

РОЛЬ МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Научная статья

УДК 631.674.6

Технологические аспекты разработки компоновочно-конструктивных решений оросительной сети систем капельного орошения садов

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/0000-0002-469-6448>

Аннотация. Цель: сформулировать основные требования и положения технологии разработки компоновочно-конструктивных решений оросительной сети систем капельного орошения садовых насаждений. **Материалы и методы.** Эмпирическую основу исследования составили материалы проектных решений оросительных сетей для капельного полива древесно-плодовых культур, разработанные для различных природных (почвенных, топографических, фенологических) условий их устройства в садовых насаждениях. При разработке основных требований и положений использованы научные подходы анализа и синтеза. **Результаты и обсуждение.** Сформулированы основные требования к оросительным сетям систем капельного орошения промышленных садов и составляющим их элементам (магистральным, распределительным, оросительным и поливным трубопроводам). Определена последовательность выполнения технологических и расчетно-графических операций по разработке компоновочно-конструктивных решений капельной оросительной сети. Составлен перечень необходимых для проектирования исходных данных и подлежащих учету требований и ограничений. Сформулированы основные положения по подбору капельниц и выбору поливных трубок, определению параметров и разработки конструкций одно-, двух- и трехниточных поливных модулей. Определены условия трассирования магистральных, распределительных, оросительных и поливных трубопроводов. Приведены зависимости для гидравлического расчета основных функциональных водоводов трубопроводной сети по определению потерь напора, подбору их диаметров и установлению давления в них с учетом перепадов отметок местности. Сформулированные рекомендации по технологии разработки компоновочно-конструктивных решений сетей проиллюстрированы на примере садового насаждения. **Вывод.** Разработаны основные положения технологии разработки компоновочно-конструктивных решений оросительной сети систем капельного орошения садов.

Ключевые слова: капельное орошение, оросительная система, садовые насаждения, оросительная сеть, поливной модуль, гидравлический расчет

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Международной научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в обеспечении устойчивого развития земледелия» (г. Новочеркасск, 18 февраля 2026 г.).

Для цитирования: Штанько А. С., Шкура В. Н. Технологические аспекты разработки компоновочно-конструктивных решений оросительной сети систем капельного орошения садов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2026. Т. 98, № 1. С. 175–196.

THE ROLE OF LAND RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT IN ENSURING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE

Original article

Technological aspects of the layout and design solutions development for the irrigation network of drip irrigation systems for gardens

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/0000-0002-469-6448>

Abstract. Purpose: to formulate the main requirements and provisions of the technology for developing layout and design solutions for the irrigation network of drip irrigation systems for garden plantings. **Materials and methods.** The empirical basis of the study were the materials of design solutions for irrigation networks for drip irrigation of tree and fruit crops, developed for various natural (soil, topographic, phenological) conditions of their introduction in garden plantings. In developing the main requirements and provisions, scientific approaches to analysis and synthesis were used. **Results and discussion.** The main requirements for irrigation networks of drip irrigation systems for commercial gardens and their constituent elements (main, distribution, irrigation and irrigation pipelines) are formulated. The sequence of technological, computational and graphic operations for developing layout and design solutions for the drip irrigation network is determined. A list of initial data required for the design and requirements and restrictions to be taken into account is compiled. The article formulates the fundamental principles for selecting drip emitters and irrigation tubes, determining the parameters, and developing the designs of single-, dual-, and triple-line irrigation modules. The article defines the routing conditions for main, distribution, irrigation, and irrigation pipelines. Dependencies are provided for the hydraulic calculation of the main functional water courses of the pipeline network to determine pressure losses, select their diameters, and determine pressure in them, taking into account elevation differences. The formulated recommendations for the technology for developing network layout and design solutions are illustrated using a garden planting as an example. **Conclusion.** The article formulates the fundamental principles for developing layout and design solutions for irrigation networks of drip irrigation systems for gardens.

Keywords: drip irrigation, irrigation system, garden plantings, irrigation network, irrigation module, hydraulic calculation

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the International scientific and practical conference “The role of land reclamation and water management in ensuring the sustainable development of agriculture” (Novocherkassk, February 18, 2026).

For citation: Shtanko A. S., Shkura V. N. Technological aspects of the layout and design solutions development for the irrigation network of drip irrigation systems for gardens. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2026;98(1):175–196. (In Russ.).

Введение. Оросительная сеть систем капельного орошения садовых насаждений предназначена для подвода, распределения и подачи оросительной воды (поливного раствора) в зоны водного и минерального питания культивируемых древесно-плодовых растений [1–3]. Оросительная

сеть предусматривает собой совокупность физически связанных и гидравлически взаимоувязанных трубопроводов различного функционального предназначения. В общем случае капельная оросительная сеть включает магистральный (M_m) трубопровод и комплекс распределительных (P_m), оросительных (O_m) и поливных ($П_m$) трубопроводов [4–6].

Магистральный трубопровод (магистраль) обеспечивает транспортирование поливной воды от станции водоподготовки к трубопроводам распределительной сети. Распределительные трубопроводы (распределители) составляют распределительную сеть различного иерархического порядка, обеспечивающую распределение поливной воды между садовыми кварталами (подвод и подачу поливных растворов в оросительные трубопроводы). Оросительные трубопроводы (оросители) питаются поливной водой из распределителей младшего порядка и предназначены для подвода и распределения воды в пределах садовой клетки (единовременно поливаемого участка) и подачи ее в поливные трубопроводы. Питающиеся из оросительных водоводов поливные трубопроводы (поливные модули) обеспечивают капельный полив одного ряда древесно-плодовых культур и представляют собой оборудованные капельными водовыпусками трубки [7–10].

Компоновочно-конструктивное решение оросительной сети должно обеспечить подачу поливной воды в объемах, соответствующих расчетным значениям поливной нормы, к каждому культивируемому растению; соответствовать требованиям надежности и условиям подачи воды по объему и продолжительности, ремонтпригодности, минимизации стоимости строительства и затрат на эксплуатацию.

Рациональность компоновочно-конструктивного решения сети предопределяет ее технико-экономические показатели и продукционную эффективность использования системы капельного орошения.

Определенные предложения и рекомендации по компоновке оросительных сетей систем капельного орошения и их гидравлическим расчетам приведены в представленных выше работах, а также в [11–14]. Несмотря

важность проблемы, общепринятые обобщения в области устройства оросительной сети систем капельного орошения до настоящего времени не сделаны, что приводит к ошибочным или недостаточно рациональным решениям, базирующимся на собственных представлениях авторов проектов. Указанное обстоятельство предопределяет актуальность и целесообразность проведения исследований и создание технологии разработки компоновочно-конструктивных решений оросительной сети систем капельного орошения промышленных садовых насаждений, в том числе на данном этапе исследований основных положений указанной технологии.

Материалы и методы. Фактологическую основу разработки составили данные авторских исследований контуров увлажнения, формирующихся в почвенном пространстве при капельном поливе; материалы исследований и разработок в области обоснования выбора параметров капельниц, капельных трубок и поливных модулей; результаты гидравлических исследований трубопроводов различного функционального назначения; данные анализа компоновочно-конструктивных решений и исследований функционирования капельных оросительных сетей в садовых насаждениях. При разработке компоновочно-конструктивных решений капельных оросительных сетей использовались методы научного анализа и синтеза.

Результаты и обсуждение. Порядок разработки компоновочно-конструктивного решения капельной оросительной сети предусматривает последовательное решение шести основных задач.

1 Сбор исходных данных для проектирования, сведений и условий создания и функционирования системы капельного орошения.

2 Обоснование технологических параметров капельниц.

3 Обоснование параметров и выбор конструкции поливного модуля.

4 Разработка компоновочной схемы оросительной сети.

5 Выполнение расчета параметров магистрального, распределительных, оросительных и поливных трубопроводов.

6 Разработка компоновочно-конструктивного решения оросительной сети системы капельного орошения промышленных садов.

При решении первой задачи осуществляется сбор необходимых для проектирования материалов по микроклиматическим, топографическим и почвенным условиям садового насаждения; фитометрическим характеристикам возделываемых культур; технологическим и другим ограничениям.

В качестве микроклиматического показателя рассматривается коэффициент природного увлажнения территории сада – $k_{увл}$.

Топография участка представляется землеустроительным планом садового насаждения в горизонталях с указанием геометрии садовых кварталов, клеток и рядов, схемы посадки растений ($B_{м/р} \times l_{м/р}$), расположения дорожной сети, лесных садозащитных полос и других объектов. Пример условного плана садового насаждения проиллюстрирован на рисунке 1.

На плане приводятся линейные размеры клеток (ширина – $B_{кл}$, м и длина $L_{кл}$, м), количество рядов возделываемых культур – $n_{ряд}$, шт., количество растений в ряду – $n_{раст/ряд}$, шт. и в садовой клетке – $n_{раст/кл}$, шт.

Почвенные условия капельно-орошаемого участка характеризуются такими показателями, как содержание в почве физической глины – W_2 в процентах от массы сухой почвы (% МСП); наименьшая влагоемкость – $W_{НВ}$, % МСП и плотность увлажняемого почвенного слоя $\gamma_{об}$, т/м³.

В качестве фитометрических характеристик древесно-плодовых культур рассматриваются расчетные значения высоты растений H_p , м, диаметра кроны $D_{кр}$, м, глубины h_k , м и радиуса r_k , м, зоны расположения основной части корней корневых систем возделываемых культур.

Технологические параметры включают данные по высоте расположения поливных линий над поверхностью земли $h_{кан}$, м, уровням доливной $\beta_{д/н}$, % МСП и послеполивной $\beta_{п/н}$, % МСП влажности почвы.

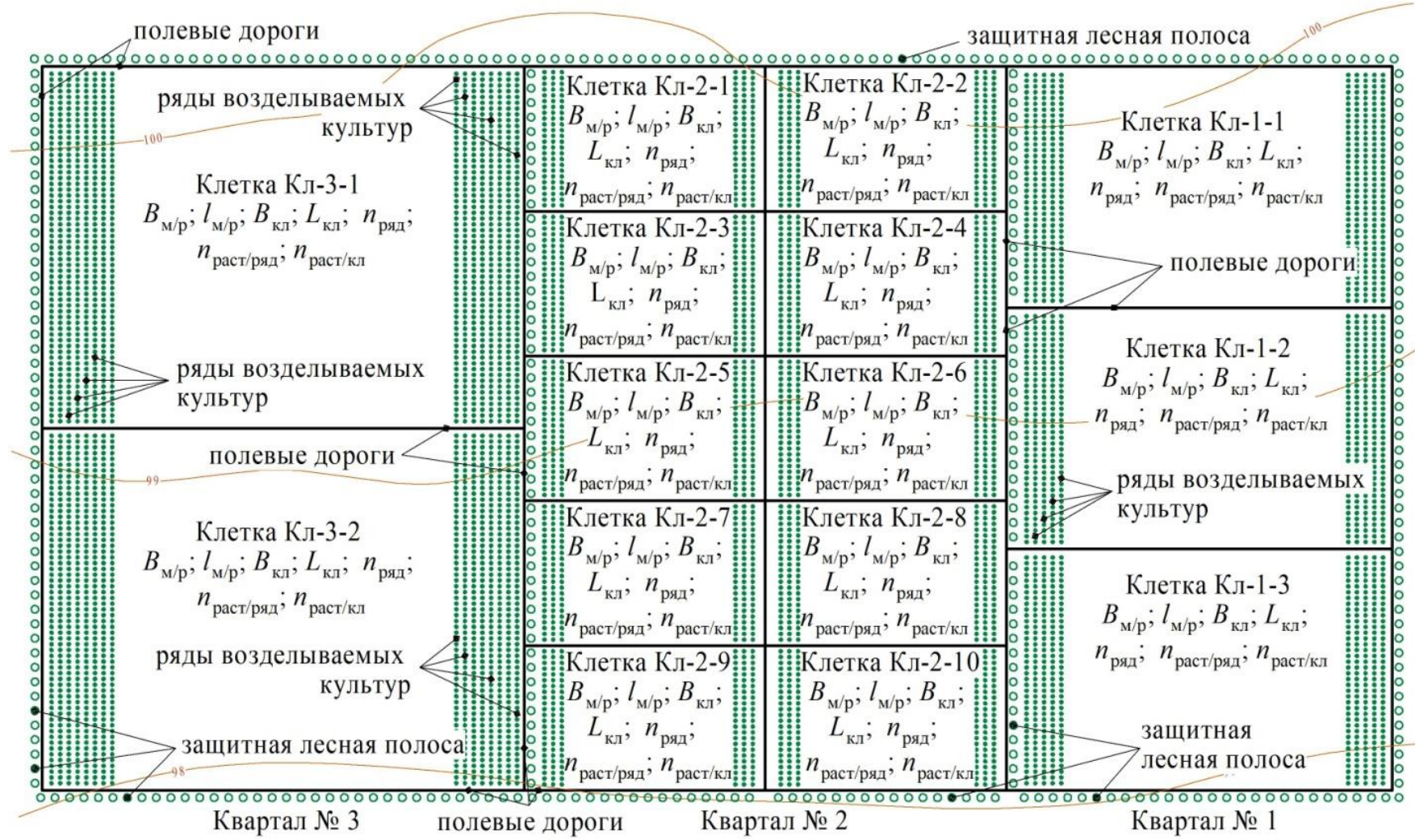


Рисунок 1 – Топографический план землеустройства садового насаждения

Figure 1 – Topographic plan of land management of garden plantings

Выбор капельниц осуществляется по величине их расхода, определяемому из условия соблюдения экологического требования – исключения формирования на поверхности земли крупноразмерных луж диаметром > 10 см и стока воды. Предельная величина расхода капельницы $q_{\text{кан,пред}}$ в соответствии с [15] определяется по зависимости:

$$q_{\text{кан,пред}} = \left[4,2 - \left(\frac{W_z}{W_{HB}} \right)^{1,42} \cdot \left(\frac{t_{\text{кан}}}{t_{\text{кан,пред}}} \right)^{0,08} \cdot 0,70 / \left(\frac{\beta_{HB}}{\beta_{\text{д/н}}} - 1,0 \right)^{0,1W_z/W_{HB}} \right], \text{ л/ч,} \quad (1)$$

где $t_{\text{кан}}$ – продолжительность полива, определяемая из условия обеспечения расчетного объема водоподачи на одну капельницу, обеспечивающего формирование в подкапельном почвенном пространстве контура увлажнения с заданными геометрическими и влажностными параметрами, ч;

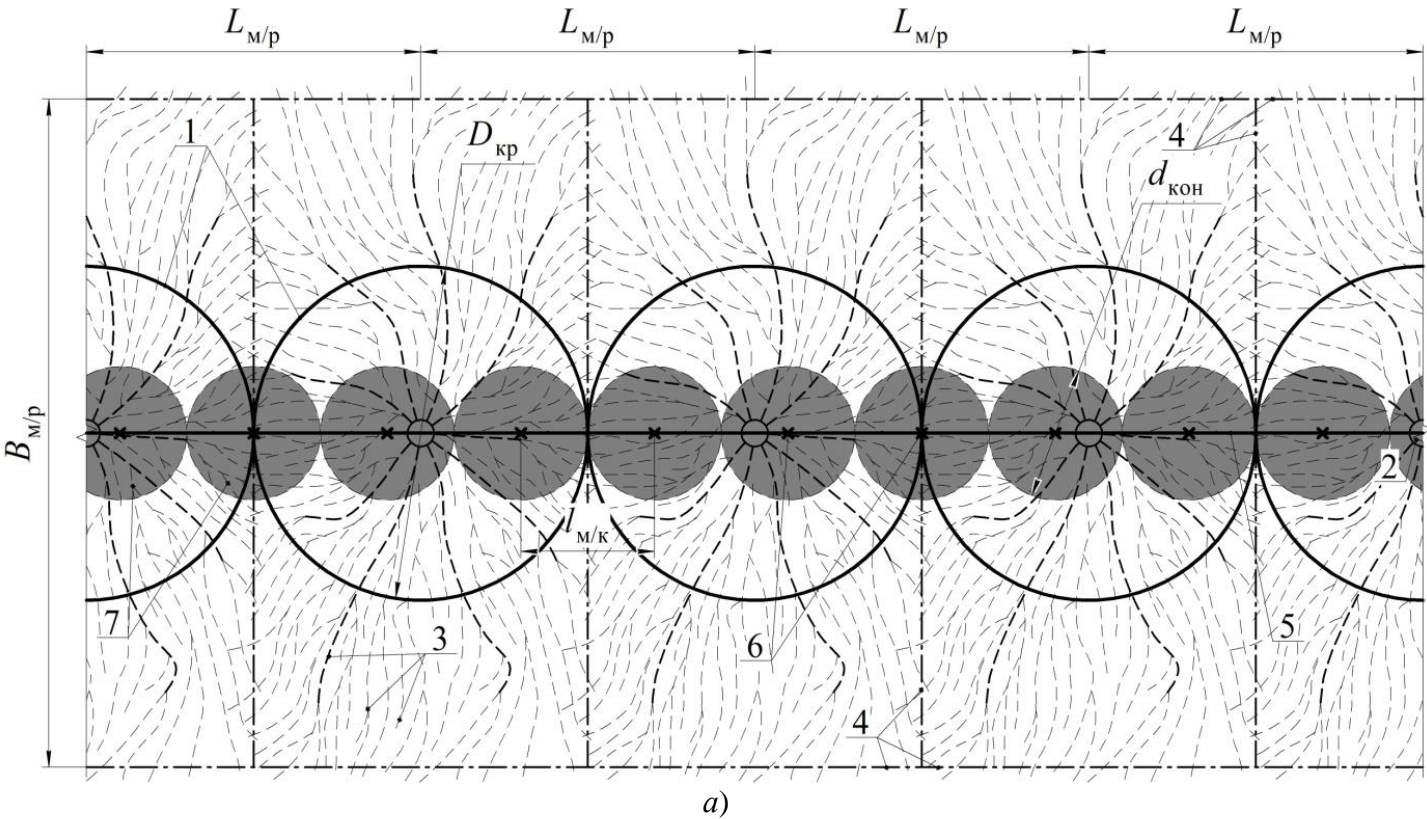
$t_{\text{кан,пред}}$ – предельная экологически безопасная продолжительность капельного полива, определяемая по зависимости:

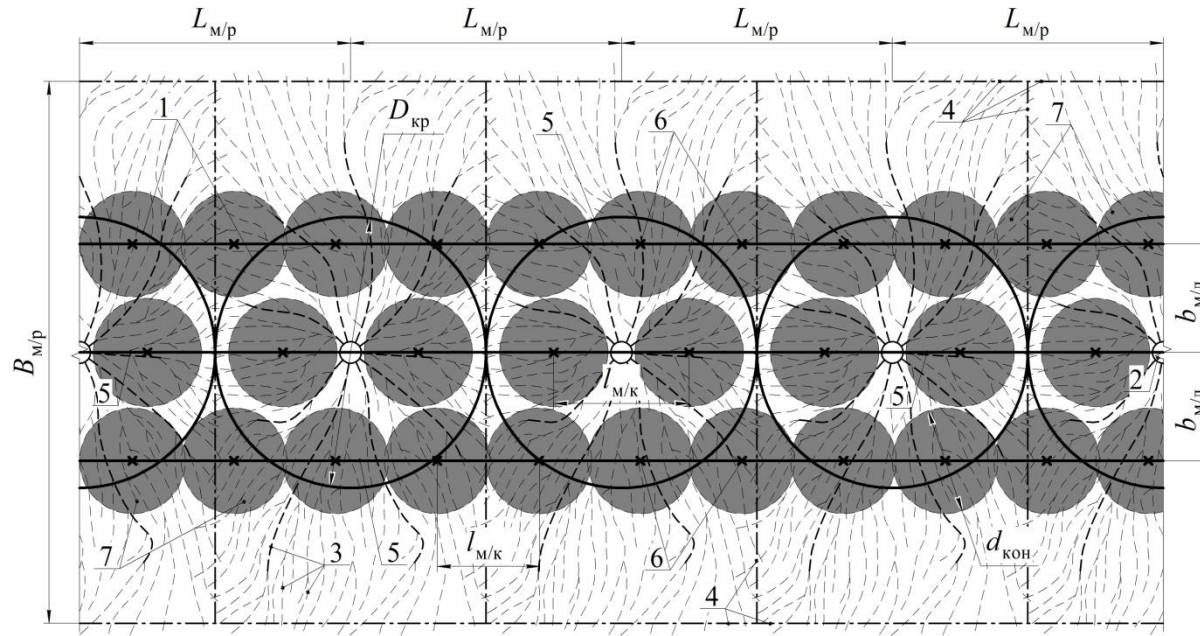
$$t_{\text{кан,пред}} = \left(12,0 / \left(\frac{q_{\text{кан}} \cdot W_z^{0,08}}{8,30 - W_z^{0,43}} \right)^5 \right) \times \left(\frac{0,6}{0,1 + h_{\text{кан}}} \right)^{0,25}, \text{ ч.} \quad (2)$$

В соответствии с принятым расходом капельницы осуществляют выбор индустриально изготавливаемой капельной трубки, оборудованной проточными компенсирующими изменение давление капельницами.

При выборе серийно изготавливаемой капельной трубки исходят из учета: шага размещения капельниц в поливной трубке – $l_{\text{м/к}}$, м, номинального $P_{\text{ном}}$, м и максимального $P_{\text{мах}}$, м, давления в поливном трубопроводе и диапазона компенсируемых капельницей давлений $\Delta P_{\text{ком}}$, м, предельной протяженности поливной линии $L_{\text{пред}}$, м и ее диаметра $d_{\text{н/м}}$.

Решение третьей задачи осуществляется в соответствии с авторскими рекомендациями [16] и заключается в выборе конструкции одно-, двух- или трехниточного поливного модуля, исходя из условия обеспечения каждого древесно-плодового растения необходимым количеством капельных микроводовыпусков $n_{\text{кан}}$, обеспечивающих увлажнение требуемого возделываемой культуре площади зоны питания $\omega_{\text{увл}}$, м². Схемы капельных поливных модулей проиллюстрированы на рисунке 2.





c)

a) односточный модуль; b) двухсточный; c) трехсточный модуль

a) single-line module, b) dual-line module, c) triple-line module

1 – крона дерева; 2 – штамп дерева; 3 – корневая система; 4 – граница зоны питания, выделенной каждому дереву; 5 – поливной трубопровод; 6 – капельница; 7 – зона увлажнения почвы

1 – tree crown; 2 – tree trunk; 3 – root system; 4 – boundary of the nutrition zone allocated to each tree; 5 – irrigation pipe; 6 – drip emitter; 7 – soil moisture zone

Рисунок 2 – Схемы поливных модулей

Figure 2 – Irrigation module diagrams

При разработке конструктивных решений поливных модулей рекомендуется соблюдать нижеприведенные ограничения и требования.

1 Удаленность конструктивных элементов поливного модуля от оси ряда деревьев в направлении междурядья; принимается из условия обеспечения необходимой ширины транспортно-инсоляционного коридора между рядами возделываемых культур и зависит от габаритов применяемой в садовом насаждении техники.

2 Капельницы должны быть расположены на расстоянии не менее 0,2 м от штамба, исключаящем выпуск поливной воды и фертигационного или промывочного растворов на растение и его главный корень.

3 Подача поливной воды или фертигационного раствора должна осуществляться из капельных микроводовыпусков в зоны расположения основной массы корней возделываемых культур.

4 Площадь горизонтальной проекции формируемой зоны увлажнения (далее площадь зоны увлажнения) должна соответствовать климатическим условиям и принимается в зависимости от коэффициента природного увлажнения территории сада по рекомендациям, приведенным в [4].

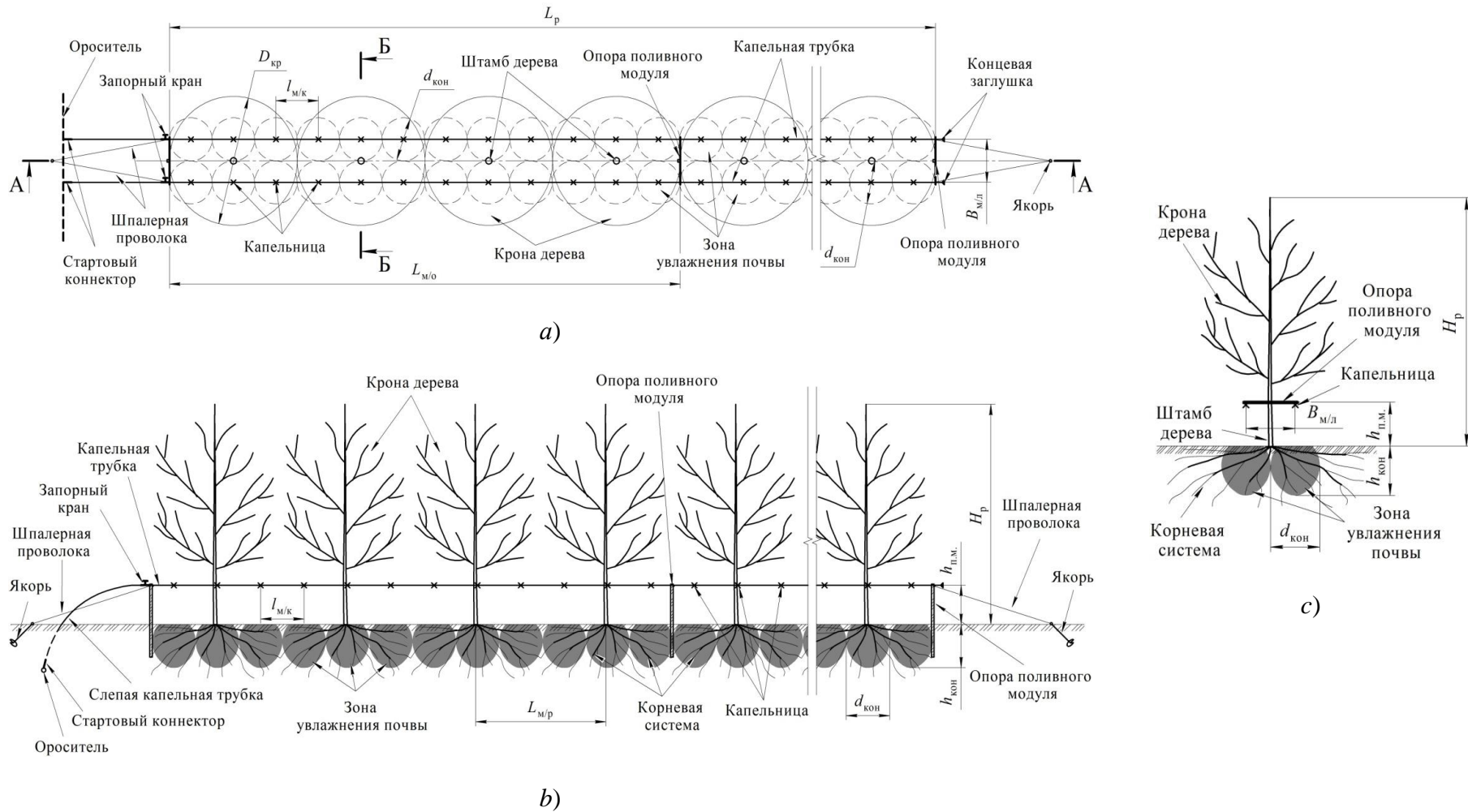
5 В процессе капельного полива не допускается образование поверхностного стока воды или образование луж диаметром более 0,1 м, что обеспечивается соответствующими параметрами капельниц.

6 Поливной модуль должен обеспечивать равномерную подачу поливной воды на всей протяженности поливной линии (ряда растений).

7 Обеспечение надежности функционирования капельного поливного модуля и капельниц, доступности осмотра, простоты технического обслуживания и ремонта.

8 Исключение со стороны конструкции поливного модуля препятствий для ведения уходных и уборочных работ в садовом насаждении.

Конструирование капельных поливных одно-, двух- и трехниточных модулей осуществляется в соответствии с рекомендациями, приведенными в [8]. Пример соответствующего вышеприведенным требованиям конструктивного решения двухниточного поливного модуля проиллюстрирован на рисунке 3.



a) вид сверху; b) продольный разрез А – А; c) поперечный разрез Б – Б

a) top view; b) longitudinal section A – A; c) cross section B – B

Рисунок 3 – Схема двухниточного поливного модуля

Figure 3 – Schematic diagram of a dual-line irrigation module

Разработка компоновочной схемы оросительной сети осуществляется на землеустроительном плане садового насаждения (рисунок 1) и производится в нижеследующей последовательности технологических операций.

1 Трасса расположения магистрального трубопровода намечается с соблюдением нижеследующих рекомендаций.

1.1 При наличии рельефного водораздела, по обеим сторонам которого располагается сад, магистральный трубопровод трассируется по наивысшим отметкам, а на склоновом участке – по верху склона.

1.2 На безуклонном или пологосклонном ($i \leq 3^\circ$) участках магистральный трубопровод трассируется в срединной части орошаемого сада.

1.3 При наличии на садовом участке лесных полос и дорожной сети магистральный трубопровод трассируется вдоль них.

2 Трассы распределительных трубопроводов, обеспечивающих подачу поливной воды от магистрального трубопровода к кварталам сада, намечаются с соблюдением нижеследующих рекомендаций.

2.1 Распределительные трубопроводы старшего порядка трассируются с учетом рельефа, расположения кварталов, дорог и лесных полос.

2.2 Распределители младшего порядка, обеспечивающие подачу воды в поливную сеть одного квартала, желательно трассировать по уклону поверхности земли. Расположение и протяженность каждого распределительного трубопровода принимается с учетом одностороннего или двухстороннего подключения к нему оросителей. В зависимости от топографических условий сада распределительные трубопроводы могут отсутствовать. При этом оросительные трубопроводы присоединяются непосредственно к магистральному трубопроводу.

3 Оросительные трубопроводы обеспечивают подачу поливной воды в поливные модули. Геометрические параметры оросителей принимают с соблюдением требования обеспечения равномерности давлений ($\pm 10\%$ от

Принятые протяженности трубопроводов уточняются гидравлическим расчетом и проверяются на предмет соблюдения требований обеспечения равномерности полива всех культивируемых в саду растений.

Расчеты по определению геометрических, расходных, скоростных и напорных характеристик поливных, оросительных и распределительных трубопроводов проводятся по садовым кварталам (орошаемым участкам), садовым клеткам (поливным участкам), садовым рядам (поливным модулям), а магистрального трубопровода – по садовому насаждению в целом.

Гидравлический расчет трубопроводов оросительной сети проводится в следующем порядке: 1) определение параметров поливных трубопроводов (поливных модулей); 2) определение параметров оросительных трубопроводов; 3) определение параметров распределительных трубопроводов младшего порядка и затем распределителя старшего порядка; 4) определение параметров магистрального трубопровода.

Определение потерь напора в трубопроводах капельной оросительной сети осуществляется по нижеприведенным зависимостям:

а) поливного трубопровода:

$$(h_w)_{n/m} = 0,007716 \cdot \frac{q_{kan}^{1,77} \cdot v^{0,23} \cdot L_{n/m}^{2,77}}{d_{n/m}^{4,77} \cdot l_{m/k}^{1,77}}, \text{ м}; \quad (3)$$

б) оросительного трубопровода:

$$(h_w)_{o/m} = 0,00774 \cdot \frac{Q_{o/m}^{1,77} \cdot L_{o/m} \cdot v^{0,23}}{d_{o/m}^{4,77}}, \text{ м}; \quad (4)$$

в) распределительного и магистрального трубопроводов:

$$(h_w)_{p/m} = 0,0215 \cdot \frac{Q_i^{1,77} \cdot L_i \cdot v^{0,23}}{d_i^{4,77}}, \text{ м}, \quad (5)$$

где $Q_{o/m}$ – расход в начальном сечении оросительного трубопровода, м³/с;

Q_i – расход на расчетном участке распределительного или магистрального трубопроводов, м³/с;

d_i – внутренний диаметр трубы в пределах расчетного участка распределительного или магистрального трубопроводов, м.

Диаметры трубопроводов определяются по зависимостям:

а) поливного трубопровода:

$$(d_{n/m})_в = 0,361 \cdot \frac{L_{n/m}^{0,581} \cdot q_{кан}^{0,371} \cdot v^{0,048}}{l_{м/к}^{0,371} \cdot (h_w)_{n/m}^{0,210}}; \quad (6)$$

б) оросительного трубопровода:

$$(d_{o/m})_в = 0,361 \cdot \frac{Q_{o/m}^{0,371} \cdot L_{o/m}^{0,21} \cdot v^{0,048}}{(h_w)_{o/m}^{0,21}}; \quad (7)$$

в) распределительного и магистрального трубопроводов:

$$d_i = 0,4588 \cdot \frac{Q_i^{0,359} \cdot L_i^{0,2029} \cdot v^{0,0467}}{(h_w)_i^{0,2029}}. \quad (8)$$

Полученные значения внутренних диаметров трубопроводов корректируются с учетом индустриально изготавливаемых труб и проверяются на выполнение следующих условий:

- для поливных трубопроводов: $d_{n/m} \geq 0,652 \cdot \sqrt{q_{n/m}}$;
- для других видов трубопроводов : $d_i \geq 1,535 \cdot \sqrt{Q_i}$.

Установленные значения потерь напора h_w и зафиксированные по топографическому плану оросительной сети (по рисунку 4) значения перепада отметок местности ΔZ позволяют получить величину перепада давления между начальным и конечным сечениями для всех видов трубопроводов по соотношению:

$$\Delta P = \Delta Z - h_w, \text{ м.} \quad (9)$$

Полученные значения перепада давлений ΔP на магистральном, распределительном и оросительных трубопроводах не должны превышать 10 % от номинального давления на капельницах $P_{ном}$, а на поливном трубо-

проводе не должны превышать значения, компенсируемого капельницей диапазона давлений $\Delta P_{ком}$. При соблюдении указанных условий принятые в результате расчета внутренние диаметры трубопроводов являются приемлемыми для последующего использования при разработке компоновочно-конструктивного решения капельной оросительной сети.

На следующем этапе разработки компоновочно-конструктивного решения сети составляется схема распределения давлений в характерных сечениях трубопроводов, вид которой проиллюстрирован на рисунке 5.

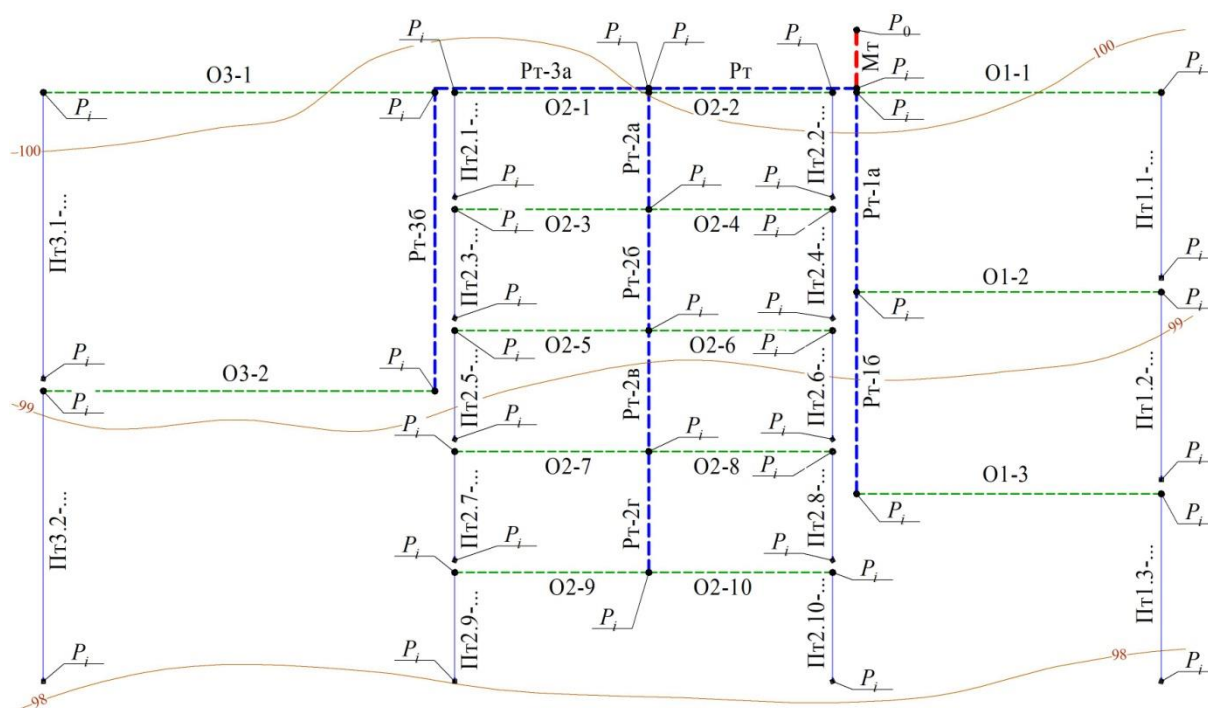


Рисунок 5 – План оросительной сети с указанием давлений
Figure 5 – Irrigation network plan indicating pressures layout
and design solution of the irrigation network

По результатам анализа значений давлений принимается решение о приемлемости сети или необходимости внесения корректив при невыполнении обеспечения нормативных требований по равномерности полива.

Результатом разработки является проиллюстрированное на рисунке 6 компоновочно-конструктивное решение оросительной сети.

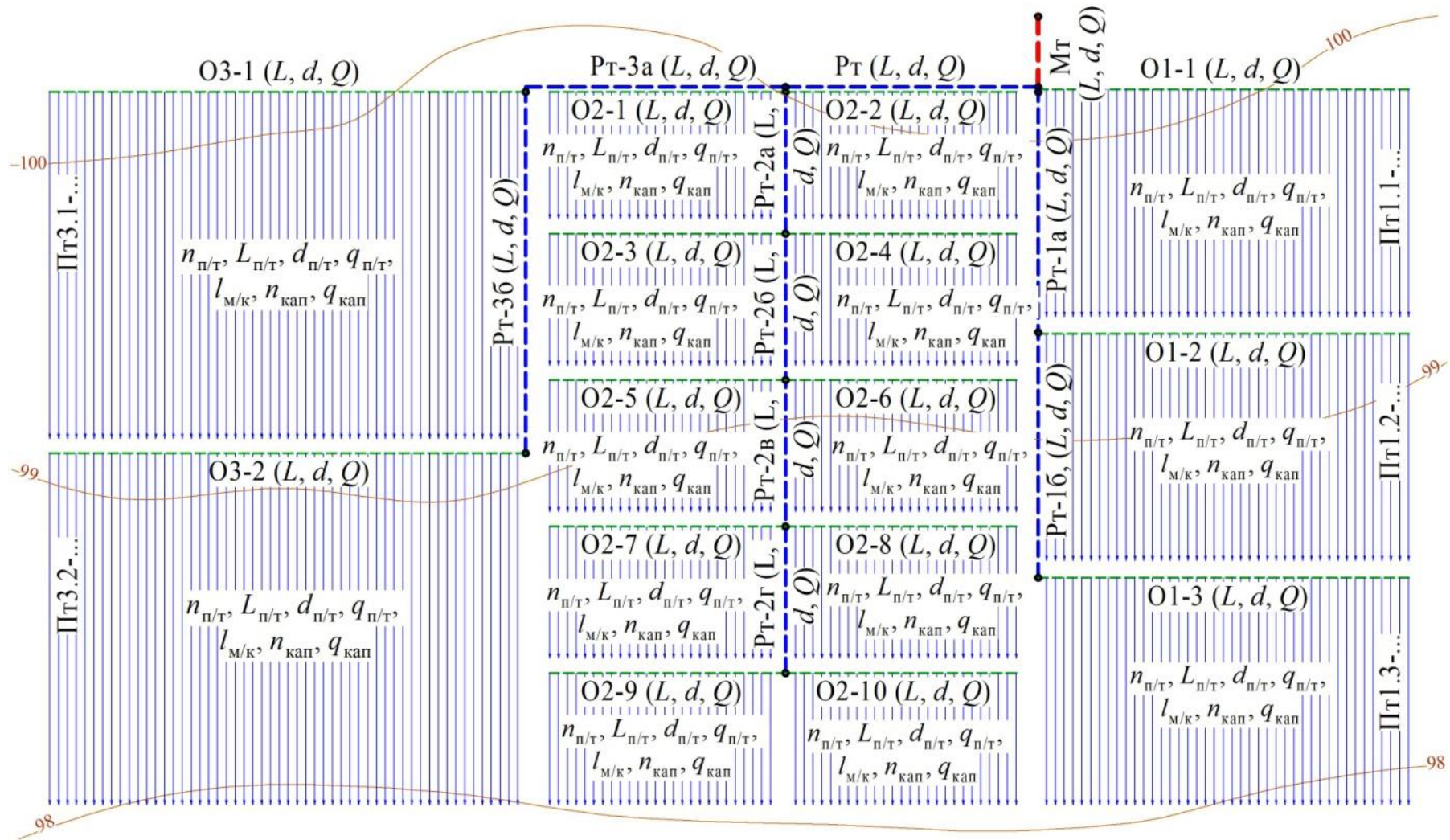


Рисунок 6 – Компонентно-конструктивное решение оросительной сети
 Figure 6 – Layout and design solution for the irrigation network

Выводы. Разработана технология конструирования оросительной сети систем капельного орошения садов, включающая сбор исходной информации, установление параметров капельниц и капельных поливных трубок, обоснованный выбор параметров конструкции поливного модуля, разработку компоновочных схем сети, гидравлический расчет магистральных, распределительных, оросительных и поливных трубопроводов, разработку схемы распределения давлений в водоводах различного функционального назначения и компоновочно-конструктивного решения оросительной сети системы капельного орошения сада.

Список источников

1. Голованов А. И., Кузнецов Е. В. Основы капельного орошения. Краснодар: КГАУ, 1996. 96 с.
2. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение / под. ред. Б. Б. Шумакова. М.: Колос, 1999. 432 с.
3. Ясонида О. Е. Капельное орошение: моног. Новочеркасск: Лик, 2011. 322с.
4. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справочник / Г. В. Ольгаренко [и др.]. М.: Росинформагротех, 2015. 263 с. EDN: YSVGCX.
5. Проектирование и расчет дождевания и капельного орошения сельскохозяйственных культур: метод. пособ. / В. В. Мелихов, И. П. Кружилин, Н. Н. Дубенок, А. Г. Болотин [и др.]. Волгоград: ВНИИОЗ, 2017. 184с.
6. Шкура В. Н., Масный Р. С., Штанько А. С. Системы капельного орошения садов: науч.-практ. изд. М.: Росинформагротех, 2023. 300 с. ISBN 978-5-7367-1777-4.
7. Пащенко А. И. Проектирование системы капельного орошения с учетом показателей надежности // Методология безопасности среды жизнедеятельности: сб. науч. тр. XVII Междунар. науч.-практ. конф., г. Симферополь, 14–17 окт. 2024 г. Симферополь: Ариал, 2024. С. 190–193. EDN: GVBIFN.
8. Ханиева И. М., Амшоков Б. Х., Шонтуков Т. З. Конструктивные и технологические особенности применения капельного орошения в условиях неудобий // Проблемы развития АПК региона. 2022. № 3(51). С. 124–128. DOI: 10.52671/20790996_2022_3_124. EDN: GBLYME.
9. Modeling moisture redistribution of drip irrigation systems by soil and system parameters: regression-based approaches / В. Karimi, N. Karimi, J. Shiri, H. Sanikhani // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2022. Vol. 36, No. 1. P. 157–172. DOI: 10.1007/s00477-021-02031-y. EDN: NCNOCX.
10. Ольин С. П., Хроль С. Б., Гросман Ю. И. Гидравлический расчет трубопроводной сети для систем капельного орошения // Сб. трудов ВНИИГиМ, 1978. Вып. 11. С. 106–114.
11. Гидравлические расчеты систем капельного орошения / П. М. Степанов [и др.]. Новочеркасск, 1987. 105 с.
12. Sadiq Y., Raji S. G., Idris S. Evaluation of Hydraulic Performance of Drip Irrigation System and yield Response of Tomato // Taraba Journal of Agricultural Research. 2022. Vol. 10, no. 1. DOI: 10.13140/RG.2.2.17259.21289.

13. Математическое моделирование давления жидкости в поливных и участковых трубопроводах систем капельного орошения / А. К. Семерджян, В. И. Орехова, Л. Н. Кондратенко, К. В. Мельник, Д. В. Чичкин // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 4. С. 7–10. EDN: USTWWZ.

14. Лытов М. Н. Гидравлические исследования поливного модуля системы комбинированного орошения // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 12. С. 74–93. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-74-93. EDN: BLWSEO.

15. Шкура В. Н., Колганов А. В., Штанько А. С. Обоснование расхода капельницы и определение продолжительности эрозионно безопасного капельного полива южных черноземов // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 4. С. 62–80. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-62-80. EDN: UWPOUL.

16. 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. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-32-54. EDN: KDJWBH.

References

1. Golovanov A.I., Kuznetsov E.V., 1996. *Osnovy kapel'nogo orosheniya* [Fundamentals of Drip Irrigation]. Krasnodar, KGAU, 96 p. (In Russian).

2. Shumakov B.B., 1999. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management]. *Oroshenie* [Irrigation]. Moscow, Kolos Publ., 432 p. (In Russian).

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

4. Ol'garenko G.V. [et al.], 2015. *Resursosoberegayushchie energoeffektivnye ekologicheski bezopasnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva orosheniya: spravochnik* [Resource-Saving Energy-Efficient Environmentally Friendly Technologies and Technical Means of Irrigation: a reference book]. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 263 p., EDN: YSVG CX. (In Russian).

5. Melikhov V.V., Kruzhilin I.P., Dubenok N.N., Bolotin A.G. [et al.], 2017. *Proektirovanie i raschet dozhddevaniya i kapel'nogo orosheniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: metod. posob* [Design and Calculation of Sprinkler and Drip Irrigation of Agricultural Crops: a method. manual]. Volgograd, VNIIOZ, 184s. (In Russian).

6. Shkura V.N., Masny R.S., Shtanko A.S., 2023. *Sistemy kapel'nogo orosheniya sadov: nauch.-prakt. izd.* [Drip Irrigation Systems for Gardens: scientific and practical ed.]. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 300 p., ISBN 978-5-7367-1777-4. (In Russian).

7. Pashchentsev A.I., 2024. *Proyektirovaniye sistemy kapel'nogo orosheniya s uchetom pokazateley nadezhnosti* [Designing a drip irrigation system taking into account reliability indicators]. *Metodologiya bezopasnosti sredey zhiznedeyatel'nosti: sb. nauch. tr. XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Methodology of Life Environment Safety: Collection of Scientific Papers of the XVII International scientific and practical Conference]. Simferopol, Arial Publ. (In Russian).

8. Khanieva IM., Amshokov B. Kh., Shontukov T.Z., 2022. *Konstruktivnye i tekhnologicheskie osobennosti primeneniya kapel'nogo orosheniya v usloviyakh neudobiy* [Design and technological features of the application of a drip irrigation system under conditions of discomfortability]. *Problemy razvitiya APK regiona* [Problems of Regional Agricultural Development], no. 3(51), pp. 124-128, DOI: 10.52671/20790996_2022_3_124, EDN: GBLYME. (In Russian).

9. Karimi B., Karimi N., Shiri J., Sanikhani H., 2022. Stochastic Modeling moisture redistribution of drip irrigation systems by soil and system parameters: regression-based approaches. *Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 36, no. 1, pp. 157-172, DOI: 10.1007/s00477-021-02031-y, EDN: NCNOCX.

10. Olin S.P., Khról S.B., Grossman Yu.I., 1978. *Gidravlicheskiy raschet truboprovodnoy seti dlya sistem kapel'nogo orosheniya* [Hydraulic calculation of pipeline network for drip ir-

rigation systems]. *Sb. trudov VNIIGiM* [Collection of Works of the All-Russian Research Institute of Irrigation and Melioration], issue 11, pp. 106-114. (In Russian).

11. Stepanov P.M. [et al.], 1987. *Gidravlicheskie raschety sistem kapel'nogo oroseniya* [Hydraulic Calculations of Drip Irrigation Systems]. Novocherkassk, 105 p. (In Russian).

12. Sadiq Y., Raji S.G., Idris S., 2022. Evaluation of Hydraulic Performance of Drip Irrigation System and yield Response of Tomato. *Taraba Journal of Agricultural Research*, vol. 10, no. 1, DOI: 10.13140/RG.2.2.17259.21289.

13. Semerdzhyan A.K., Orekhova V.I., Kondratenko L.N., Melnik K.V., Chichkin D.V., 2023. *Matematicheskoe modelirovanie davleniya zhidkosti v polivnykh i uchastkovykh truboprovodakh sistem kapel'nogo oroseniya* [Mathematical modeling of fluid motion in irrigation and district pipes of drop irrigation systems]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 4, pp. 7-10, EDN: USTWWZ. (In Russian).

14. Lytov M.N., 2024. *Gidravlicheskie issledovaniya polivnogo modulya sistemy kombinirovannogo oroseniya* [Hydraulic studies of the irrigation module of combined irrigation system]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 14, no. 12, pp. 74-93. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-74-93, EDN: BLWSEO. (In Russian).

15. Shkura V.N., Kolganov A.V., Shtanko A.S., 2024. *Obosnovanie raskhoda kapel'nitsy i opredelenie prodolzhitel'nosti erozionno bezopasnogo kapel'nogo poliva yuzhnykh chernozemov* [Justification of drip emitter flow rate and determination of erosion-safe drip irrigation duration of southern chernozems]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 14, no. 4, pp. 62-80, DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-62-80, EDN: UWPOUL. (In Russian).

16. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2024. *Obosnovanie konstruksii polivnogo modulya sistemy kapel'nogo oroseniya plodovykh sadov* [Justification of the design of irrigation module of drip irrigation system of orchards]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 14, no. 2, pp. 32-54, DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-32-54, EDN: KDJWBH. (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: 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: 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: 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: 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.

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2026. Т. 98, № 1. С. 175–196.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2026. Vol. 98, no. 1. P. 175–196.

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

*Статья поступила в редакцию 06.02.2026; одобрена после рецензирования 27.02.2026;
принята к публикации 09.04.2026.
The article was submitted 06.02.2026; approved after reviewing 27.02.2026; accepted for
publication 09.04.2026.*