

## МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.674.6

doi: 10.31774/2712-9357-2025-15-3-45-66

### К расчету параметров поливного трубопровода в системах капельного орошения садов

Андрей Сергеевич Штанько<sup>1</sup>, Александр Васильевич Колганов<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>kolganov49@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0234-0079>

**Аннотация. Цель:** проведение исследований динамики потерь напора в поливных трубопроводах систем капельного орошения и связанной с ними равномерности полива капельницами; разработка методики гидравлического расчета трубопроводов поливной сети. **Материалы и методы.** Полевые исследования проводились на производственном участке орошаемого плодового сада в Неклиновском районе Ростовской области. В процессе полевых исследований поливных трубопроводов была установлена динамика потерь напора и расхода капельниц по длине поливного трубопровода. В качестве аналитической базы исследований рассмотрены известные методики и рекомендации по гидравлическому расчету трубопроводов с переменным расходом. **Результаты.** На производственном участке установлена значительная неравномерность подачи поливной воды из некомпенсирующих капельниц поливного трубопровода: от 2,12 л/ч в начальном сечении до 1,25 л/ч в концевой части, что связано со значительным перепадом давления: в головном створе – 0,97 атм, в концевом – 0,40 атм. Полученные результаты объясняются недостатками проектирования при обосновании параметров поливного трубопровода. Проведенный анализ наиболее известных методик гидравлического расчета трубопроводов поливной сети выявил значимые отличия в результатах расчета как по методикам между собой, так и по соответствию их опытным данным – от 10,4 до 30,4 %. В результате исследований разработана методика гидравлического расчета поливного трубопровода, рекомендуемая к использованию в следующих условиях: протяженность трубопровода от 20 до 200 м, диаметр трубопровода 16–20 мм, расход капельницы 0,4–2,0 л/ч, тип капельницы некомпенсирующая, расстояние между капельницами от 0,2 до 1,2 м, давление в головном створе поливного трубопровода 0,8–2,5 атм. **Выводы.** Предложенная методика позволяет установить протяженность поливного трубопровода, при которой падение давления в нем не превысит значения, обеспечивающего нормативную равномерность расходов поливной воды, истекающей из капельниц.

**Ключевые слова:** капельное орошение, поливная сеть, поливной трубопровод, гидравлический расчет трубопроводов, переменный расход, равномерность полива

**Финансирование:** субсидии на выполнение Государственного задания № 082-00062-25-00 за счет средств федерального бюджета.

**Для цитирования:** Штанько А. С., Колганов А. В. К расчету параметров поливного трубопровода в системах капельного орошения садов // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 3. С. 45–66. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-3-45-66>.

## LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

### On calculation of the irrigation pipeline parameters for drip irrigation systems of gardens

Andrey S. Shtanko<sup>1</sup>, Aleksandr V. Kolganov<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>kolganov49@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0234-0079>

**Abstract. Purpose:** to study the dynamics of pressure losses in irrigation pipelines of drip irrigation systems and the associated uniformity of irrigation by emitters; to develop a technique for hydraulic calculation of irrigation network pipelines. **Materials and methods.** Field studies were conducted on the production site of an irrigated garden in the Neklinovsky district Rostov region. In the course of field studies of irrigation pipelines, the dynamics of pressure losses and the flow rate of emitters along the irrigation pipeline length were determined. Known methods and recommendations for hydraulic calculation of pipelines with variable flow rate were considered as an analytical base for the research. **Results.** At the production site, the significant uniformity of irrigation water supply from non-compensating emitters of the irrigation pipeline was determined: from 2.12 l/h in the initial section to 1.25 l/h in the end section, which is associated with a significant pressure drop: in the head section – 0.97 atm, in the end – 0.40 atm. The obtained results are explained by design deficiencies in substantiating the parameters of the irrigation pipeline. The analysis of the most well-known methods of hydraulic calculation of irrigation network pipelines revealed significant differences in the calculation results both in terms of methods among themselves and in their compliance with experimental data – from 10.4 to 30.4 %. As a result of the research, a method for hydraulic calculation of the irrigation pipeline has been developed, recommended for use in the following conditions: pipeline length from 20 to 200 m, pipeline diameter of 16–20 mm, emitter flow rate of 0.4–2.0 l/h, non-compensating emitter type, distance between emitters from 0.2 to 1.2 m, pressure in the head section of the irrigation pipeline of 0.8–2.5 atm. **Conclusions.** The proposed method allows establishing the irrigation pipeline length at which the pressure drop in it will not exceed the value that ensures the standard uniformity of irrigation water flow rate from the emitters.

**Keywords:** drip irrigation, irrigation network, irrigation pipeline, hydraulic calculation of pipes, variable flow rate, uniformity of irrigation

**Funding:** subsidies for the implementation of State Assignment No. 082-00062-25-00 are from the federal budget.

**For citation:** Shtanko A. S., Kolganov A. V. On calculation of the irrigation pipeline parameters for drip irrigation systems of gardens. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025;15(3):45–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2025-15-3-45-66>.

**Введение.** Урожайность сельскохозяйственных культур и экономическая эффективность возделывания промышленных садов с применением систем капельного орошения в значительной мере определяется техническими

решениями и технико-экономическими показателями поливной сети, функциональными элементами которой являются капельницы и капельные поливные трубопроводы. Физически взаимосвязанные и гидравлически взаимосвязанные элементы поливной сети обеспечивают необходимый режим орошения и фертигации древесно-плодовых культур, произрастающих в пределах садовой клетки. Одним из основных требований к элементам капельной поливной сети является обеспечение нормативной равномерности подачи поливной воды из поливных водоводов к каждому из культивируемых на орошаемом участке растений. В связи с этим в мелиоративной науке определенное внимание уделяется разработке рекомендаций по проектированию поливной сети систем капельного орошения.

Первые отечественные разработки в области гидравлического расчета капельных поливных трубопроводов были реализованы в конце XX в. Н. И. Вдовиным и М. А. Волыновым (1976 г.); С. П. Ильиным, С. Б. Хролем и Ю. Н. Гросманом (1978 г.); А. А. Федорцом, С. М. Морозом и Л. А. Конюховым (1978 г.); И. П. Орлом и Ю. Н. Великановым (1978 г.); З. Р. Маланчуком (1980 г.); Ю. А. Скобельциным и Е. В. Кузнецовым (1982 г.); О. Е. Ясониди (1987 г.); П. М. Степановым и др. (1987 г.); А. Т. Каленниковым (1992 г.); А. И. Головановым и Е. В. Кузнецовым (1996 г.) и др.

В соответствии с потребностями практики разрабатывались рекомендации и методики гидравлического расчета поливных трубопроводов во Всесоюзном научно-исследовательском институте мелиорации и техники полива (ВНИИМиТП), Новочеркасском инженерно-мелиоративном институте (НИМИ), Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации (ВНИИГиМ), Всероссийском научно-исследовательском институте орошаемого земледелия (ВНИИОЗ), Кубанском государственном аг-

рарном университете (КубГАУ). Работы были представлены в виде указаний, руководств и пособий<sup>1, 2, 3, 4</sup>. Указанные разработки были выполнены для имеющихся и применяемых на тот период времени конструкций капельниц и поливных трубопроводов.

Совершенствование технических решений капельниц и поливных трубопроводов привело к необходимости корректировки методик их гидравлического расчета, нашедших отражение в публикациях начала XXI в.: А. В. Микитюк, В. М. Кажаров, П. Ю. Шугай (2005 г.); А. Д. Ахмедов, Е. Ю. Галиуллина, А. Д. Темерев (2011 г.); А. Е. Новиков и др. (2016 г.); Е. О. Ясониди, О. Е. Ясониди и Д. П. Гостищев (2018 г.); А. Т. Казыкеева, Ж. С. Мустафаев, А. О. Жаткамбаева (2017 г.); В. В. Мелихов (2021 г.) и др. Исследования по решению указанной задачи продолжаются до настоящего времени и отражены в работах: Т. И. Сафроновой и Д. А. Фияткина [1], Ж. Х. Ишанова [2], М. Н. Лытова [3], А. К. Семерджан, В. И. Орехова, Л. Н. Кондратенко и др. [4], Ю. Ю. Аriskиной и Ю. Е. Домашенко [5], Д. В. Булгакова [6], А. И. Пашенцева [7], И. Ф. Чупрова, М. С. Пармузиной и А. А. Лютоева [8], М. Хасан, А. Алматар, Е. В. Кузнецова [9] и др. [10, 11], а также в авторских публикациях [12–14].

Несмотря на разработки предшествующих и последних лет, в реальной практике эксплуатации систем капельного орошения встречаются поливные сети, не обеспечивающие требуемой равномерности подачи полив-

---

<sup>1</sup>Капельное орошение: пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения»: утв. Приказом Союзводпроекта от 11 апреля 1986 г. № 113. М., 1986. 148 с.

<sup>2</sup>Временные технические указания по проектированию, строительству и эксплуатации опытно-экспериментальных систем капельного орошения многолетних насаждений: РН 51.01.07-007. Мелитополь, 1978. 57 с.

<sup>3</sup>Руководство по проектированию, строительству и эксплуатации систем капельного орошения: ВТР-II-28-81: утв. М-вом мелиорации и вод. хоз-ва СССР 08.05.81. М., 1981. 181 с.

<sup>4</sup>Временные технические указания по гидравлическому расчету полиэтиленовых трубопроводов систем капельного орошения: утв. Науч.-техн. советом Минводхоза МССР 09.01.78. Кишинев: Тимпул, 1980. 48 с.

ной воды как отдельными поливными линиями, так и в целом по орошаемому участку. Указанное обстоятельство предопределило цель настоящего исследования – проведение исследований динамики потерь напора в поливных трубопроводах и связанной с ними равномерности полива капельницами и разработка методики гидравлического расчета трубопроводов поливной сети систем капельного орошения садов.

**Материалы и методы.** Экспериментальную основу работы составили материалы полевых исследований на опытном участке орошаемого плодового сада в Неклиновском районе Ростовской области. В процессе полевых исследований капельных поливных трубопроводов была установлена динамика потерь напора в пластмассовом поливном трубопроводе, оборудованном системой дискетно установленных водовыпусков (капельниц). Обследованный однониточный поливной модуль характеризуется нижеследующими параметрами:

- протяженность капельной поливной линии  $L_{п/т} = 200$  м;
- шаг расположения капельниц на поливной трубке  $l_{м/к} = 0,75$  м;
- внешний диаметр капельной трубки  $d_{п/т} = 16$  мм;
- количество капельниц на поливном трубопроводе  $(n_{кап})_{п/т} = 267$  шт.;
- напор (давление) на входе в поливной трубопровод  $P_{вх} = 1,05$  атм, а в начальном сечении его рабочей части  $P_{р/ч} = 0,97$  атм;
- номинальный расход капельниц  $q_{кап} = 1,5$  л/ч.

В качестве аналитической базы исследований рассмотрены известные методики и рекомендации по гидравлическому расчету трубопроводов с переменным расходом, приведенные в публикациях [15–18]. При установлении эмпирических зависимостей использованы методы дисперсионного и регрессионного анализа, а при разработке методики расчета – технологии синтеза и статистической обработки данных теоретических и экспериментальных исследований.

**Результаты и обсуждение.** В процессе проектирования систем капельного орошения потери напора в поливном трубопроводе устанавливаются гидравлическим расчетом с использованием зависимостей и методик, описывающих процесс напорного движения жидкости с переменной массой – уменьшающимся расходом по направлению движения потока.

Условием приемлемости принимаемых геометрических и гидравлических параметров поливного трубопровода является показатель, характеризующий неравномерность распределения поливной воды, подаваемой капельницами на орошаемый участок. До настоящего времени величина коэффициента неравномерности подачи воды капельницами по длине поливного трубопровода определялась с использованием соотношения:

$$k_{\text{нер}} = q_{\text{н}} / q_{\text{к}} \leq 0,1 \cdot \bar{q}_{\text{кап}}, \quad (1)$$

где  $q_{\text{н}}$  и  $q_{\text{к}}$  – соответственно расходы первой и последней капельниц на поливном(ой) трубопроводе (линии);

$\bar{q}_{\text{кап}}$  – средний расход капельниц по поливному трубопроводу.

Более обоснованно и точно можно определить указанный параметр через соотношение расхода капельницы, расположенной в любом месте поливного трубопровода  $q_{\text{кап}, i}$ , к среднему расходу капельниц  $\bar{q}_{\text{кап}}$ , определенному по всей протяженности поливного трубопровода в виде:

$$k_{\text{нер}} = q_{\text{кап}, i} / \bar{q}_{\text{кап}}. \quad (2)$$

При этом величина перепада напора в начальном и концевом сечениях поливного трубопровода  $\Delta P_i$  не должны превышать допустимых для определенной конструкции капельниц значений  $\Delta P_{\text{доп}}$ , обеспечивающих соблюдение условия равномерности подачи воды, т. е.  $\Delta P_i \leq \Delta P_{\text{доп}}$ .

Отметим, что в реальной практике применения систем капельного орошения требуемая равномерность полива обеспечивается не всегда. Указанный факт зафиксирован нами в процессе исследований, выполненных на

опытно-производственном садовом участке в хозяйстве СПК «Прогресс» Неклиновского района Ростовской области.

В процессе обследования поливных модулей, определения расчетных параметров капельниц и установления напорных характеристик капельного трубопровода на опытном участке решались следующие задачи:

- 1) определение расходов капельниц  $(q_{\text{кап}})_l$  при различной удаленности от начального створа рабочей части поливного трубопровода  $(L_{\text{п/т}})_x$ ;
- 2) определение значений напоров (давления)  $P_l$  при различной удаленности от начального створа сечениях капельной поливной линии  $(L_{\text{п/т}})_x$ .

Методика полевых исследований по определению расходов капельниц на различном удалении от начального створа (сечения) рабочей части поливного трубопровода предусматривала измерение объемов изливающейся из капельниц поливной воды посредством мензурки и фиксацию продолжительности водоподачи секундомером. Общее количество проведенных измерений расходов капельниц, расположенных на различном удалении от начального створа (15, 20, 105, 193 и 200 м) на двух поливных трубопроводах, составило 30 шт. При решении первой задачи на двух поливных линиях выполнено 5 серий опытов (в трехкратной повторности) по измерению расходов капельниц (таблица 1), что позволило установить наличие зависимости расходов, расположенных на капельном водоводе капельниц  $(q_{\text{кап}})_l$ , от их удаленности от оросителя  $(L_{\text{п/т}})_x$ .

Полуэмпирическая зависимость, описывающая изменение значений расходов капельниц  $(q_{\text{кап}})_l$  при различной удаленности от начального створа сечениях капельной поливной линии  $(L_{\text{п/т}})_x$  на опытном участке яблоневого сада, полученная с использованием технологии дисперсионно-регрессионного анализа, имеет вид:

$$(q_{\text{кап}})_l = 2,20 - 0,8 \cdot \left( \frac{(L_{\text{п/т}})_x}{100} \right)^{0,65} + 0,1 \cdot \left( \frac{(L_{\text{п/т}})_x}{100} \right)^{1,9}, \text{ л/ч}, \quad (3)$$

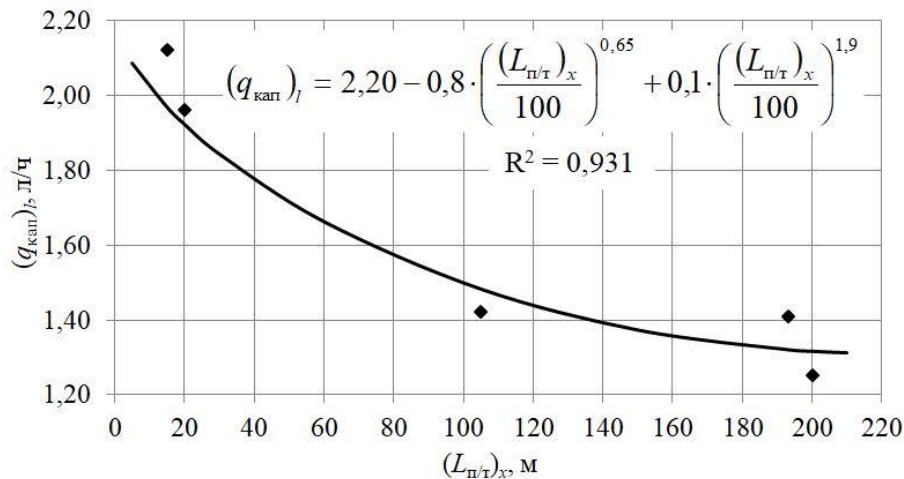
где  $(L_{п/т})_x$  – удаленность расположения капельниц от начального створа рабочей части капельного трубопровода, м.

**Таблица 1 – Значения расходов капельниц, расположенных по длине поливного трубопровода на различной удаленности**

**Table 1 – Values of flow rates of emitters located along the irrigation pipeline at different distances**

Параметр	Значение параметра				
Удаленность расположения капельниц от начального створа $(L_{п/т})_x$ , м	15,0	20,0	105,0	193,0	200,0
Опытное значение расхода капельницы, $(q_{кап})_l$ л/ч	2,12	1,96	1,42	1,41	1,25
Расчетные по зависимости (3) значения расхода капельниц $(q_{кап})_l$ , л/ч	1,97	1,92	1,48	1,32	1,32
Отклонения расчетных значений $(q_{кап})_l$ от опытных $\delta$ , %	+7,1	+1,8	–3,0	+6,2	–5,5

Опытные значения расходов поливных капельниц  $(q_{кап})_l$  и характер функциональной связи  $(q_{кап})_l = f(L_{п/т})_x$  проиллюстрированы на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Опытные значения  $(q_{кап})_l$  и график функциональной связи  $(q_{кап})_l = f(L_{п/т})_x$**

**Figure 1 – Experimental values  $(q_{кап})_l$  and functional link graph  $(q_{кап})_l = f(L_{п/т})_x$**

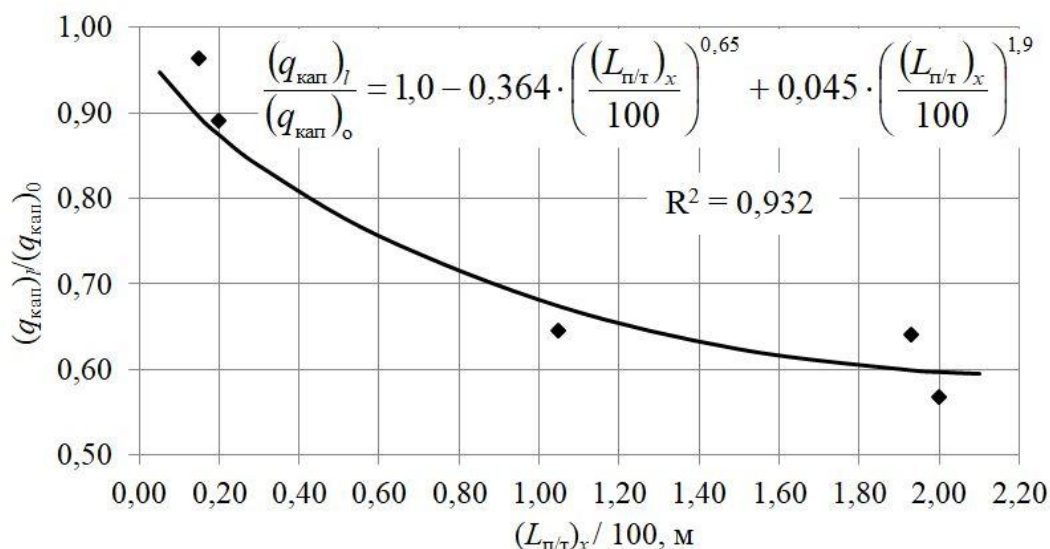
Опытные данные по вышеуказанной функциональной связи в относительных значениях расходов поливных капельниц могут быть аппроксимированы нижеприведенной экспериментальной зависимостью:



$$\frac{(q_{\text{кап}})_l}{(q_{\text{кап}})_0} = 1,0 - 0,364 \cdot \left( \frac{(L_{\text{п/т}})_x}{100} \right)^{0,65} + 0,045 \cdot \left( \frac{(L_{\text{п/т}})_x}{100} \right)^{1,9}, \quad (4)$$

где  $(q_{\text{кап}})_0 = 2,2$  л/ч – расход первой по направлению течения воды капельницы в начальном створе поливной линии.

Характер зависимости (4) проиллюстрирован на рисунке 2.



**Рисунок 2 – График  $(q_{\text{кап}})_l / (q_{\text{кап}})_0 = f((L_{\text{п/т}})_x / 100)$**

**Figure 2 – Graph  $(q_{\text{кап}})_l / (q_{\text{кап}})_0 = f((L_{\text{п/т}})_x / 100)$**

По приведенным данным измерений и их аппроксимации отметим:

- наличие значительной неравномерности водоподачи капельницами от 2,12 л/ч в начальном сечении до 1,25 л/ч в концевой части поливного трубопровода;

- отношение  $(q_{\text{кап}})_{i=1}$  к  $(q_{\text{кап}})_{i=267}$  составляет  $k_{\text{нер}} = 2,12 / 1,25 = 1,7$ , что значительно превышает допустимое значение  $(k_{\text{нер}})_{\text{доп}} = 1,1$ ;

- при среднем расходе капельницы  $q_{\text{кап}} = 1,57$  л/ч значение коэффициента неравномерности составляет  $k_{\text{нер}} = 1,35$ , что также превышает допустимое значение.

Второй задачей обследования состояния капельных поливных водоводов и условий их функционирования было измерение напоров ( $P_l$ , атм) по

их протяженности  $(L_{п/т})_x$  и установление зависимости  $P_l = f(L_{п/т})_x$ . В соответствии с опытными данными (таблица 2), искомая функциональная связь  $P_l = f(L_{п/т})_x$  может быть описана зависимостью:

$$P_l = 0,97 - 0,52 \cdot \left( \frac{(L_{п/т})_x}{100} \right)^{0,54} + 0,03 \cdot \left( \frac{(L_{п/т})_x}{100} \right)^{2,4}. \quad (5)$$

Результаты сопоставления опытных и расчетных по зависимости (3) значений  $P_l$  для различных значений  $(L_{п/т})_x$  приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Значения напоров (давления) в различных сечениях капельного поливного трубопровода**

**Table 2 – Pressure values in different sections of a drip irrigation pipeline**

Параметр	Значение параметра					
Удаленность замерного сечения поливного трубопровода от створа соединения с оросителем (на входном сечении) $(L_{п/л})_x$ , м	0,0	15,0	45,0	75,0	105,0	193,0
Опытные значения $P_l$ , атм	0,97	0,85	0,60	0,50	0,45	0,40
Расчетные значения $P_l$ , атм	0,97	0,78	0,64	0,54	0,47	0,37
Отклонения расчетных значений $P_l$ от опытных $\delta$ , %	$\pm 0,0$	-7,81	+6,09	+7,97	+4,41	-6,57

Характер функциональной связи  $P_l = f(L_{п/л})_x$  и опытные значения давлений в поливном водоводе проиллюстрированы рисунком 3.

Исследуемая функциональная связь в относительных значениях  $P_l/P_0$  описывается зависимостью:

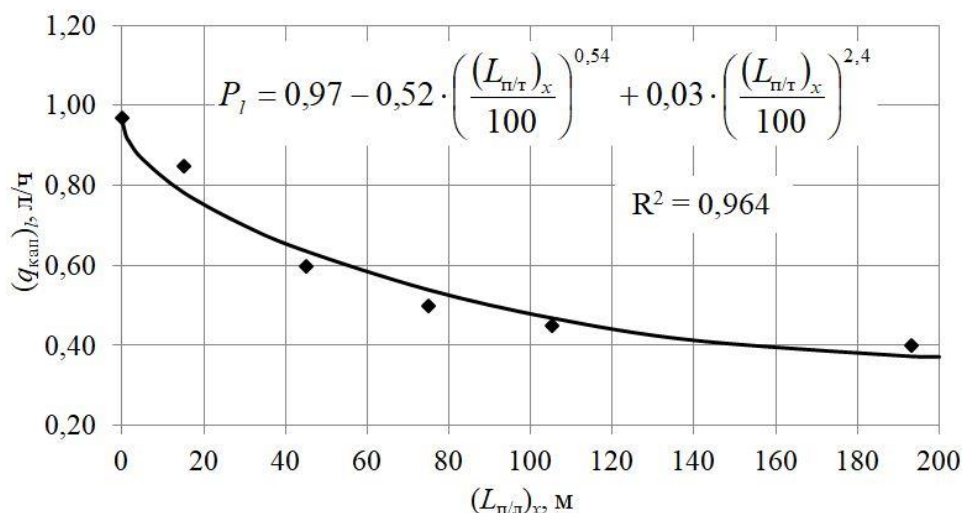
$$\frac{P_l}{P_0} = 1,00 - 0,536 \cdot \left( \frac{(L_{п/т})_x}{100} \right)^{0,54} + 0,031 \cdot \left( \frac{(L_{п/т})_x}{100} \right)^{2,4}, \quad (6)$$

где  $P_0$  – давление на входе в поливной трубопровод, атм.

Измеренные и расчетные по зависимости (6) значения  $P_l/P_0$  при различных значениях  $(L_{п/л})_x$  приведены в таблице 3.

Судя по приведенным в таблице 2 опытным данным измерений напоров (давлений) в поливных трубопроводах, отметим нижеследующее:

- перепад давлений между начальным и конечным сечениями поливного трубопровода составляет 0,57 атм;
- давление в начальном створе превышает давление в конечном замеренном створе в 2,4 раза.



**Рисунок 3 – Опытные данные и график функциональной связи  $P_l = f(L_{п/л})_x$**

**Figure 3 – Experimental data and functional link graph  $P_l = f(L_{п/л})_x$**

**Таблица 3 – Значения параметров функциональной связи**

$$P_l/P_0 = f(L_{п/л})_x$$

**Table 3 – Values of the functional link parameters  $P_l/P_0 = f(L_{п/л})_x$**

Параметр	Значение параметра					
Соотношение $(L_{п/л})_x/100$	0,0	0,15	0,45	0,75	1,05	1,93
Соотношение $(P_l/P_0)_{оп}$ (опытное)	1,0	0,88	0,62	0,52	0,46	0,41
Соотношение $(P_l/P_0)_{рас}$ (расчетное)	1,0	0,81	0,66	0,56	0,48	0,39
Отклонения значений $P_l/P_0$ ( $\delta_p$ , %)	$\pm 0,0$	-7,80	6,10	7,99	4,45	-6,46

Отмеченные особенности по расходам капельниц и давлению в поливном трубопроводе свидетельствуют о необоснованном техническом решении поливной сети на обследованном участке капельного орошения. Имеющая место неравномерность распределения давлений водного потока по длине капельных поливных трубопроводов и связанная с этим неравномерность расходов капельниц объясняются недостатками проектирования при обосновании геометрических и гидравлических параметров.

Отметим наличие ряда известных предложений и применяемых методов расчета напоров в трубопроводах поливной сети систем капельного орошения. В целях установления приемлемости известных зависимостей по определению потерь напора в поливных трубопроводах выполнены соответствующие условиям эксперимента расчеты, результаты которых приведены в таблице 4.

**Таблица 4 – Результаты расчетов потерь напора  $\Delta P$ , м вод. ст., в поливном трубопроводе на опытном участке по известным методикам**

**Table 4 – Results of calculations of pressure losses  $\Delta P$ , m water glass, in the irrigation pipeline at the experimental site using known methods**

Зависимость / методика	Опытное значение $\Delta P$ , м вод. ст.	Расчетное значение $\Delta P$ , м вод. ст.	Отклонение, %
ВНИИГиМ [15]	5,70	4,75	–16,7
НИМИ [16]		5,11	–10,4
ВНИИ «Радуга» [17]		4,92	–13,7
КубГАУ <sup>5</sup>		6,40	+12,3
НИМИ – КубГАУ <sup>6</sup>		6,60	+15,8
ВНИИОЗ [18]		3,97	–30,4
ВНИИМиТП <sup>3</sup>		6,32	+10,9

Сопоставление приведенных в таблице 4 результатов расчета потерь напора в поливном трубопроводе на опытном участке по известным методикам с опытным значением, зафиксированным при проведении эксперимента, показало их значимое отличие с отклонением от 10,4 до 30,4 %. Указанное обстоятельство объясняется использованием в методиках и формулах эмпирических коэффициентов и параметров, полученных в определенных, существенно отличающихся условиях проведения экспериментов. В связи с этим отметим отсутствие в рассмотренных публикациях и рекомендациях ограничений на применение расчетных зависимостей.

<sup>5</sup>Скобельцин Ю. А., Гумбаров А. Д. Системы капельного орошения: учеб. пособие. Краснодар: КСХИ, 1985. 133 с.

<sup>6</sup>Гидравлические расчеты систем капельного орошения: учеб. пособие / П. М. Степанов [и др.]. Новочеркасск: НИМИ, 1984. 105 с.

Качественный анализ приведенных в известных публикациях и нормативно-справочных изданиях методик расчета параметров поливных и оросительных трубопроводов позволяет отметить нижеследующее.

1 Поливные трубопроводы в конструктивном отношении представляют собой водопроводящие перфорированные коллекторы с системой питающихся из них равномерно расположенных (с определенным шагом) по их длине (протяженности) водовыпусками. Посредством водовыпусков поливная вода подается из поливных трубопроводов в капельницы. Дискретное (с одинаковым шагом) размещение водовыпусков обеспечивает равномерный прерывистый выпуск поливной воды из поливных трубопроводов капельной поливной сети по всей их протяженности.

2 В гидравлическом отношении поливные трубопроводы обеспечивают протекание потока жидкости с переменным расходом по направлению его течения («с переменной массой вдоль пути»).

3 Рассмотренные известные методики гидравлического расчета трубопроводов могут быть разделены на две группы: а) базирующиеся на использовании систем эмпирических зависимостей; б) предусматривающие использование классической зависимости Дарси-Вейсбаха. При этом оба подхода предусматривают использование эмпирических зависимостей.

4 Имеющий место широкий спектр конструктивных решений и условий функционирования поливных трубопроводов затрудняет получение многофакторной модели, адекватно описывающей динамику потерь напора в них. Учитывая указанное обстоятельство и отсутствие соответствующей математической модели, производители капельных трубок в паспортную документацию изделия включают сведения по предельной длине поливных трубопроводов, обеспечивающей требуемую равномерность подачи воды на уровне 80–90 %. Табличные данные характеризуются увязкой факторов влияния геометрических и гидравлических параметров с протяженностью

капельной линии. При этом рассматриваются экспериментально установленные значения функциональной модели вида:

$$(L_{п/т})_{пред} = f(q_{кап}, l_{м/к}, d_{п/т}, P_0). \quad (8)$$

5 Характерной особенностью расчета потерь напора в поливном трубопроводе одного диаметра, основанного на использовании зависимости Дарси-Вейсбаха, является необходимость учета переменности значений коэффициента гидравлического трения  $\lambda$ , вызванная уменьшением расходов и скоростей протекания водного потока по его длине. В общем случае на величину коэффициента трения (сопротивления движению потока)  $\lambda$  оказывают влияние дискретность отбора поливной воды, местные сопротивления конструктивных элементов в сечениях отвода воды и интенсивность водоотбора.

6 Из известных предложений по определению параметров трубопроводов поливной сети систем капельного орошения наиболее точные результаты позволяют получить методики, предусматривающие ведение гидравлических расчетов по участкам.

Полученные опытные данные и результаты анализа известных рекомендаций по гидравлическому расчету поливных и оросительных трубопроводов позволили предложить авторскую методику. Существо методики на примере данных опытного садового участка заключается в последовательном выполнении нижеприведенных расчетно-графических операций.

1 Сбор и первичная обработка исходных данных и условий функционирования рассматриваемого трубопровода поливной сети, в качестве которых рассматриваются:

- протяженность рассматриваемого трубопровода  $L_{п/т} = 200$  м;
- расход капельницы  $q_{кап} = 1,57$  л/ч или  $0,000000436$  м<sup>3</sup>/с;
- расстояние между капельницами  $l_{м/к} = 0,75$  м;
- давление в начальном створе трубопровода  $P_{L=0} = 9,70$  м вод. ст.

2 Определение расчетных параметров поливного трубопровода:

2.1 расчет количества капельниц на трубопроводе:  $(n_{\text{кап}})_{L_{\text{п/т}}} = L_{\text{п/т}} / l_{\text{м/к}} = 200 / 0,75 = 267$  шт.;

2.2 задавая количество расчетных участков  $n_{\text{уч}} = 10$ , определяют их протяженность ( $l_{\text{уч}} = L_{\text{п/т}} / 10 = 200 / 10 = 20,0$  м) и количество капельниц на участке  $(n_{\text{кап}})_{\text{уч}} = (n_{\text{кап}})_{L_{\text{п/т}}} / 10 = 267 / 10 = 26,7$  шт.;

2.3 определяется расход воды, отбираемой на каждом расчетном участке:  $q_{\text{отб}} = (n_{\text{кап}})_{\text{уч}} \cdot q_{\text{кап}} = 26,7 \cdot 0,000000436 = 0,00001163$  м<sup>3</sup>/с;

2.4 рассчитывается расход трубопровода в начальном (головном) сечении:  $Q_0 = q_{\text{отб}} \cdot n_{\text{уч}} = 0,00001163 \cdot 10 = 0,0001163$  м<sup>3</sup>/с;

2.5 принимается расчетное значение внутреннего диаметра трубопровода  $d_{\text{п/т}} = 0,0152$  м и определяется площадь его поперечного сечения  $\omega_{\text{п/т}} = 0,785 \cdot d_{\text{п/т}}^2 = 0,785 \cdot 0,0152^2 = 0,0001814$  м<sup>2</sup>;

2.6 принимается капельница с площадью затенения внутреннего сечения трубопровода  $\omega_{\text{зат}} = 0,0000128$  м<sup>2</sup>.

3 Ведется расчет расходно-скоростных характеристик для каждого расчетного участка, включающий:

3.1 определение расходов поливной воды, протекающей через концевые сечения каждого участка трубопровода по зависимости

$(Q_{\text{уч}})_i = Q_0 - \sum_{n=1}^{n=i} q_n$ , где  $i$  изменяется от 1 до 10 (принятого количества участков), значения которого в рассматриваемом примере составили:  $(Q_{\text{уч}})_1 = 0,0001046$  м<sup>3</sup>/с;  $(Q_{\text{уч}})_2 = 0,0000930$  м<sup>3</sup>/с;  $(Q_{\text{уч}})_3 = 0,00008141$  м<sup>3</sup>/с;  $(Q_{\text{уч}})_4 = 0,0000698$  м<sup>3</sup>/с;  $(Q_{\text{уч}})_5 = 0,0000582$  м<sup>3</sup>/с;  $(Q_{\text{уч}})_6 = 0,0000465$  м<sup>3</sup>/с;  $(Q_{\text{уч}})_7 = 0,0000349$  м<sup>3</sup>/с;  $(Q_{\text{уч}})_8 = 0,0000232$  м<sup>3</sup>/с;  $(Q_{\text{уч}})_9 = 0,0000116$  м<sup>3</sup>/с;  $(Q_{\text{уч}})_{10} = 0,00$  м<sup>3</sup>/с;

3.2 определение значений среднеучастковых расходов поливной воды

с использованием зависимости  $(\bar{Q}_{\text{уч}})_i = 0,5 \cdot (Q_{i-1} + Q_i)$ , где  $i$  изменяется от 1 до 10 (принятого количества участков), значения которых составили:

$$(\bar{Q}_{\text{уч}})_1 = 0,5 \cdot ((Q_{\text{уч}})_0 + (Q_{\text{уч}})_1) = 0,5 \cdot (0,0001163 + 0,0001046) = 0,0001105 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$(\bar{Q}_{\text{уч}})_2 = 0,5 \cdot ((Q_{\text{уч}})_1 + (Q_{\text{уч}})_2) = 0,5 \cdot (0,0001046 + 0,0000930) = 0,0000988 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$(\bar{Q}_{\text{уч}})_3 = 0,0000872 \text{ м}^3/\text{с}; (\bar{Q}_{\text{уч}})_4 = 0,0000756 \text{ м}^3/\text{с}; (\bar{Q}_{\text{уч}})_5 = 0,0000640 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$(\bar{Q}_{\text{уч}})_6 = 0,0000523 \text{ м}^3/\text{с}; (\bar{Q}_{\text{уч}})_7 = 0,0000407 \text{ м}^3/\text{с}; (\bar{Q}_{\text{уч}})_8 = 0,0000291 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$(\bar{Q}_{\text{уч}})_9 = 0,0000174 \text{ м}^3/\text{с}; (\bar{Q}_{\text{уч}})_{10} = 0,00000581 \text{ м}^3/\text{с};$$

3.3 расчет средних значений скоростей водного потока по каждому из расчетных участков по соотношению  $(\bar{V}_{\text{уч}})_i = (\bar{Q}_{\text{уч}})_i / \omega_{\text{п/т}}$ , значения которых составили:  $(\bar{V}_{\text{уч}})_1 = 0,609 \text{ м/с}; (\bar{V}_{\text{уч}})_2 = 0,545 \text{ м/с}; (\bar{V}_{\text{уч}})_3 = 0,481 \text{ м/с};$   
 $(\bar{V}_{\text{уч}})_4 = 0,417 \text{ м/с}; (\bar{V}_{\text{уч}})_5 = 0,353 \text{ м/с}; (\bar{V}_{\text{уч}})_6 = 0,289 \text{ м/с}; (\bar{V}_{\text{уч}})_7 = 0,224 \text{ м/с};$   
 $(\bar{V}_{\text{уч}})_8 = 0,160 \text{ м/с}; (\bar{V}_{\text{уч}})_9 = 0,096 \text{ м/с}; (\bar{V}_{\text{уч}})_{10} = 0,032 \text{ м/с}.$

4 Расчет потерь напора по каждому из участков по зависимости:

$$(\Delta P_{\text{уч}})_i = (\lambda_{\text{уч}})_i \cdot \frac{l_{\text{уч}}}{d_{\text{п/т}}} \cdot \frac{(V_{\text{уч}})_i^2}{2 \cdot g} \cdot \Pi_{\lambda}, \text{ м}, \quad (9)$$

где  $(\lambda_{\text{уч}})_i = 0,272 / (\text{Re}_{\text{уч}})_i^{0,23}$  – коэффициент трения водного потока по участкам трубопровода, определяемый без учета сопротивлений, оказываемых элементами водовыпусков;

$(\text{Re}_{\text{уч}})_i = (\bar{V}_{\text{уч}})_i \cdot d_{\text{п/т}} / \nu$  – число Рейнольдса, определяемое для каждого расчетного участка;

$\nu$  – коэффициент вязкости жидкости,  $\nu = 0,000001 \text{ м}^2/\text{с};$

$\Pi_{\lambda}$  – параметр, корректирующий значения коэффициента трения водного потока, определяемый по зависимости:

$$\Pi_{\lambda} = \left[ 1,0 + \left( \frac{\omega_{\text{зат}}}{\omega_{\text{п/т}}} \right)^{1,32} \cdot (n_{\text{кап}})_{\text{уч}} \right], \text{ м}. \quad (10)$$

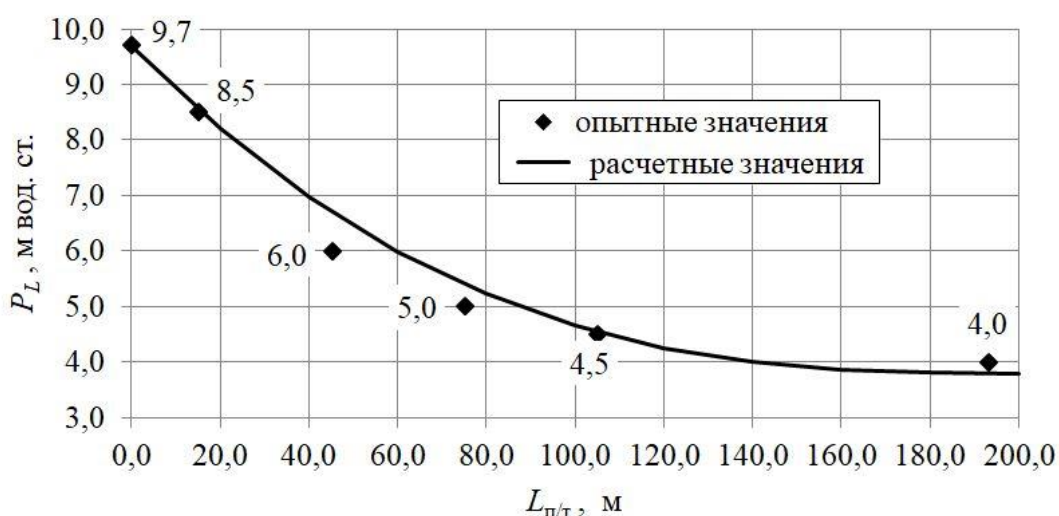


Значения  $(\Delta P_{\text{уч}})_i$  в примере составили:  $(\Delta P_{\text{уч}})_1 = 1,50$  м;  $(\Delta P_{\text{уч}})_2 = 1,23$  м;  $(\Delta P_{\text{уч}})_3 = 0,99$  м;  $(\Delta P_{\text{уч}})_4 = 0,76$  м;  $(\Delta P_{\text{уч}})_5 = 0,57$  м;  $(\Delta P_{\text{уч}})_6 = 0,40$  м;  $(\Delta P_{\text{уч}})_7 = 0,26$  м;  $(\Delta P_{\text{уч}})_8 = 0,14$  м;  $(\Delta P_{\text{уч}})_9 = 0,06$  м;  $(\Delta P_{\text{уч}})_{10} = 0,01$  м.

5 С учетом установленных поучастковых значений потерь напора расчетные значения давлений в расчетных сечениях трубопровода составят:  $P_{L=0} = 9,70$  м вод. ст.;  $P_{L=20} = 8,20$  м вод. ст.;  $P_{L=40} = 6,97$  м вод. ст.;  $P_{L=60} = 5,99$  м вод. ст.;  $P_{L=80} = 5,22$  м вод. ст.;  $P_{L=100} = 4,65$  м вод. ст.;  $P_{L=120} = 4,25$  м вод. ст.;  $P_{L=140} = 4,00$  м вод. ст.;  $P_{L=160} = 3,86$  м вод. ст.;  $P_{L=180} = 3,80$  м вод. ст.;  $P_{L=200} = 3,79$  м вод. ст.

Суммарные потери напора в поливном трубопроводе по расчету составят  $(\Delta P_{L_{\text{п/т}}})_{\text{расч}} = 5,91$  м вод. ст. При опытном (измеренном) значении снижения давления в трубопроводе  $(\Delta P_{L_{\text{п/т}}})_{\text{оп}} = 9,70 - 4,00 = 5,70$  м вод. ст. расхождение опытных и расчетных значений составляет 0,21 м вод. ст., погрешность расчета в рассмотренных условиях  $\delta = 3,68$  %.

Характер соответствия опытных и расчетных значений давления по длине поливного трубопровода проиллюстрирован на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Графическое представление опытных и расчетных значений  $P_L = f(L_{\text{п/т}})$**

**Figure 4 – Graphical representation of experimental and calculated values  $P_L = f(L_{\text{п/т}})$**

Выполненными расчетами для условий рассмотренного полевого эксперимента установлено, что при  $L_{\text{п/т}} = 100$  м суммарные потери напора в поливном трубопроводе составляют  $\Delta P_{L=100} = 0,86$  м вод. ст. и не превышают допустимого значения  $\Delta P_{\text{доп}} \leq 0,1 \cdot P_0$  (0,97 м вод. ст.).

### **Выводы.**

При проведении полевых исследований на опытно-производственном участке капельно орошаемого сада установлена значительная неравномерность подачи поливной воды из капельниц поливного трубопровода: от 2,12 л/ч в начальном сечении до 1,25 л/ч в концевой части, что связано со значительным перепадом давления: в головном створе 0,97 атм, в концевом – 0,40 атм. Указанное обстоятельство предопределено недостатками проектирования в части подбора геометрических и расходно-напорных параметров капельных линий.

Проведенный анализ наиболее известных методик гидравлического расчета потерь напора в трубопроводах капельной сети выявил существенные (значимые) отличия в результатах выполненных расчетов как по методикам между собой, так и по соответствию их опытным значениям.

Предложенная авторская методика расчета потерь напора в капельном трубопроводе позволяет получить адекватные опытным измерениям расчетные значения напорно-расходных характеристик поливного трубопровода. Методика рекомендуется к использованию в расчетах поливных трубопроводов, оборудованных некомпенсирующими давление капельницами, для следующих условий: протяженность трубопровода от 20 до 200 м, диаметр трубопровода 16–20 мм, расход капельницы от 0,4 до 2,0 м, расстояние между капельницами от 0,2 до 1,2 м, давление в головном створе поливного трубопровода 0,8–2,5 атм.

Предложенная методика позволяет установить протяженность полив-

ного трубопровода, при которой падение давления в нем не превысит значения, обеспечивающего нормативную равномерность расходов поливной воды, истекающей из капельниц.

### Список источников

1. Сафронова Т. И., Фияткин Д. А. Гидравлический расчет системы капельного орошения // StudNet. 2020. Т. 3, № 2. С. 143–147. EDN: IPEBBC.
2. Ишанов Ж. Х. Гидравлический расчет неустановившегося движения воды в трубах системы капельного орошения // Экономика и социум. 2024. № 5-2(120). С. 1093–1101. EDN: REEWSA.
3. Лытов М. Н. Гидравлические исследования поливного модуля системы комбинированного орошения // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 2. С. 74–93. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-74-93. EDN: BLWSEO.
4. Математическое моделирование движения 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. DOI: 10.32962/0235-2524-2023-4-7-10. EDN: USTWWZ.
5. Арискина Ю. Ю., Домашенко Ю. Е. Конструктивное решение для повышения эффективности капельного орошения // Природообустройство. 2021. № 5. С. 31–36. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-31-36. EDN: SOOYXK.
6. Булгаков Д. В. Типы, состав, рекомендации к проектированию и установке систем капельного орошения // Вестник мелиоративной науки. 2024. № 3. С. 156–159. EDN: MNEJRU.
7. Пашенцев 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: КФУ им. В. И. Вернадского, 2024. С. 190–193. EDN: GVBIFN.
8. Чупров И. Ф., Пармузина М. С., Лютоев А. А. Стационарный режим течения жидкости в трубопроводе при наличии попутного отбора и подкачки // Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21, № 6. С. 212–218. DOI: 10.17122/ngdelo-2023-6-212-218. EDN: NCDFVN.
9. Хасан М., Алматар А., Кузнецов Е. В. Расчет потерь напора в трубопроводах систем капельного орошения // Экология речных ландшафтов: сб. ст. по материалам IV Междунар. науч. экол. конф., г. Краснодар, 3 дек. 2019 г. Краснодар: КубГАУ им. И. Т. Трубилина, 2020. С. 212–219. EDN: OOX SXU.
10. Dansena G., Sinha BL Hydraulic performance evaluation of drip system // International Journal of Advanced Biochemistry Research. 2024. SP-8(9). P. 901–903. DOI: 10.33545/26174693.2024.v8.i9Sk.2215.
11. Sinha BL, Shasikant Hydraulic performance evaluation of drip irrigation system under field condition in Chhattisgarh plain // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2021. Vol. 10, spec. iss. 2. P. 79–83.
12. Щедрин В. Н., Штанько А. С., Шкура В. Н. Самонапорные системы капельного орошения: монография. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2018. 236 с. EDN: USWTDC.
13. Системы капельного орошения садов: науч.-практ. изд. М.: Росинформагротех, 2023. 300 с.
14. Штанько А. С., Шкура В. Н. Компонировочно-конструктивное решение оросительной сети модульного участка капельного орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 2(38). С. 71–87. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-71-87. EDN: UYHOTN.

15. Ильин С. П., Хроль С. Б., Гросман Ю. Н. Гидравлический расчет трубопроводной сети для систем капельного орошения // Новое в технике и технологии полива: сб. науч. тр. / ВНПО «Радуга». Коломна, 1978. № 2. С. 106–114.

16. Ясониди О. Е. Капельное орошение на Северном Кавказе: монография. Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1987. 80 с. EDN: TUTKVP.

17. Федорец А. А., Маланчук З. Р. Технические указания по гидравлическому расчету систем капельного орошения. Коломна, 1981. 456 с.

18. Моделирование движения жидкостей в капельных трубопроводах по результатам натурных исследований / А. Е. Новиков, М. И. Ламскова, Л. В. Самофалова, М. И. Филимонов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 1(21). С. 21–34. EDN: VQUGFB.

## References

1. Safronova T.I., Fiyatkin D.A., 2020. *Gidravlicheskiy raschet sistemy kapel'nogo orosheniya* [Hydraulic calculation of drip irrigation system]. StudNet, vol. 3, no. 2, pp. 143-147, EDN: IPEBBC. (In Russian).

2. Ishanov Zh.Kh., 2024. *Gidravlicheskiy raschet neustanovivshegosya dvizheniya vody v trubakh sistemy kapel'nogo orosheniya* [Hydraulic calculation of unsteady water movement in pipes of the drip irrigation system]. *Ekonomika i sotsium* [Economy and Society], no. 5-2(120), pp. 1093-1101, EDN: REEWSA. (In Russian).

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

4. Semerdzhyan A.K., Orekhova V.I., Kondratenko L.N., Melnik K.V., Chichkin D.V., 2023. *Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya zhidkosti v polivnykh i uchastkovykh truboprovodakh sistem kapel'nogo orosheniya* [Mathematical modeling of fluid motion in irrigation and section pipes of drip irrigation systems]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 4, pp. 7-10, DOI: 10.32962/0235-2524-2023-4-7-10, EDN: USTWWZ. (In Russian).

5. Ariskina Yu.Yu., Domashchenko Yu.E., 2021. *Konstruktivnoe reshenie dlya povysheniya effektivnosti kapel'nogo orosheniya* [Constructive solution for increasing drip irrigation efficiency]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 31-36, DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-31-36, EDN: SOOYXK. (In Russian).

6. Bulgakov D.V., 2024. *Tipy, sostav, rekomendatsii k proektirovaniyu i ustanovke sistem kapel'nogo orosheniya* [Types, composition, recommendations for design and installation of drip irrigation systems]. *Vestnik meliorativnoy nauki* [Bullet. of Reclamation Science], no. 3, pp. 156-159, EDN: MNEJRU. (In Russian).

7. Pashentsev A.I., 2024. *Proektirovanie sistemy kapel'nogo orosheniya s uchetom pokazateley nadezhnosti* [Design of a drip irrigation system taking into account reliability indicators]. *Metodologiya bezopasnosti sredy zhiznedeyatel'nosti: sb. nauch. tr. XVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Methodology of Living Environment Safety: Collect. of Scientific Papers of the XVII International Scientific and Practical Conference]. Simferopol, KFU named after Vernadsky V.I., pp. 190-193, EDN: GVBIFN. (In Russian).

8. Chuprov I.F., Parmuzina M.S., Lyutoev A.A., 2023. *Statsionarnyy rezhim techeniya zhidkosti v truboprovode pri nalichii poputnogo otbora i podkachki* [Stationary mode of fluid flow in a pipeline in the presence of sampling and pumping]. *Neftegazovoe delo* [Petroleum Engineering], vol. 21, no. 6, pp. 212-218, DOI: 10.17122/ngdelo-2023-6-212-218, EDN: NCDFVH. (In Russian).

9. Khasan M., Almatar A., Kuznetsov E.V., 2020. *Raschet poter' napora v truboprovodakh sistem kapel'nogo orosheniya* [Calculation of pressure losses in pipes of drip irrigation systems]. *Ekologiya rechnykh landshaftov: sb. st. po materialam IV Mezhdunarodnoy nauchno-ekologicheskoy konf.* [Ecology of River Landscapes: Collection of Articles Based on Proceed. of the IV International Scientific Ecological Conf.]. Krasnodar, KubSAU named after I.T. Trubilina, pp. 212-219, EDN: OOXSXU. (In Russian).
10. Dansena G., Sinha B.L., 2024. Hydraulic performance evaluation of drip system. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, SP-8(9), pp. 901-903, DOI: 10.33545/26174693.2024.v8.i9Sk.2215.
11. Sinha B.L., Shasikant., 2021. Hydraulic performance evaluation of drip irrigation system under field condition in Chhattisgarh plain. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 10, spec. iss. 2, pp. 79-83.
12. Shchedrin V.N., Shtanko A.S., Shkura V.N., 2018. *Samonapornye sistemy kapel'nogo orosheniya: monografiya* [Self-Pressurized Drip Irrigation Systems: Monograph]. Novocherkassk, RosNIIPM, 236 p., EDN: USWTDC.
13. *Sistemy kapel'nogo orosheniya sadov: nauch.-prakt. izd* [Drip Irrigation Systems for Gardens: Scientific and Practical ed.]. Moscow, Rosinformagrotech Publ., 2023, 300 p. (In Russian).
14. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2020. *Komponovochno-konstruktivnoe reshenie orositel'noy seti modul'nogo uchastka kapel'nogo orosheniya* [Constructive-layout arrangements of the irrigation network of a modular drip irrigation section]. *Nauchnyy zhurnal Rossiysko-go NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 2(38), pp. 71-87, DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-71-87, EDN: UYHOTN. (In Russian).
15. Ilyin S.P., Khrol S.B., Grosman Yu.N., 1978. *Gidravlicheskiy raschet truboprovodnoy seti dlya sistem kapel'nogo orosheniya* [Hydraulic calculation of pipeline network for drip irrigation systems]. *Novoe v tekhnike i tekhnologii poliva: sb. nauch. tr.* [New in Irrigation Technologies and Techniques: Collection of Scientific Papers]. VNPO "Raduga", Kolomna, no. 2, pp. 106-114. (In Russian).
16. Yasonidi O.E., 1987. *Kapel'noe oroshenie na Severnom Kavkaze: monografiya* [Drip Irrigation in the North Caucasus: monograph]. Rostov n/D., Rostov University Publ., 80 p., EDN: TUTKVP. (In Russian).
17. Fedorets A.A., Malanchuk Z.R., 1981. *Tekhnicheskie ukazaniya po gidravlicheskemu raschetu sistem kapel'nogo orosheniya* [Technical Instructions for Hydraulic Calculation of Drip Irrigation Systems]. Kolomna, 456 p. (In Russian).
18. Novikov A.E., Lamskova M.I., Samofalova L.V., Filimonov M.I., 2016. *Modelirovanie dvizheniya zhidkostey v kapel'nykh truboprovodakh po rezul'tatam naturnykh issledovaniy* [Simulating fluid movement in drip pipelines on the base of field study results]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(21), pp. 21-34, EDN: VQUGFB. (In Russian).

---

#### Информация об авторах

**А. С. Штанько** – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации (346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр-кт Баклановский, д. 190), shtanko.77@mail.ru, AuthorID: 619732, ORCID: 0000-0002-6699-5245;

**А. В. Колганов** – главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации (346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр-кт Баклановский, д. 190), kolganov49@mail.ru, AuthorID: 347268, ORCID: 0000-0003-0234-0079.

***Information about the authors***

**A. S. Shtanko** – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Avenue, 190), shtanko.77@mail.ru, AuthorID: 619732, ORCID: 0000-0002-6699-5245;

**A. V. Kolganov** – Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (346421, Rostov Region, Novocherkassk, Baklanovsky Avenue, 190), kolganov49@mail.ru, AuthorID: 347268, ORCID: 0000-0003-0234-0079.

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

*Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

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

*All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 09.04.2025; одобрена после рецензирования 04.07.2025; принята к публикации 26.09.2025.*

*The article was submitted 09.04.2025; approved after reviewing 04.07.2025; accepted for publication 26.09.2025.*