

## МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.674.6:634.1.055

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-32-54

### Обоснование конструкции поливного модуля системы капельного орошения плодовых садов

Андрей Сергеевич Штанько<sup>1</sup>, Виктор Николаевич Шкура<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,  
Российская Федерация

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

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

**Аннотация.** Цель: определение параметров и обоснование конструкции поливного модуля системы капельного орошения плодовых садов. **Материалы и методы.** В качестве исходных факторов рассмотрены характерные схемы посадки культур в плодовом саду, микроклиматические, почвенные и технологические условия капельного полива. Результаты исследования получены в процессе обобщения методик и рекомендаций по прогнозированию технологических параметров капельной поливной сети. **Результаты и обсуждение.** В результате исследований разработана методика обоснования конструкции поливного модуля, которая предусматривает установление: площади зоны питания культуры; коэффициента, определяющего площадь зоны питания, подлежащей увлажнению; диаметра и площади горизонтальной проекции контура увлажнения почвы; количества контуров влажности и капельниц, обеспечивающих их формирование; схемы размещения капельниц в зоне питания растений. В качестве критерия для выбора конструкции поливного модуля принято соотношение необходимых для культивирования растений площади увлажняемого почвенного пространства и площади формируемых поливным модулем зон капельного увлажнения почвы. Апробация методики проведена на поливном модуле в одно- и двухниточном исполнении. **Выводы.** Однониточный поливной модуль соответствует потребностям многолетних плодовых культур на территориях с коэффициентом природного увлажнения, равным 1,0, и в редких сочетаниях условий при коэффициенте 0,8. Двухниточный поливной модуль стабильно обеспечивает требуемую площадь увлажнения почвы на территориях с коэффициентом природного увлажнения  $\geq 0,6$  и не может сформировать требуемую площадь увлажнения зоны питания плодовых культур на территориях с коэффициентом увлажнения 0,4. Для капельного полива многолетних плодовых культур на территориях с коэффициентом увлажнения  $\leq 0,6$  предложено использовать поливной модуль с тремя капельными линиями.

**Ключевые слова:** плодовый сад, площадь питания, капельное орошение, поливной модуль, почвенные условия, контур увлажнения почвы, коэффициент увлажнения территории

**Для цитирования:** Штанько А. С., Шкура В. Н. Обоснование конструкции поливного модуля системы капельного орошения плодовых садов // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 2. С. 32–54. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-32-54>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

### Justification of the design of irrigation module of drip irrigation system for orchards

**Andrey S. Shtanko<sup>1</sup>, Viktor N. Shkura<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

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

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

**Abstract. Purpose:** to determine the parameters and justification of the design of the irrigation module of the drip irrigation system for orchards. **Materials and methods.** Typical crop planting patterns in an orchard, microclimatic, soil and technological conditions of drip irrigation are considered as initial factors. The results of the study were obtained in the process of methods and recommendations generalizing for predicting the technological parameters of a drip irrigation network. **Results and discussion.** As a result of the research, a methodology to justify the design of the irrigation module, which provides for establishing: the area of the crop nutrition zone; coefficient determining the area of the nutrition zone to be moistened; diameter and area of the horizontal projection of the soil moisture contour; the number of moisture contours and emitters ensuring their formation; diagrams for placing emitters in the plant nutrition zone was developed. As a criterion for choosing the design of an irrigation module, the ratio of the area of moistened soil space required for cultivating plants and the area of drip soil moisture zones formed by the irrigation module is taken. The methodology was tested on an irrigation module in single- and double-line versions. **Conclusions.** A single-line irrigation module meets the needs of perennial fruit crops in areas with a natural moisture coefficient of 1.0, and in rare combinations of conditions with a coefficient of 0.8. The double-line irrigation module consistently provides the required soil moisture area in areas with a natural moisture coefficient  $\geq 0.6$  and cannot form the required moisture area for the nutrition zone of fruit crops in areas with a moisture coefficient of 0.4. For drip irrigation of perennial fruit crops in areas with a moisture coefficient  $\leq 0.6$ , it is proposed to use an irrigation module with three drip lines.

**Keywords:** orchard, nutrition area, drip irrigation, irrigation module, soil conditions, soil moisture contour, territory moisture coefficient

**For citation:** Shtanko A. S., Shkura V. N. Justification of the design of irrigation module of drip irrigation system for orchards. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(2):32–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-32-54>.

**Введение.** Поливной модуль является функциональным элементом оросительной сети системы капельного орошения, обеспечивающим капельный полив одного ряда сельскохозяйственных культур. В конструктивном отношении поливной модуль системы капельного орошения представляет собой поливной трубопровод, оборудованный капельными водовыпусками, расположенными с определенным шагом по длине капельной трубки [1–3]. В промышленных садах устраиваются одно- и двухниточные поливные модули, определяемые по количеству поливных водоводов, обеспечивающих капельное орошение одного ряда многолетних культур.

Выбор конструктивного решения поливного модуля для капельного орошения древесно-плодовых промышленных садов и обоснование его параметров осуществляется с учетом агроклиматических, топографических,

почвенных, технологических и фитометрических условий, пространственной планировки сада, экологических требований и хозяйственно-экономических соображений. Широкий спектр природно-климатических условий, ограничений и возможностей, совокупность факторов влияния на продуктивность растений и технико-экономические показатели капельно-орошаемых плодовых садов определяют проектные решения и технологию эксплуатации поливных модулей [4–6].

В структуре техногенных компонентов капельных систем орошения садов поливные модули являются рабочим органом, обеспечивающим подачу поливной воды и фертигационных растворов в почву в рядах и междурядном пространстве с целью создания благоприятных условий для формирования и жизнедеятельности корневых систем древесно-плодовых культур [7, 8]. Они же являются связующим звеном между техногенной и природной составляющими системы капельно-орошаемых промышленно обустроенных садовых насаждений. Только при симбиозе указанных компонентов природно-техногенного комплекса обеспечивается высокая продуктивность возделываемых плодовых культур, высокие технико-экономические показатели садов, быстрая окупаемость затрат и высокая рентабельность плодоводства. Указанные обстоятельства определяют актуальность и особую значимость разработки рациональных и эффективных конструктивных решений поливных модулей для капельного орошения древесно-плодовых культур, возделываемых в садах с индустриальными технологиями ведения уходных работ.

Вышеприведенное обоснование и возрастающие потребности в производстве отечественной плодово-ягодной продукции<sup>1, 2</sup> определили

---

<sup>1</sup>Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс]: Указ Президента Рос. Федерации от 21 янв. 2020 г. № 20. Доступ из системы «КонсультантПлюс».

<sup>2</sup>Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. Распоряжением Правительства Рос. Федерации от 12 апр. 2020 г. № 993-р. Доступ из системы «КонсультантПлюс».

цель настоящего исследования, которая заключается в разработке методики определения параметров и обоснования конструкции поливного модуля системы капельного орошения плодовых садов и проведении исследования формируемых им зон капельного увлажнения почвы.

Отметим, что решению поставленной задачи по разработке конструкций поливного модуля и его элементов специалистами в области садового плодового хозяйства и гидромелиорации уделялось определенное внимание, а результаты исследований нашли отражение в ряде публикаций, в т. ч. за рубежом [9, 10].

И при этом необходимая для практики конструирования промышленных капельно-орошаемых садов методология подбора соответствующей разнообразным условиям функционирования конструкции капельного поливного модуля до настоящего времени детально не проработана. Например, в имеющихся рекомендациях<sup>3</sup> геометрические параметры контура увлажнения одной капельницей предлагается устанавливать в процессе изысканий, что требует больших трудозатрат. А диаметр расчетного очага увлажнения предлагается определять площадью горизонтальной проекции кроны деревьев, ширину полосы увлажнения – зоной сосредоточения основной массы корней, что безусловно верно. При этом рекомендуется принимать диаметр контура и ширину полосы равными 0,5–0,7 ширины междурядий, что возможно не всегда, например на легких по гранулометрическому составу почвах. Важнейшие вопросы – определение количества капельниц для полива каждого растения и их расстановка в зоне питания. Указанный документ также частично освещает эти вопросы и не дает точных рекомендаций по подбору количества капельниц для различных сочетаний климатических, почвенных и технологических условий проведения капельного полива плодовых культур. В связи с вышеуказанным, настоящая статья направлена

---

<sup>3</sup>ТКП 45-3.04-178-2009. Оросительные системы. Правила проектирования. Введ. 2010-07-01. Минск, 2010. 72 с.

на восполнение дефицита рекомендаций по конструированию поливных модулей капельного полива многолетних древесных плодовых культур.

**Материалы и методы.** Исходными данными для исследования являлись характерные схемы устройства капельно-орошаемых плодовых садов и разработки по определению параметров контуров увлажненной почвы, формирующихся в почвенном пространстве при надземном капельном поливе. В процессе исследования были рассмотрены сады со схемой посадки плодовых культур  $4,0 \times 2,0$  и  $3,0 \times 1,0$  м. Результаты исследования получены в процессе обобщения методик и рекомендаций, приведенных в авторских публикациях [11, 12], и представлены в форме методики, позволяющей осуществить обоснованный и соответствующий условиям плодового сада подбор конструктивного решения поливного модуля для системы капельного орошения сада.

Качество проектного решения по выбору конструкции и параметров поливного модуля для капельного орошения плодовых культур определяется степенью учета условий, потребностей и ограничений при его устройстве и эксплуатации. В качестве таких исходных характеристик для проектирования поливных модулей для капельного орошения многолетних древесно-плодовых садов рассматриваются нижеследующие.

1 Объемно-планировочное решение садового насаждения, включая такие его параметры, как схема посадки растений и протяженность ряда культур  $L_p$ , м. Схема посадки характеризуется соотношением ширины междурядья  $B_{м/р}$ , м, и расстояния между растениями в ряду  $L_{м/р}$  и определяет выделенную древесно-плодовой культуре при посадке площадь водного и минерального питания  $\omega_{пит} = B_{м/р} \times L_{м/р}$ , м<sup>2</sup>.

2 Фитометрические параметры растения, включая: высоту  $H_p$ , м, и средний диаметр кроны  $D_{кр}$ , м; возрастные характеристики, включая возраст вступления в полное плодоношение  $t_{в/п}$ , лет, и продолжительность

периода культивирования растений  $t_p$ , лет; прогнозируемые во времени параметры корневой системы культуры.

3 Рельефные условия садового участка, характеризующиеся продольными (вдоль ряда) и поперечными (поперек ряда растений) уклонами поверхности почвы в садовом насаждении ( $i_{пр}$  и  $i_{п/п}$ ).

4 Почвенные условия, характеризующиеся такими показателями, как: содержание в расчетном почвенном слое физической глины  $W_r$ , в процентах от массы сухой почвы (% МСП); наименьшая влагоемкость почвы  $W_{нв}$ , % МСП, плотность сложения почвенного слоя  $\gamma_{об}$ , т/м<sup>3</sup>; уровень доливной влажности расчетного слоя почвы  $\beta_{д/п}$ , % МСП.

5 Микроклиматические условия территории садового насаждения, характеризующиеся значениями коэффициента естественной увлажненности территорий в период вегетации возделываемых культур  $k_{увл}$ .

6 Технологические характеристики капельного полива, в числе которых: глубина увлажняемого слоя почвы или глубина увлажнения почвы  $h_{увл}$ , м, задаваемая по величине заглубленности основной части корней корневой системы культуры  $(h_k)_{о/ч}$ , м (определяется опытным путем, а на предварительной стадии проектирования расчетом по авторской зависимости [13]); уровень постполивной влажности в пределах контура увлажненного почвенного пространства, формирующегося при капельном поливе,  $\beta_{п/п}$ , % МСП; расход капельного микроводовыпуска, определяемый с учетом впитывающей способности почвы,  $q_{кап}$ , л/ч.

В качестве ограничений и требований рассматриваются нижеследующие: максимальная допустимая удаленность конструкции модуля от ряда растений в направлении междурядья; недопустимость расположения капельниц в непосредственной близости к штамбу растения; необходимость искусственного увлажнения определенной, соответствующей климатическим условиям доли от площади питания растения; исключение по-

верхностного стока поливной воды; обеспечение нормативных показателей по площади зон увлажнения почвы на всей протяженности ряда капельно-орошаемых культур; обеспечение надежной работы модуля; исключение препятствий со стороны поливного модуля ведению уходных, поливных, фертигационных и уборочных работ в промышленном саду.

**Результаты и обсуждение.** Широкий спектр почвенных, климатических и фитометрических условий возделывания плодовых орошаемых садов predetermined применение одно- и двухниточных поливных модулей, характерные план-схемы которых представлены на рисунках 1 и 2.

Определение основных параметров и обоснование соответствующей условиям культивирования древесно-плодового агропромышленного сада конфигурации капельного поливного модуля осуществляется в нижеприведенной последовательности расчетно-графических операций.

1 В соответствии с принятой схемой посадки определяется выделенная при посадке растений и принятая за фактически освоенную корневой системой площадь питания культуры,  $m^2$ :

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

2 С учетом микроклиматических условий территории, характеризующих коэффициентом увлажнения  $k_{\text{увл}}$ , определяется доля подлежащей искусственному увлажнению площади питания культуры  $\alpha_{\text{увл}}$  и величина требуемой увлажняемой площади  $(\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$ ,  $m^2$ , по зависимостям вида:

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

$$(\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}} = \alpha_{\text{увл}} \cdot \omega_{\text{пит}}.$$

3 В соответствии с почвенными и технологическими условиями капельного полива, исключающими образование поверхностного стока, принимается расход капельного водовыпуска по соотношению, л/ч:

$$q_{\text{кап}} = \frac{4,0}{\sqrt{h_{\text{увл}}} \cdot W_{\text{г}} / W_{\text{НВ}}}.$$

4 Определяется прогнозируемый диаметр локального контура капельного увлажнения почвы  $(d_{\text{кон}})_{\text{пр}}$ , м, и площадь его горизонтальной проекции  $(\omega_{\text{кон}})_{\text{пр}}$ , м<sup>2</sup>, по эмпирическим зависимостям вида:

$$(d_{\text{кон}})_{\text{пр}} = 0,5 \cdot (0,670 + 0,0095 \cdot W_{\Gamma} + 0,0345 \cdot W_{\text{НВ}}) \times \\ \times (q_{\text{кап}} / 2,0)^{0,1 \cdot W_{\Gamma} / W_{\text{НВ}}} \times (W_{\Gamma} / W_{\text{НВ}})^{0,4} \cdot (1,0 - \beta_{\text{д/п}} / \beta_{\text{НВ}})^{0,11 \cdot W_{\Gamma} / W_{\text{НВ}}} \times h_{\text{увл}}, \\ (\omega_{\text{кон}})_{\text{пр}} = 0,785 \cdot (d_{\text{кон}})_{\text{пр}}^2.$$

5 Для выполнения условий формирования сплошной полосы увлажненной почвы из системы смыкающихся локальных контуров увлажнения почвы расстояние (в метрах) между капельными водовыпусками на поливном трубопроводе принимается равным прогнозируемому диаметру контура:

$$l_{\text{м/к}} = (d_{\text{кон}})_{\text{пр}}.$$

6 Рассчитывается количество капельниц, шт., которое можно расположить в зоне питания одного древесно-плодового растения для одно- и двухниточной схем поливного модуля:

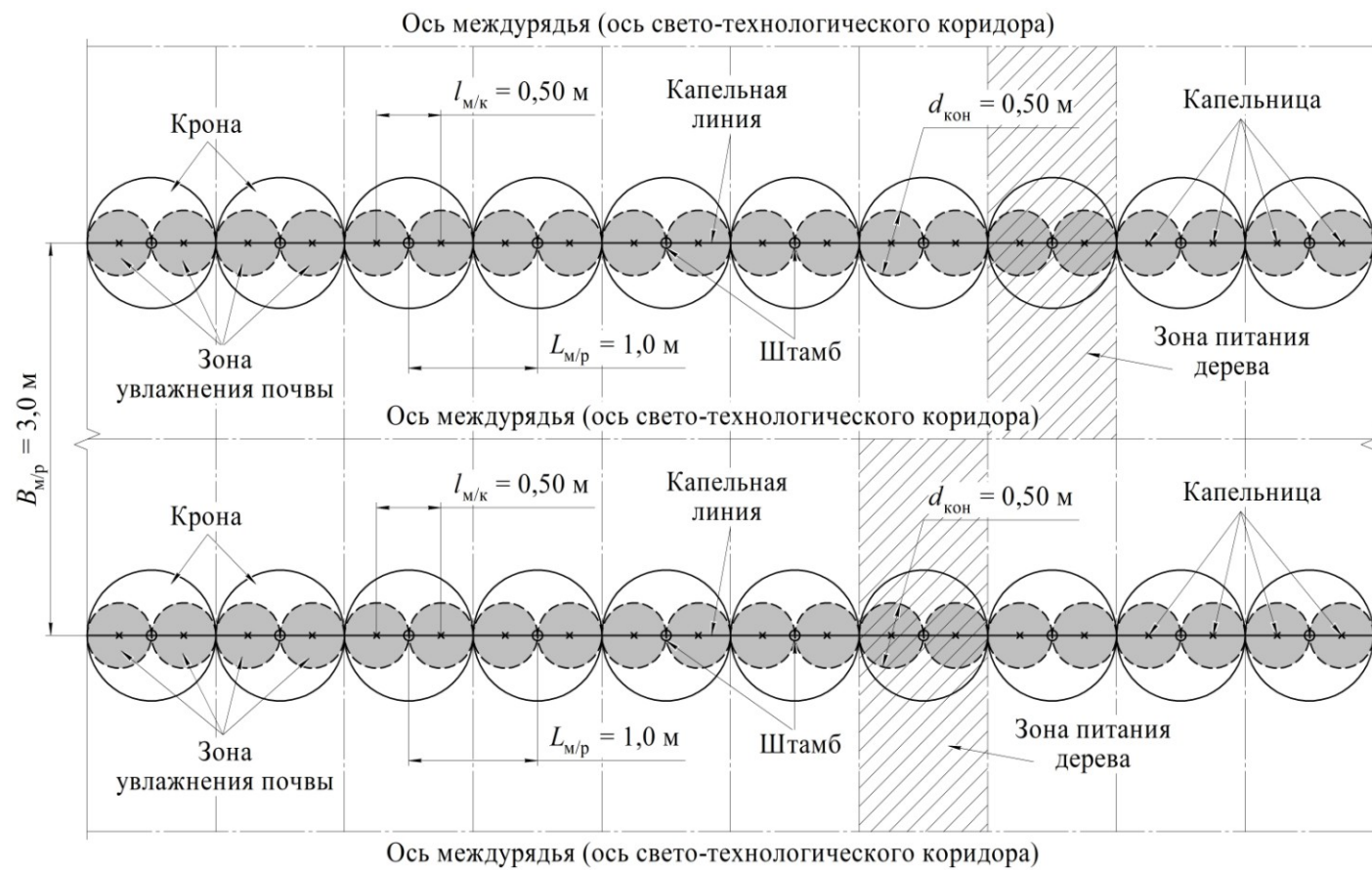
$$n_{\text{кап/1}} = L_{\text{м/р}} / l_{\text{м/к}}, \\ n_{\text{кап/2}} = 2 \cdot L_{\text{м/р}} / l_{\text{м/к}}.$$

7 Пропорционально рассчитанному количеству капельниц ( $n_{\text{кап/1}}$  и  $n_{\text{кап/2}}$ ) определяется прогнозируемая площадь зоны увлажнения почвы, приходящаяся на одно дерево в садовом насаждении, для одно- и двухниточной схем поливного модуля, м<sup>2</sup>:

$$(\omega_{\text{пол/1}})_{\text{пр}} = n_{\text{кап/1}} \cdot (\omega_{\text{кон}})_{\text{пр}}, \\ (\omega_{\text{пол/2}})_{\text{пр}} = n_{\text{кап/2}} \cdot (\omega_{\text{кон}})_{\text{пр}}.$$

8 Полученные для одно- и двухниточной схем поливного модуля значения прогнозируемых площадей полос увлажнения почвы  $(\omega_{\text{пол}})_{\text{пр}}$  сопоставляются с требуемой площадью увлажнения зоны питания  $(\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$ . При соблюдении условия  $(\omega_{\text{пол}})_{\text{пр}} \geq (\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$  принимается решение по выбору схемы поливного модуля.





**Рисунок 1 – План-схема однониточного поливного модуля для условий шпалерного сада**  
**Figure 1 – Layout of a single-line irrigation module for trellis orchard conditions**

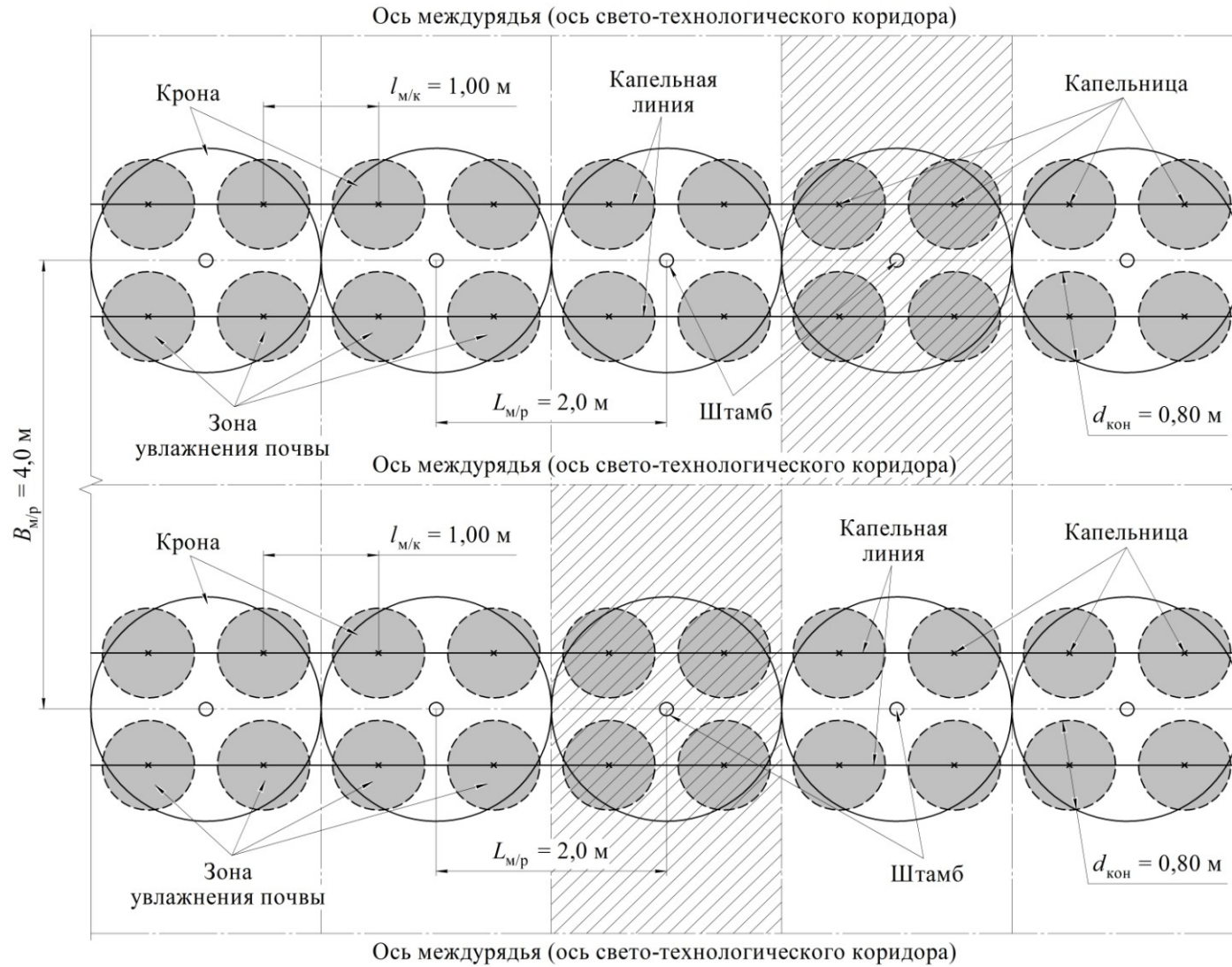


Рисунок 2 – План-схема двухниточного поливного модуля для условий бесшпалерного сада  
Figure 2 – Layout of a double-line irrigation module for trellis-free orchard conditions

Теоретическая апробация вышеприведенной методики проведена на ряде возможных примеров плодовых садов, характеризующихся различным сочетанием климатических, почвенных и технологических условий. В таблице 1 приведены характерные примеры плодового сада, сочетание характеристик которых позволяет более наглядно продемонстрировать использование предложенной методики на различных по гранулометрическому составу почвах.

**Таблица 1 – Климатические, технологические и почвенные характеристики рассмотренных примеров садов**  
**Table 1 – Climatic, technological and soil characteristics of the considered examples of orchards**

№ участка	Схема посадки $B_{м/р} \times L_{м/р}$ , м	Характеристика участка						
		$W_{г}$ , % МСП	$W_{НВ}$ , % МСП	$\gamma_{об}$ , т/м <sup>3</sup>	$\beta_{д/п}$ , % МСП	$\beta_{п/п}$ , % МСП	$h_{увл}$ , м	$D_{кр}$ , м
При коэффициенте естественной увлажненности территории $k_{увл} = 0,4$								
1а	$4,0 \times 2,0$	45,0	25,0	1,42	17,0	22,5	0,6	2,0
1б	$3,0 \times 1,0$						0,5	1,0
При коэффициенте естественной увлажненности территории $k_{увл} = 0,6$								
2а	$4,0 \times 2,0$	52,5	27,0	1,36	18,9	24,3	0,7	2,0
2б	$3,0 \times 1,0$						0,6	1,0
При коэффициенте естественной увлажненности территории $k_{увл} = 0,8$								
3а	$4,0 \times 2,0$	60,0	29,0	1,32	20,3	26,1	0,8	2,0
3б	$3,0 \times 1,0$						0,7	1,0
При коэффициенте естественной увлажненности территории $k_{увл} = 1,0$								
4а	$4,0 \times 2,0$	64,0	30,0	1,30	21,0	27,0	0,9	2,0
4б	$3,0 \times 1,0$						0,8	1,0

Результаты расчета основных технологических параметров одно- и двухниточного поливного модуля по приведенной выше методике представлены в таблице 2.

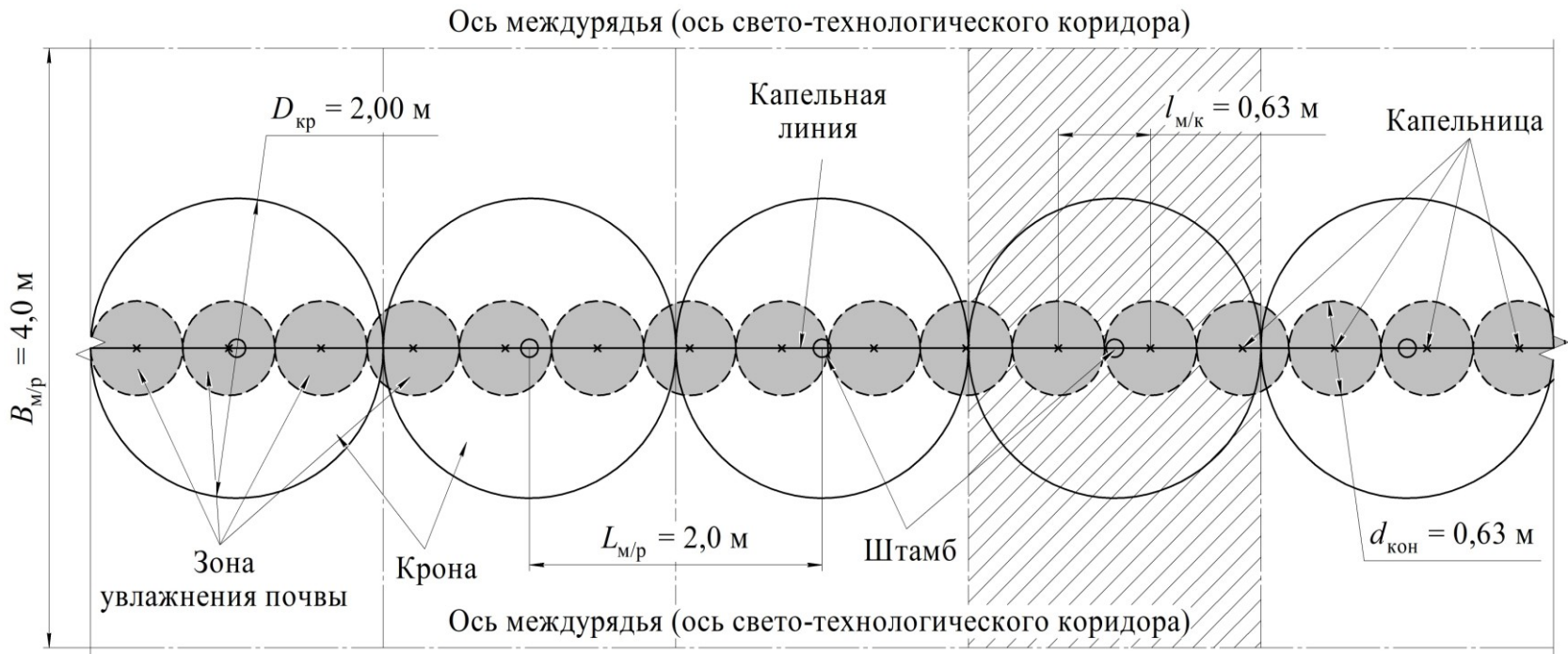
Сопоставление требуемой площади увлажнения почвы (см. таблицу 2, столбец 4) и прогнозируемой в рассмотренных условиях при использовании одно- и двухниточного модуля показало, что однострочный модуль удовлетворяет критерию  $(\omega_{пол})_{пр} \geq (\omega_{увл})_{тр}$  и может быть использован для полива плодовых культур на рассмотренных участках 4а и 4б на территории

с коэффициентом природного увлажнения  $k_{увл} = 1,0$ , а также для участка 3б при коэффициенте естественной увлажненности территории  $k_{увл} = 0,8$ . В связи с этим односточный поливной модуль рекомендуется к применению при поливе многолетних плодовых культур с относительно небольшой площадью питания (до 3 м<sup>2</sup>), возделываемых на обеспеченных осадками территориях ( $k_{увл} \geq 0,8$ ). Примеры схем расположения горизонтальных проекций зон увлажнения почвы при поливе древесно-плодовых культур односточным поливным модулем приведены на рисунке 3.

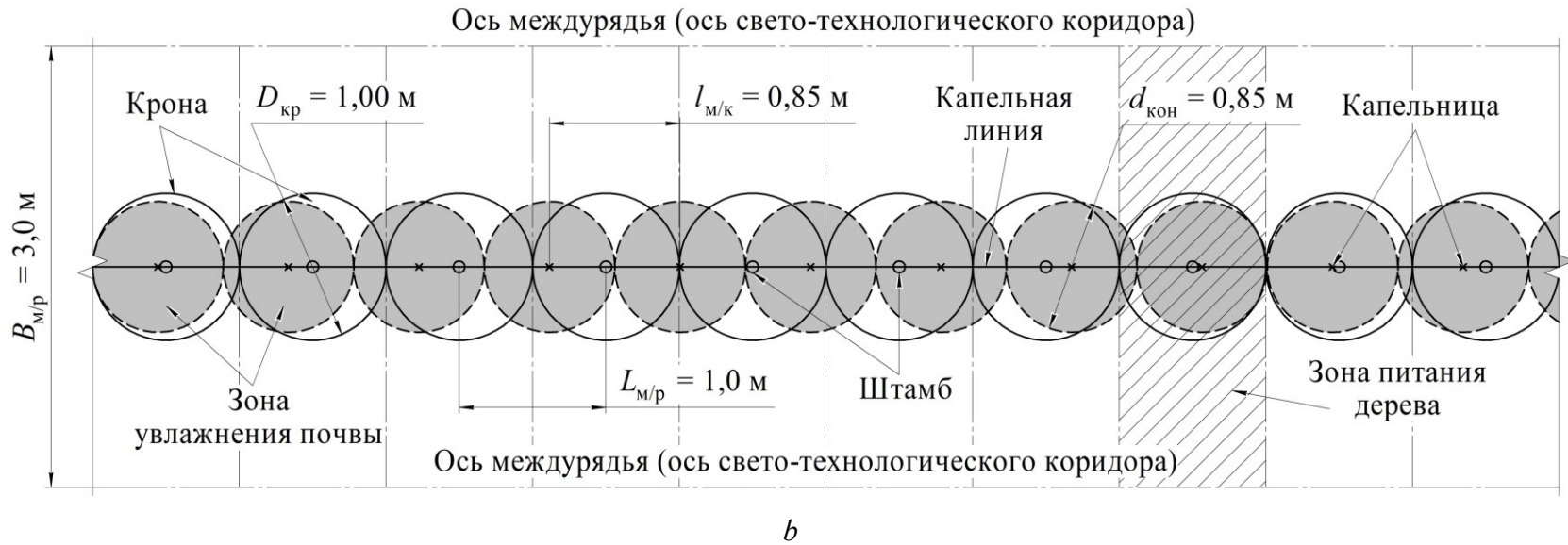
**Таблица 2 – Результаты расчета основных технологических параметров поливного модуля**  
**Table 2 – Results of calculation of the main technological parameters of irrigation module**

№ участка	Параметр поливного модуля										
	$\omega_{пит},$ М <sup>2</sup>	$\alpha_{увл}$	$(\omega_{увл})_{тр},$ М <sup>2</sup>	$q_{кап},$ л/ч	$(d_{кон})_{пр},$ м	$(\omega_{кон})_{пр},$ м	$l_{м/к},$ м	Односточный модуль		Двухниточный модуль	
								$n_{кап/1},$ шт.	$(\omega_{пол/1})_{пр},$ М <sup>2</sup>	$n_{кап/2},$ шт.	$(\omega_{пол/2})_{пр},$ М <sup>2</sup>
При коэффициенте естественной увлажненности территории $k_{увл} = 0,4$											
1а	8,0	0,431	3,45	2,87	0,63	0,315	0,63	3,16	0,995	6,31	1,989
1б	3,0		1,29	3,14	0,54	0,226	0,54	1,86	0,421	3,73	0,842
При коэффициенте естественной увлажненности территории $k_{увл} = 0,6$											
2а	8,0	0,303	2,42	2,46	0,77	0,468	0,77	2,59	1,212	5,18	2,423
2б	3,0		0,91	2,66	0,67	0,354	0,67	1,49	0,527	2,98	1,054
При коэффициенте естественной увлажненности территории $k_{увл} = 0,8$											
3а	8,0	0,195	1,56	2,16	0,93	0,673	0,93	2,16	1,454	4,32	2,908
3б	3,0		0,59	2,31	0,82	0,530	0,82	1,22	0,645	2,43	1,290
При коэффициенте естественной увлажненности территории $k_{увл} = 1,0$											
4а	8,0	0,100	0,80	2,10	0,95	0,714	0,95	2,10	1,498	4,19	2,995
4б	3,0		0,30	2,24	0,85	0,563	0,85	1,18	0,665	2,36	1,329

Двухниточный поливной модуль удовлетворяет критерию  $(\omega_{пол})_{пр} \geq (\omega_{увл})_{тр}$  при коэффициенте природного увлажнения территории  $k_{увл} \geq 0,6$  на рассмотренных примерах участков 2а, 2б, 3а, 3б, 4а и 4б. Примеры схем расположения зон увлажнения почвы, формируемых двухниточным поливным модулем, приведены на рисунке 4.



a



*b*

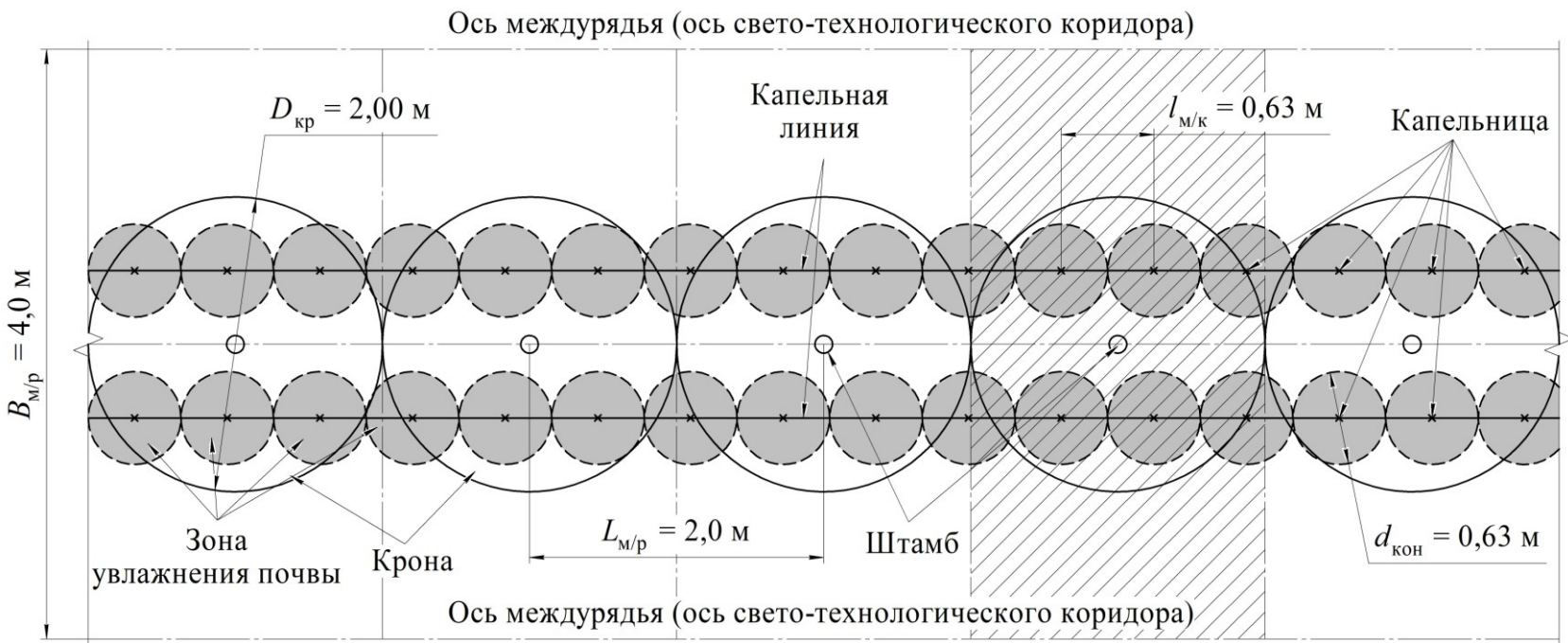
*a* – участок 1а, критерий  $(\omega_{пол})_{пр} \geq (\omega_{увл})_{тр}$  не соблюдается; *b* – участок 4б, критерий  $(\omega_{пол})_{пр} \geq (\omega_{увл})_{тр}$  соблюдается

*a* – plot 1a, the criterion  $(\omega_{пол})_{пр} \geq (\omega_{увл})_{тр}$  is not met; *b* – plot 4b, the criterion  $(\omega_{пол})_{пр} \geq (\omega_{увл})_{тр}$  is met

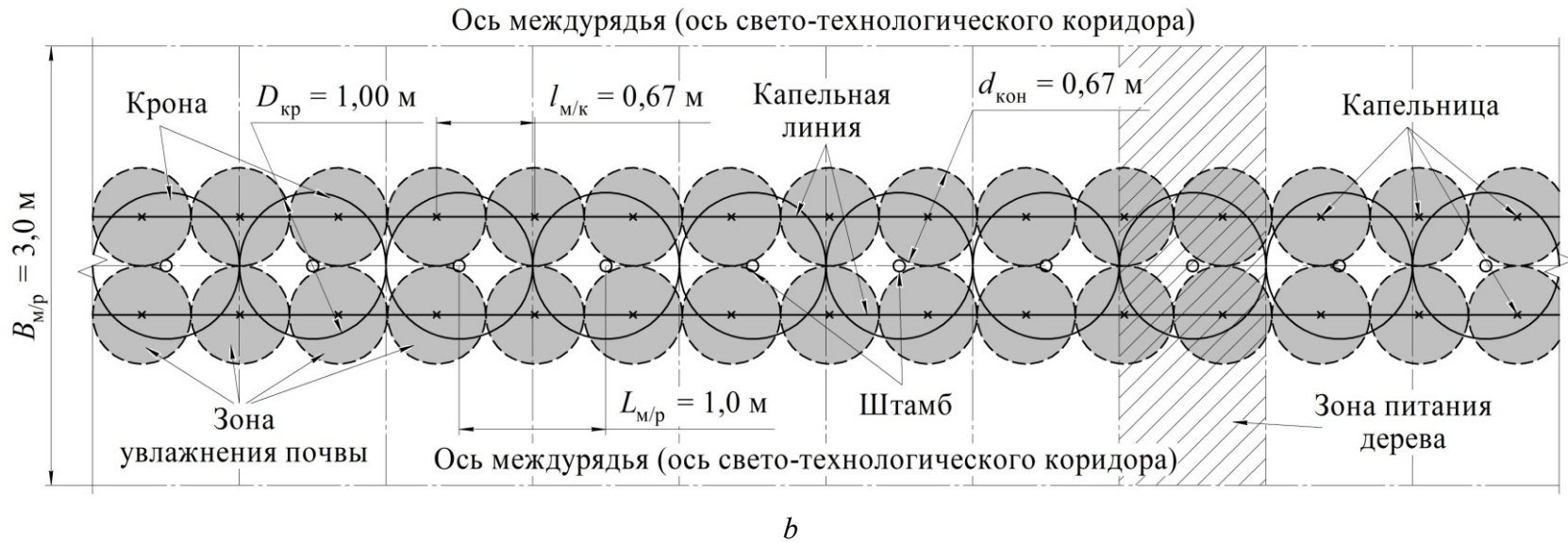
**Рисунок 3 – Примеры схем расположения зон увлажнения почвы при поливе  
 односточным поливным модулем**

**Figure 3 – Examples of layouts of soil moisture zones when watering  
 with a single-line irrigation module**





*a*



*a* – участок 1а, критерий  $(\omega_{\text{пол}})_{\text{пр}} \geq (\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$  не соблюдается; *b* – участок 2б, критерий  $(\omega_{\text{пол}})_{\text{пр}} \geq (\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$  соблюдается

*a* – plot 1a, the criterion  $(\omega_{\text{пол}})_{\text{пр}} \geq (\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$  is not met; *b* – plot 2b, the criterion  $(\omega_{\text{пол}})_{\text{пр}} \geq (\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$  is met

**Рисунок 4 – Примеры схем расположения зон увлажнения почвы, формируемых двухниточным поливным модулем**  
**Figure 4 – Examples of layouts of soil moisture zones, formed by a double-line irrigation module**

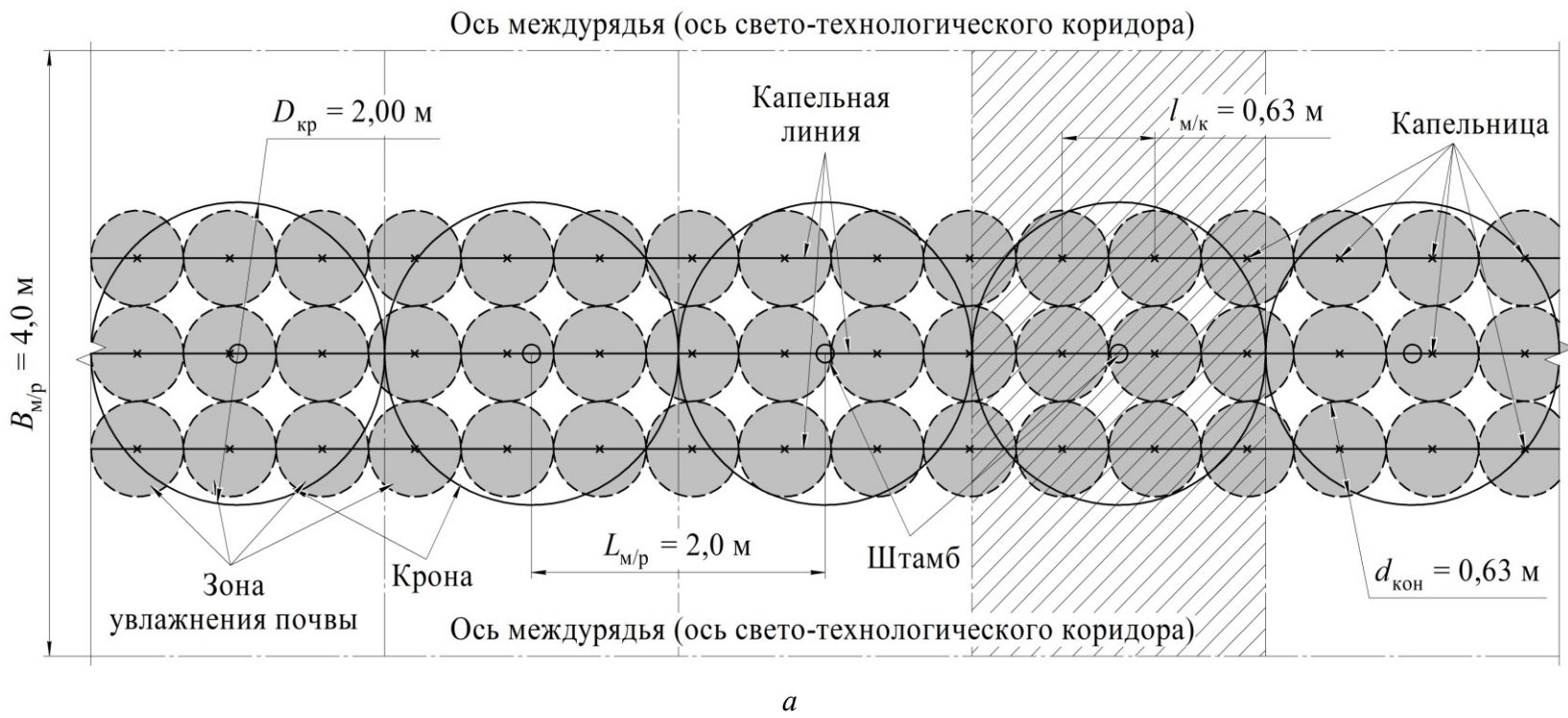


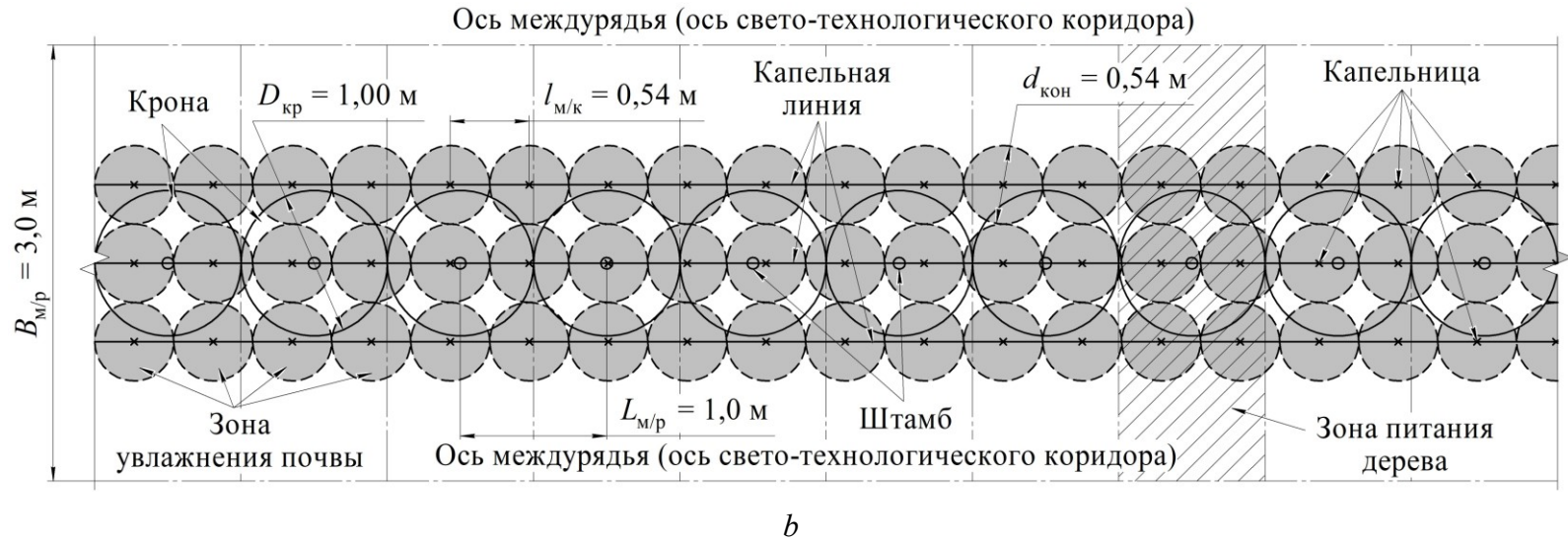
На территории с коэффициентом  $k_{увл} = 0,4$  в рассмотренных условиях двухниточный поливной модуль уже не может сформировать площадь увлажнения почвенного пространства, равную или больше требуемой площади увлажнения  $(\omega_{увл})_{тр}$ . В связи с этим с целью увеличения площади увлажнения в состав поливного модуля необходимо добавить третий поливной трубопровод, формирующий дополнительную полосу увлажнения. Результаты расчета параметров трехниточного поливного модуля для капельного полива плодового сада в условиях территорий с коэффициентом естественного увлажнения  $k_{увл} = 0,4$  приведены в таблице 3. Примеры схем расположения зон увлажнения почвы проиллюстрированы рисунком 5.

**Таблица 3 – Результаты расчета основных технологических параметров трехниточного поливного модуля**  
**Table 3 – Results of calculation of the main technological parameters of a three-line irrigation module**

№ участка	Параметр трехниточного поливного модуля								
	$\omega_{пит}$ , м <sup>2</sup>	$\alpha_{увл}$	$(\omega_{увл})_{тр}$ , м <sup>2</sup>	$q_{кап}$ , л/ч	$(d_{кон})_{пр}$ , м	$(\omega_{кон})_{пр}$ , м	$l_{м/к}$ , м	$n_{кап/л}$ , шт.	$(\omega_{пол/л})_{пр}$ , м <sup>2</sup>
При коэффициенте естественной увлажненности территории $k_{увл} = 0,4$									
1а	8,0	0,431	3,45	2,87	0,63	0,315	0,63	9,47	2,984
1б	3,0		1,29	3,14	0,54	0,226	0,54	5,59	1,264

Результаты расчета, приведенные в таблице 3, показывают, что для участка 1б критерий  $(\omega_{пол})_{пр} \geq (\omega_{увл})_{тр}$  соблюдается, а для участка 1а – нет. Площадь зоны увлажнения почвы, формируемой трехниточным поливным модулем на участке 1а, составила 2,98 м<sup>2</sup> и меньше требуемой на 13,6 %. Несмотря на это, трехниточный поливной модуль из всех рассмотренных конфигураций наиболее полно удовлетворяет потребностям многолетних культур на участке 1а и рекомендуется к применению.





*a* – участок 1а, критерий  $(\omega_{\text{пол}})_{\text{пр}} \geq (\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$  не соблюдается; *b* – участок 1б, критерий  $(\omega_{\text{пол}})_{\text{пр}} \geq (\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$  соблюдается

*a* – plot 1a, the criterion  $(\omega_{\text{пол}})_{\text{пр}} \geq (\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$  is not met; *b* – plot 1b, the criterion  $(\omega_{\text{пол}})_{\text{пр}} \geq (\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$  is met

**Рисунок 5 – Примеры схем расположения зон увлажнения почвы, формируемых трехниточным поливным модулем**

**Figure 5 – Examples of layouts of soil moisture zones, formed by a three-line irrigation module**

## Выводы

1 Предложена методика расчета технологических параметров поливного модуля капельного орошения древесно-плодовых насаждений и обоснованного выбора его конструкции. В качестве критерия обоснования конструкции поливного модуля было принято соблюдение условия  $(\omega_{\text{пол}})_{\text{пр}} \geq (\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$ , т. е. прогнозируемая площадь увлажнения зоны питания культуры  $(\omega_{\text{пол}})_{\text{пр}}$  должна быть больше или равна требуемой по агротехнике площади увлажнения почвы  $(\omega_{\text{увл}})_{\text{тр}}$ .

2 Апробация предложенной методики на характерных примерах плодовых садовых насаждений, орошаемых с использованием капельной оросительной сети, показала, что одноточечный поливной модуль соответствует потребностям многолетних плодовых культур на территориях с коэффициентом природного увлажнения  $k_{\text{увл}} = 1,0$  и в редких сочетаниях условий при  $k_{\text{увл}} = 0,8$ . Двухточечный поливной модуль стабильно обеспечивает требуемую площадь увлажнения почвы на территориях с коэффициентом природного увлажнения  $k_{\text{увл}} \geq 0,6$  и не может сформировать требуемую площадь увлажнения зоны питания плодовых культур на территориях со значениями  $k_{\text{увл}} = 0,4$ .

3 Для капельного полива многолетних плодовых культур на территориях с  $k_{\text{увл}} \leq 0,6$  предложено использовать поливной модуль с тремя капельными линиями.

## Список источников

1. 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.
2. Ясониди О. Е. Капельное орошение: монография / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск: Лик, 2011. 322 с. EDN: QLCBER.
3. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / И. П. Айдаров [и др.]; под ред. Б. Б. Шумакова. М.: Колос, 1999. 432 с. EDN: WFINLZ.
4. Икромов И. И. Формирование контуров и полосы увлажнения почвы при раз-

ной технологии микроорошения // Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства. Рязань: Рязанский ГАУ, 2004. Вып. 8. С. 240–244.

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

6. Особенности режима орошения и определения конуса промачивания при капельном орошении / В. И. Булгаков, И. А. Костоварова, С. А. Гжибовский, А. В. Грушин // Вестник мелиоративной науки. 2021. № 3. С. 67–75. EDN: ХНСТNR.

7. Ханиева И. М., Амшочков Б. Х., Шонтуков Т. З. Конструктивные и технологические особенности применения капельной системы орошения в условиях неудобий // Проблемы развития АПК региона. 2022. № 3(51). С. 124–128. DOI: 10.52671/20790996\_2022\_3\_124. EDN: GBLYME.

8. Пат. на изобретение 2783181 Российская Федерация, МПК А 01 G 25/02, А 01 G 29/00. Система капельного орошения многолетних насаждений / Губин В. К., Шевченко В. А., Храбров М. Ю., Кудрявцева Л. В.; патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. № 2022114131; заявл. 26.05.22; опубл. 09.11.22, Бюл. № 31. 9 с. EDN: PBGGSJ.

9. 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>.

10. 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>.

11. Штанько А. С., Шкура В. Н. Двухниточный поливной модуль для капельного орошения ряда древесных плодовых растений, культивируемых в садовых насаждениях // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 4. С. 49–66. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1237> (дата обращения: 15.01.2024). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-49-66. EDN: UIKEUW.

12. Штанько А. С. Количество и расстановка капельных водовыпусков при орошении плодовых садов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2022. № 1(85). С. 114–120. EDN: NUGFSG.

13. Штанько А. С., Удовидченко Я. Е. Геометрия корневых систем яблоневых растений, произрастающих на орошаемых склоновых землях // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 1(37). С. 80–104. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=646&id=652> (дата обращения: 15.01.2024). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-1-87-104. EDN: XBGDVN.

## References

1. Khrabrov M.Yu., Gubin V.K., Kolesova N.G., 2016. *Opredelenie tekhnologicheskikh parametrov sistem kapel'nogo orosheniya* [Determination of technological parameters of drip sprinkling systems]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(61), pp. 132–136, EDN: VRCUDB. (In Russian).

2. Yasonidi O.E., 2011. *Kapel'noe oroshenie: monografiya* [Drip Irrigation: monograph]. Novocherkassk State Land Reclamation Academy, Novocherkassk, Lik Publ., 322 p., EDN: QLCBEP. (In Russian).

3. Aidarov I.P. [et al.], 1999. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Oroshenie: spravochnik* [Land Reclamation and Water Management. Irrigation: Reference Book]. Moscow, Kolos Publ., 432 p., EDN: WFINLZ. (In Russian).

4. Ikromov I.I., 2004. *Formirovanie konturov i polosy uvlazhneniya pochvy pri raznoy tekhnologii mikroorosheniya* [Formation of soil moisture contours and strips at different microirrigation technologies]. *Sovremennye energo- i resursoberegayushchie ekologicheski ustoychivye tekhnologii i sistemy sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva* [Modern Energy- and Resource-Saving Environmentally Sustainable Technologies and Systems of Agricultural Production]. Ryazan, Ryazan State Agrarian University, vol. 8, pp. 240-244. (In Russian).

5. Rogachev A.F., Melikhova E.V., 2021. *Komp'yuternoe modelirovanie i parametrizatsiya v srede MathCAD konturov uvlazhneniya pri kapel'nom oroschenii* [Computer modeling and parameterization in MathCAD environment of humidification contours for drip irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings 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).

6. Bulgakov V.I., Kostovarova I.A., Gzhibovsky S.A., Grushin A.V., 2021. *Osobennosti rezhima oroscheniya i opredeleniya konusa promachivaniya pri kapel'nom oroschenii* [Features of irrigation rate and determination of the wetting cone during drip irrigation]. *Vestnik meliorativnoy nauki* [Bull. of Reclamation Science], no. 3, pp. 67-75, EDN: XHCTNR. (In Russian).

7. Khanieva I.M., Amshokov B.Kh., Shontukov T.Z., 2022. *Konstruktivnye i tekhnologicheskie osobennosti primeneniya kapel'noy sistemy oroscheniya v usloviyakh neudobiy* [Design and technological features of the use of a drip irrigation system under inarable conditions]. *Problemy razvitiya APK regiona* [Development Problems of Regional Agro-Industrial Complex], no. 3(51), pp. 124-128, DOI: 10.52671/20790996\_2022\_3\_124, EDN: GBLYME. (In Russian).

8. Gubin V.K., Shevchenko V.A., Khrabrov M.Yu., Kudryavtseva L.V., 2022. *Sistema kapel'nogo oroscheniya mnogoletnikh nasazhdeniy* [Drip Irrigation System for Perennial Plantings]. Patent RF, no. 2783181, EDN: PBGGSJ. (In Russian).

9. 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*, no. 36, pp. 157-172, <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02031-y>.

10. 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*, no. 601, 126835, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126835>.

11. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2021. [Double-line irrigation module for drip irrigation of some woody fruit plants cultivated in garden plantings]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 11, no. 4, pp. 49-66, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1237> [accessed 15.01.2024], DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-49-66, EDN: UIKEUW. (In Russian).

12. Shtanko A.S., 2022. *Kolichestvo i rasstanovka kapel'nykh vodovypuskov pri oroschenii plodovykh sadov* [The number and arrangement of drip emitters by irrigating orchards]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(85), pp. 114-120, EDN: NUGFSG. (In Russian).

13. Shtanko A.S., Udovidchenko Ya.E., 2020. [Geometry of root systems of apple plants growing on irrigated sloping lands]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(37), pp. 80-104, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=646&id=652> [accessed 15.01.2024], DOI: 10.31774/2222-1816-2020-1-87-104, EDN: XBGDVN. (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](mailto: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 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 19.12.2023; одобрена после рецензирования 26.02.2024; принята к публикации 26.03.2024.*

*The article was submitted 19.12.2023; approved after reviewing 26.02.2024; accepted for publication 26.03.2024.*