глубиной $h_{увл} = h_{кон} = (h_k)_{о/ч}$, определяется по авторской зависимости, имеющей вид:

$$(N_{пол})_{кап} = 0,00196 \cdot \gamma_{об} \cdot h_{кон}^3 \cdot (0,0765 \cdot W_{г/ч}^{0,6} + 0,0292 \cdot W_{HB})^2 \cdot (\beta_{п/п} - \beta_{д/п}).$$

Значения входящих в зависимость параметров (факторов влияния) принимаются: W_r и W_{HB} в % МСП, $\gamma_{об}$ в т/м³, $\beta_{д/п}$ и $\beta_{п/п}$ в % МСП.

10 Устанавливается объем воды, подаваемой в одну капельную поливную линию модуля $(N_{пол})_{лин}$, м³/лин, определяемый соотношением:

$$(N_{пол})_{лин} = (N_{пол})_{кап} \cdot (n_{кап})_{дер} \cdot n_{дер},$$

где $(n_{кап})_{дер} = (n_{кап})_{пр}$ – количество капельниц на одной поливной линии, принятых для полива одного древесно-плодового растения, шт.;

$n_{дер}$ – количество деревьев в ряду, составляющее $n_{дер} = L_{ряда} / L_{м/р}$, шт.;

$L_{ряда}$ – длина ряда древесных растений в плодовом насаждении, м.

Последовательное выполнение вышеприведенных расчетно-графических операций позволит сконструировать капельный поливной модуль, обеспечивающий орошение ряда древесно-плодовых растений, культивируемых в промышленных садах по индустриальным технологиям.

Работоспособность методологии апробирована для условий устройства поливного модуля капельного полива ряда растений, культивируемых в садовом насаждении Аксайского района Ростовской области.

Исходные условия (блок А рисунка 1): коэффициент природной увлажненности территории $k_{увл} = 0,5$; протяженность ряда растений $L_{ряда} = 110$ м; схема посадки яблоневых культур $B_{м/р} \times L_{м/р} = 4,2 \times 2,0$ м при количестве растений в ряду $n_{дер} = 55$ шт.; растения яблони сорта Джонатан на карликовом подвое Парадизка IX в возрасте $t_p = 10$ лет, вступившие в полное плодоношение в возрасте $t_{п/п} = 5$ лет, с округлой формой кроны

диаметром $\bar{D}_{кр} = 2,4$ м при высоте растения $H_p = 3,0$ м. Почвенный покров садового участка представлен южным среднесуглинистым черноземом с характеристиками: $(\bar{W}_г)_{1м} = 60,0$ % МСП, $(\bar{W}_{НВ})_{1м} = 28,9$ % МСП, $(\bar{\gamma}_{об})_{1м} = 1,3$ т/м³ и $h_{гум} = 0,70$ м. Технологические условия капельного полива: средняя дополивная влажность в пределах метрового почвенного слоя $\beta_{д/п} = 65$ % · $(\bar{W}_{НВ})_{1м} = 18,79$ % МСП; средняя постполивная влажность почвы в контуре увлажнения $\beta_{д/п} = 85$ % · $(\bar{W}_{НВ})_{1м} = 24,56$ % МСП.

Данные расчета по методикам блока Б приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Данные по расчету заглубленности корневой системы яблоневого растения

Table 1 – Data on the calculation of the apple plant root system depth

Параметр	$(k_{п/у})_1$	$(k_{п/у})_2$	$\Pi_{п/у}$	$k_{кл/у}$	$k_{под}$	$k_{пр}$	$\Pi_{р/у}$	$(h_k)_{о/ч}$, м
Значение параметра	1,43	1,49	2,13	1,30	0,95	1,03	0,98	0,75

Таблица 2 – Данные по расчету размеров параметров корневых систем

Table 2 – Data on the calculation of the size of the root systems parameters

Параметр	$\bar{R}_{к/с}$, м	$(R_{к/с})_{о/ч}$, м	$(R_{к/с})_{п/ш}$, м
Значение параметра	2,83	2,06	0,66

Результаты расчетов с целью определения геометрических параметров локальных контуров увлажненной почвы, формирующихся в почвенном пространстве при капельном поливе, для вышеприведенных почвенных и технологических условий (по формулам блока В) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Данные по расчету геометрических параметров локальных контуров влажности

Table 3 – Data on the calculation of local moisture contours geometric parameters

Параметр	$d_{кон}$, м	$(d_{кон})_{ср}$, м	$\omega_{кон}$, м ²	$W_{кон}$, м ³
Значение параметра	0,83	0,65	0,55	0,33

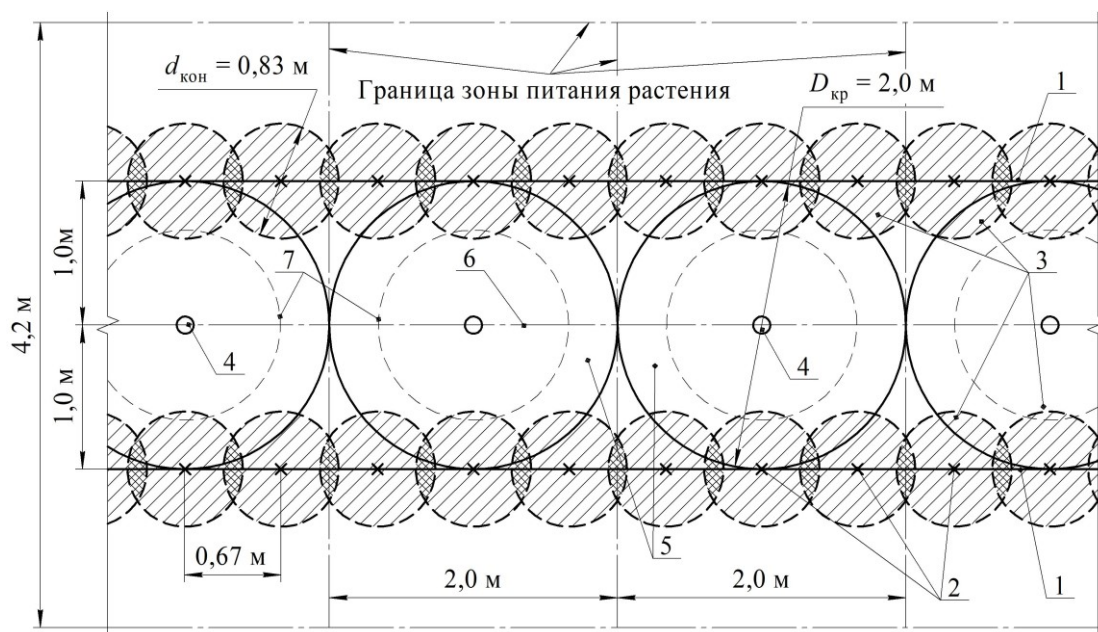
Результаты расчетов для определения параметров и выбора компоновочного решения капельного поливного модуля приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Данные по расчету параметров поливного модуля для капельного орошения ряда древесно-плодовых растений

Table 4 – Data on the calculation of the irrigation module parameters for drip irrigation of a number of tree and fruit plants

Параметр	$\omega_{\text{пит}}, \text{ м}^2$	$\alpha_{\text{увл}}$	$\omega_{\text{увл}}, \text{ м}^2$	$(n_{\text{кап}})_{\text{рас}}, \text{ шт.}$	$(n_{\text{кап}})_{\text{пр}}, \text{ шт.}$	$N_{\text{пол}}$	
						$\text{м}^3/\text{кап}$	$\text{м}^3/\text{лин}$
Значение параметра	8,4	0,36	3,05	5,6	6,0	0,019	3,091

Компоновочно-конструктивное решение поливного модуля для рассмотренных условий его создания проиллюстрировано рисунком 5.



1 – поливной трубопровод; 2 – капельница; 3 – контур влажности почвы;
4 – штаб культуры; 5 – крона культуры; 6 – ось ряда растений;
7 – граница приштамбовой зоны

1 – irrigation pipeline; 2 – dripper; 3 – soil moisture contour; 4 – crop stem;
5 – crop canopy; 6 – axis of the plant row; 7 – border of the near-stem zone

Рисунок 5 – Компоновочно-конструктивное решение поливного модуля для яблоневого сада

Figure 5 – Layout and design solution of irrigation module for apple orchard

Вывод. Разработано научно-методическое обоснование для расчета параметров и выбора компоновочно-конструктивного решения капельного поливного модуля, обеспечивающего капельное орошение древесно-плодовых культур рядовой посадки, возделываемых в промышленных капельно орошаемых садах по индустриальным технологиям ведения работ.

Список источников

1. Орошение: справочник / Б. Б. Шумаков [и др.]. М.: Колос, 1999. 432 с.
2. Шкура В. Н., Обумахов Д. Л., Рыжаков А. Н. Капельное орошение яблони: монография / под ред. В. Н. Шкуры. Новочеркасск: Лик, 2014. 310 с.
3. Dubenok N. N., Gemonov A. V., Lebedev A. V. Effects of drip irrigation regimes on growth, quality plum seedlings, and water use efficiency in European Russia // Journal of Physics: Conference Series. 2020, Nov. 52093. DOI: 10.1088/1742-6596/1679/5/052093.
4. Optimal design of drip irrigation submains: pressure-compensating emitters / C. E. Schilardi Sícoli, R. Aliod, F. Zorilla, J. A. Morábito // Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. 2019. Vol. 51(2). P. 154–166.
5. Семерджян А. К., Бень А. В. Опыт проектирования и строительства систем капельного орошения в Краснодарском крае // Природообустройство. 2018. № 4. С. 85–88. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-4-85-88.
6. Григорьева Л. В., Балашов А. А. Урожай и архитектура корневой системы деревьев яблони в саду разной плотности посадки // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2012. Т. 35, № 2. С. 76–78.
7. Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, О. Ю. Шалашова, Г. И. Табала; под ред. В. Н. Щедрина. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. 137 с.
8. Безопасные системы и технологии капельного орошения: науч. обзор / Г. Т. Балакай, Л. А. Воеводина, Ю. Ф. Снопич, А. Н. Бабищев, В. А. Кулыгин, Н. И. Балакай, М. А. Евтухов, Д. Б. Латария, Т. А. Погоров, Д. В. Сухарев, Е. А. Бабищева, Н. И. Тупикин, Е. А. Кропина, А. Б. Фиошин; ФГБНУ «РосНИИПМ». М.: Мелиоводинформ, 2010. 52 с.
9. Ясонида О. Е. Капельное орошение. Новочеркасск: Лик, 2011. 322 с.
10. Шкура В. Н., Штанько А. С. Прогнозирование контуров капельного увлажнения черноземов степного типа почвообразования // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 2. С. 24–38. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1193> (дата обращения: 01.06.2022). DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-24-38.
11. Васильев С. М., Штанько А. С., Удовидченко Я. Е. Методика прогнозирования параметров корневых систем яблоневых растений // Аграрный научный журнал. 2020. № 8. С. 76–82. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i8pp76-82>.
12. Пат. 2638312 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.

References

1. Shumakov B.B. [et al.], 1999. *Oroshenie: spravochnik* [Irrigation: a reference book]. Moscow, Kolos Publ., 432 p. (In Russian).
2. Shkura V.N., Obumakhov D.L., Ryzhakov A.N., 2014. *Kapel'noe oroshenie yablo-ni: monografiya* [Drip Irrigation of Apple Trees: monograph]. Novocherkassk, Lik Publ., 310 p. (In Russian).
3. Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V., 2020. Effects of drip irrigation regimes on growth, quality plum seedlings, and water use efficiency in European Russia. Journal of Physics: Conference Series, Nov., 52093, DOI: 10.1088/1742-6596/1679/5/052093.
4. Schilardi Sícoli C.E., Aliod R., Zorilla F., Morábito J.A., 2019. Optimal design of drip irrigation submains: pressure-compensating emitters. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, vol. 51(2), pp. 154-166.
5. Semerdzhyan A.K., Ben A.V., 2018. *Opyt proektirovaniya i stroitel'stva sistem*

kapel'nogo orosheniya v Krasnodarskom krae [Experience in the design and construction of drip irrigation systems in the Krasnodar Territory]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 85–88, DOI: 10.26897/1997-6011/2018-4-85-88. (In Russian).

6. Grigoryeva L.V., Balashov A.A., 2012. *Urozhay i arkhitektonika kornevoy sistemy derev'ev yabloni v sadu raznoy plotnosti posadki* [Harvest and root system architectonics of apple trees in a garden of different planting densities]. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Oryol State Agrarian University], vol. 35, no. 2, pp. 76–78. (In Russian).

7. Shchedrin V.N., Balakay G.T., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., Shalashova O.Yu., Tabala G.I., 2017. *Rukovodstvo po kontrolyu i regulirovaniyu pochvennogo plodorodiya oroshaemykh zemel* [Guidelines for Control and Regulation of Soil Fertility of Irrigated Lands]. Novocherkassk, RosNIIPM, 137 p. (In Russian).

8. Balakai G.T., Voevodina L.A., Snipich Yu.F., Babichev A.N., Kulygin V.A., Balakai N.I., Evtukhov M.A., Lataria D.B., Pogorov T.A., Sukharev D.V., Babicheva E.A., Tupikin N.I., Kropina E.A., Finoshin A.B., 2010. *Bezopasnye sistemy i tekhnologii kapel'nogo orosheniya: nauch. obzor* [Safe Systems and Technologies of Drip Irrigation: Scientific Review]. RosNIIPM, Moscow, Meliovodinform Publ., 52 p. (In Russian).

9. Yasonidi O.E., 2011. *Kapel'noe oroshenie* [Drip Irrigation]. Novocherkassk, Lik Publ., 322 p. (In Russian).

10. Shkura V.N., Shtanko A.S., 2021. [Predicting drip irrigation contours of chernozem of the steppe type of soil formation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, vol. 11, no. 2, pp. 24–38, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1193> [accessed 01.06.2022], DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-24-38. (In Russian).

11. Vasiliev S.M., Shtanko A.S., Udovidchenko Ya.E., 2020. *Metodika prognozirovaniya parametrov kornevykh sistem yablonnykh rasteniy* [The forecasting techniques of apple tree root systems]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal], no. 8, pp. 76–82, <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i8pp76-82>. (In Russian).

12. Shchedrin V.N., Shtanko A.S., Shkura V.N., 2019. *Sposob opredeleniya polivnoy normy pri kapel'nom polive rasteniy* [A method for determining the irrigation rate for drip irrigation of plants]. Patent RF, no. 2638312. (In Russian).

Информация об авторах

В. Н. Шкура – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, профессор;

А. С. Штанько – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук.

Information about the authors

V. N. Shkura – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Professor;

A. S. Shtanko – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 22.06.2022; одобрена после рецензирования 25.08.2022; принята к публикации 26.09.2022.

The article was submitted 22.06.2022; approved after reviewing 25.08.2022; accepted for publication 26.09.2022.