

Грушин Алексей Владимирович,

старший научный сотрудник отдела техники и технологии микроорошения,
Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сель-
хозводоснабжения «Радуга», Коломна, Российская Федерация

Коломеец Анастасия Валерьевна,

младший научный сотрудник отдела техники и технологии микроорошения,
Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сель-
хозводоснабжения «Радуга», Коломна, Российская Федерация

ВЕРИФИКАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СИСТЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Аннотация. В настоящей статье была проведена верификация гидравлического расчёта, при анализировании расчётов потерь напора с данными натурных исследований. В результате выполненных расчётов возможно более точно определить оптимальные параметры, обеспечивающих равномерное распределение воды на орошаемом участке с минимализацией потерь в системе.

Благодаря проведенным исследованиям зависимости для гидравлического расчета систем капельного орошения, можно скорректировать и задать общие аспекты, обеспечивающие эффективное распределение воды на орошаемом участке и сократить потери в системе.

Для обеспечения постоянного давления при эксплуатации, рекомендовано определение потерь давления в трубопроводах, соединениях и капельницах. Для выращивания культур в благоприятных климатических условиях, следует определить необходимый расход воды. Грамотный подбор оборудования для различных типов капельниц и насосов, обеспечит производительность системы. Рекомендовано заранее разработать план схемы расположения

трубопроводов и капельниц, с целью минимизации затрат на материалы и монтаж, с соблюдением водораспределения. При разработке схемы расположения трубопроводов и капельниц, необходимо проанализировать влияния внешних факторов окружающей среды, таких как: температура, влажность, тип почвы, эффективность влияния выбранной системы капельного орошения. При учете использования программного обеспечения для моделирования гидравлических процессов, следует заранее провести пробное тестирование различных сценариев работы системы. Необходимо произвести оценку затрат на начальных этапах при монтаже установки и эксплуатации системы капельного орошения в сравнении с другими методами орошения.

Ключевые слова: капельное орошение, гидравлический расчёт, расход воды, пропускная способность трубопровода, давление и потери напора в системе, гидравлические потери, давление в трубопроводах, транзитный и путевой расход

Grushin Alexey Vladimirovich

Senior Researcher, Department of Micro-irrigation Engineering and Technology, All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply “Raduga”, Kolomna, Russian Federation

Kolomeets Anastasia Valeryevna

Junior Researcher, Department of Micro-irrigation Engineering and Technology, All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply “Raduga”, Kolomna, Russian Federation. kolomeecz.n@bk.ru

UPDATE OF HYDRAULIC CALCULATION DURING SYSTEM CONSTRUCTION DRIP IRRIGATION

Abstract. In this article, the hydraulic calculation was verified by analyzing the calculations of pressure loss with the data of field studies. As a result of the calculations performed, it is possible to more accurately determine the optimal parameters that ensure the uniform distribution of water in the irrigated area with the minimization of losses in the system.

Thanks to the conducted studies of the dependence for the hydraulic calculation of drip irrigation systems, it is possible to adjust and set the general aspects that ensure the effective distribution of water in the irrigated area and reduce losses in the system.

To ensure constant pressure during operation, it is recommended to determine the pressure loss in pipelines, connections, and drip emitters. To grow crops in favorable climatic conditions, it is necessary to determine the required water flow rate. Proper selection of equipment for different types of drip emitters and pumps will ensure the system's performance.

It is recommended to develop a layout plan for the location of pipelines and drip emitters in advance, in order to minimize the cost of materials and installation, while maintaining proper water distribution. When developing the layout plan for the location of pipelines and drip emitters, it is necessary to analyze the impact of external environmental factors, such as temperature, humidity, soil type, and the effectiveness of the chosen drip irrigation system. When using software for modeling hydraulic processes, it is important to conduct a trial test of different system scenarios in advance. It is necessary to assess the initial costs of installing and operating the drip irrigation system compared to other irrigation methods.

Keywords: drip irrigation, hydraulic calculation, water flow, pipeline throughput, pressure and pressure losses in the system, hydraulic losses, pipeline pressure, transit and travel flow.

Введение. Капельное орошение позволило повысить продуктивность выращиваемых культур, тем самым обосновав свою эффективность

применения в агропроизводстве, что дало ей занять доминирующее место, среди технологий полива точного земледелия. Данная технология позволяет сэкономить около 60-80% воды по сравнению с традиционными системами орошения. Однако, эффективность эксплуатации систем капельного орошения зависит от совокупности различных факторов, в том числе от гидравлических расчётов. Выполненные в советское время натурные измерения потерь напора в участковых и поливных трубопроводах Приднестровской Молдавской Республики на-Дубоссарской, Рыбницкой и Вулканештской систем капельного орошения, показало хорошее совпадение при сравнении экспериментальных результатов с расчётными. Разница суммарных потерь напора не превышала 10%, а разница абсолютной величины напора 5%. Примеры данного расчёта подтвердили актуальность применения для участкового и поливного трубопроводов.

Цель исследования. Верификация полученных данных в ходе проведения натурных испытаний полученных в Приднестровье Молдавской Республики в отношении зависимости для гидравлического расчёта при строительстве систем капельного орошения при определении оптимальных параметров, таких как: диаметр трубопроводов, расход и давление воды, потери напора, а также режимы водоподачи, обеспечивающих эффективное распределение воды и минимизации потерь в системе, путём разработки и уточнении математических моделей и алгоритмов, позволяющих обеспечить грамотное распределение влаги в почве. Это необходимо для водосбережения и рационального распределения водных ресурсов, чем поспособствует повышению надёжности подобранного оборудования и эффективности применения данного способа полива, при выращивании выбранной культуры в конкретных климатических условиях.

Методы и объект исследования. Успех применения данной технологии объясняется проведением грамотных гидравлических расчётов систем капельного орошения включает в себя определение различных зависимостей и параметров, таких как давление, расход, потери напора и другие [1]. Объектом

исследования в данной теме рассматриваются основные зависимости и формулы, которые должны быть учтены при гидравлическом расчёте:

1. Закон сохранения объемов. Учитывается для системы капельного орошения при расчёте, что объем жидкости сохраняет постоянную величину только в том случае, если в ней нет пустот, и она движется как однородная:

$$Q_{\text{вход}} = Q_{\text{выход}} \quad (1)$$

где (Q) — расход воды.

2. Потери напора. Могут быть вызваны трением, изменением направления потока и другими факторами. Основные формулы для расчета потерь напора:

Сопротивление трению. Для расчёта сопротивления на трение в трубопроводах можно использовать формулу Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta h_{\text{т}} = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{D} \int_0^V \frac{V^2 d}{2g} \quad (2)$$

где:

$\Delta h_{\text{т}}$ — потери напора (м),

f — коэффициент трения,

L — длина трубопровода (м),

D — диаметр трубопровода (м),

V — скорость потока (м/с),

g — ускорение свободного падения (9.81 м/с²).

2.2. Потери на местные сопротивления, можно рассчитать с помощью, но при использовании эмиттерных капельных лент, этими потерями можно пренебречь:

$$\Delta h_{\text{м}} = \xi \int_0^V \frac{V dV}{g} \quad (3)$$

где:

$\Delta h_{\text{м}}$ — потери напора на гидравлическом сопротивлении (м);

ξ — коэффициент местного сопротивления (коэффициент потерь);

V — средняя скорость течения жидкости (м/с);

g — ускорение свободного падения (9.81 м/с²).

Из этого получим полное сопротивление, которое имеет вид:

$$h = \Delta h_T + \Delta h_M + \Delta h_0 \quad (4)$$

где:

Δh_T - потери напора на сопротивление трению (м);

Δh_M – местные потери (м);

Δh_0 – общие потери напора (м).

3. Формула Вейсбаха, определяющая потери давления на гидравлических сопротивлениях, имеет вид:

$$\Delta P = \Delta h \rho \geq d\Delta P = \rho dh \quad (5)$$

где:

ΔP – потери давления на гидравлическом сопротивлении (Па);

Δh – потери напора на сопротивление (м);

ρ – плотность жидкости (кг/м³).

4. Давление в системе определяется с помощью расчета гидростатического давления, которое представляет собой сумму атмосферного давления, оказываемого атмосферой на поверхность жидкости, и давления, оказываемого самой жидкостью на глубине (высоте).

$$dP_n = P_{\text{атм}} + \int \rho g dh \quad (6)$$

где:

$P_{\text{атм}}$ — атмосферное давление (Па);

ρ — плотность жидкости (кг/м³);

g — ускорение свободного падения (м/с²);

h — глубина, на которой находится жидкость (м).

5. Расход через капельницы

Расход через капельницы можно рассчитать с использованием уравнения:

$$Q = \frac{k}{(P - P_{\text{min}})^n} \quad (7)$$

где:

Q — расход через капельницу ($\text{м}^3/\text{с}$),

k — коэффициент, зависящий от конструкции капельницы,

P — давление на входе капельницы (кПа),

P_{\min} - минимальное давление для работы капельницы (кПа),

n — экспонента, зависящая от типа капельницы.

6. Для расчета оптимизации системы капельного полива необходимо учитывать при:

- распределение капельниц;
- длину и диаметр трубопроводов;
- условия эксплуатации (температура, тип почвы и т.д.).

Данные зависимости и формулы помогут при выполнении гидравлического расчета систем капельного орошения, для конкретных условий применения.

Поливная сеть капельного орошения (участковые и поливные трубопроводы) характеризуется установившимся движением жидкости с переменным расходом по длине потока. Для расчетов поливной сети капельного орошения, где движение жидкости происходит с переменным расходом по длине потока, важно учитывать уравнения, описывающие динамику жидкости в трубопроводах. Основное уравнение, которое может быть использовано для анализа, основано на уравнении неразрывности и уравнении Бернулли:

6.1 Уравнение неразрывности (постоянства расхода) позволяют определить скорость потока в сечении трубы переменного сечения (если известны скорости в двух сечениях и площадь одного из них, можно найти скорость в другом сечении). Объясняют обратную зависимость между скоростью и площадью. Например, при движении жидкости по напорной трубе скорость в выходном сечении увеличивается обратно пропорционально площади живого сечения потока, будет иметь вид:

$$\frac{dp}{dt} + \text{div}pV = \frac{dp}{dt} + \text{div}pV + V\text{grad}p = 0 \quad (8)$$

6.2 Уравнение Бернулли

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = \text{const} \quad (9)$$

где: P — давление (Па); ρ — плотность жидкости (кг/м³); v — скорость потока (с); g — ускорение свободного падения (м/с²); h — высота (м).

При интегрировании уравнения, получим уравнение движения для учета переменного расхода и динамики жидкости в трубопроводах, которое выглядит так [2]:

$$h = \left(Q_{\text{тр}}^2 + Q_{\text{п}} Q_{\text{тр}} + \frac{Q_{\text{п}}^2}{3} \right) \frac{L_x}{K^2} + \frac{a_0(a_2 - 2)}{g\omega^2} \left(Q_{\text{тр}} Q_{\text{п}} + \frac{Q_{\text{п}}^2}{2} \right), \quad (10)$$

где: $Q_{\text{тр}}$ — транзитный расход данного участка трубопровода (м³/с); $Q_{\text{п}}$ — путевой расход, разбираемый на данном участке трубопровода (м³/с); L_x — длина трубопровода от начального до рассматриваемого сечения (м); K — расходная характеристика (модуль расхода) участкового трубопровода/ коэффициент сопротивления (м³/с); a_0 — коэффициент Буссинеска; a_2 — коэффициент отсоединения массы жидкости; h — потери напора в рассматриваемом трубопроводе (м); g — ускорение свободного падения (м/с²); ω — угловая скорость (с).

Следует отметить, что результатом интегрирования дифференциального уравнения движения жидкости с переменной массой большинство исследователей делают допущения, что модуль расхода K и коэффициент отсоединения a_2 являются постоянными величинами для всего трубопровода. Из этих условий и получено уравнение (1). Однако, как показали ранее проводимые исследования, при движении жидкости с переменным расходом изменяется по длине потока коэффициент гидравлического трения, а следовательно, изменится коэффициент Шези и модуль расхода.

Для определения численного значения величины коэффициента гидравлического трения λ в перфорированных полиэтиленовых трубопроводах были поставлены специальные опыты. Испытания проводились на трубопроводах разных диаметров с различной степенью перфорации. Изучались трубопроводы полиэтилена низкой плотности диаметром 16,2 и 25,0 мм, (ГОСТ 18599–2001) [3], длиной 2,4 и 20,0 м с калиброванными отверстиями 1,2 и 3,0 мм.

Расстояние между отверстиями составляло 0,0625; 0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 м, т. е. опыты, проводились с различной интенсивностью отбора жидкости.

Давление жидкости в начальном сечении изменялось в диапазоне работы систем капельного орошения от 0,06 до 0,30 МПа.

Число Рейнольдса при этом варьировало от 1000 до 100 000.

Для сравнения со значением λ при равномерном движении жидкости на этих трубах проведены опыты при $Q = \text{const}$ по длине трубопровода рис. 4-3 стр.34 [2]. При обработке опытных данных получена зависимость

$$\lambda = \frac{0,16Re^{0.8}+115}{Re}, \quad (11)$$

где: $Re = \frac{v_d}{\nu}$ — переменная по длине скорость в сечениях трубопровода; d — внутренний диаметр трубопровода; ν — коэффициент кинематической вязкости жидкости.

Полученная зависимость достаточно хорошо описывает результаты эксперимента.

Обозначив выражение

$$A = 0,16 Re^{0.8} + 115 \quad (12)$$

а значение λ запишем в виде:

$$\lambda = \frac{A}{Re} \quad (13)$$

Коэффициент Шези

$$C = \sqrt{\frac{8g \cdot Re}{A}} \quad (14)$$

И модуля расхода

$$K = \frac{\pi D^2}{4} \cdot C \sqrt{R_{\text{гидр}}} \quad (15)$$

где: K — модуль расхода; $R_{\text{гидр}} = \frac{\omega}{\chi}$ — гидравлический радиус для круглого поперечного сечения трубы рис. 3-3 стр. 21[2].

Величина коэффициента массы жидкости a_2 представляет собой отношение проекции на ось трубы скорости вытекающей струи к скорости основного потока. Для проверки численного значения коэффициента a_2 при различном

отклонении вытекающей струи нами проведены специальные исследования. В результате математической обработки данных эксперимента получены зависимости для определения коэффициента a_2 при ламинарном и переходном режиме $300 \leq Re \leq 50\,000$

$$a_2 = 0,341 \cdot 10^{-4} Re - 0,041 \cdot 10^{-8} Re^2, \quad (16)$$

Число Рейнольдса в сечениях трубопровода, где установлены эмиттеры можно записать в виде:

$$Re = 1.27 \cdot \frac{gn_i}{vd} \quad (18)$$

Тогда теоретическую зависимость (10) можно преобразовать, если выразить транзитный и путевой расходы формулами:

$$Q_{тр} = n_i \int_x \int_y \int_z d_x d_y d_z \quad (19)$$

$$Q_{п} = n_x \int_x \int_y \int_z d_x d_y d_z \quad (20)$$

Расход одного поливного трубопровода (ПТ) или одной капельницы участкового трубопровода (УТ) рассчитывается в зависимости от: n_x — количество отверстий на участке длиной ΔL ; n_i — количество отверстий от рассматриваемого сечения до конца трубопровода.

После подстановки величин, преобразований и введений в уравнение (10) коэффициента дискретности, расчетная зависимость будет иметь вид:

$$Q_{тр} \geq \sum Q_{п} \Rightarrow$$

$$h_{дл} = K_g' q^2 \left(n_i^2 + n_i n_x + \frac{n_x^2}{3} \right) \frac{\Delta L}{K^2} + \frac{1.67(a_2 - 2)}{ga^2} \times q^2 (n_i n_x + \frac{n_x^2}{2}) \quad (21)$$

где: $\Delta h_{дл}$ — потери напора по длине участка перфорированного трубопровода (м); ΔL — длина участка рассматриваемого трубопровода (м); K — модуль расхода (m^3/c).

$$K_g' = 1 + 1,7 \left(\frac{L_{отв}}{\Delta L} \right)^{1,04} \quad (22)$$

где: $L_{отв}$ — расстояние между отверстиями (м); K_g' — коэффициент дискретности расхода, учитывающий влияние степени перфорации трубопровода.

Правильность расчетов можно подтвердить с помощью подобных расчетов при условии: $d=16,2$ мм ($d_{\text{вн}}=15,9$ мм); $L=100$ м; $L_{\text{отв}}=0,5$ м; $n=199$ шт; $P_{\text{атм}}=0,1$ Мпа; $g=9,81$ тогда

$$\Delta h_{\text{т}} = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{D} \int_0^V \frac{V^2 d}{2g}$$

Средняя скорость течения воды в трубопроводе

$$V = \frac{4Q_{\text{п}}}{\pi d_{\text{тр}}^2} = \frac{4 \cdot 8,75 \cdot 10^{-5}}{79,4 \cdot 10^{-5}} = 0,44 \text{ м/с}$$

$$Q = g \cdot n_x = 4,4 \cdot 10^{-7} \cdot 199 = 8,75 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Re_{\text{эм}} = 1,27 \cdot \frac{gn_i}{Vd_{\text{вн}}} = 1,27 \cdot \frac{4,4 \cdot 10^{-7} \cdot 199}{0,44 \cdot 0,0159} = 0,015875 \approx 0,0436$$

Число Рейнольдса для потока воды в трубе

$$Re_{\text{тр}} = \frac{V \cdot d_{\text{вн}}}{\nu} = \frac{0,44 \cdot 0,0159}{1 \cdot 10^{-6}} = 6996$$

Так как Число $Re_{\text{тр}} = 6996$, это подтверждает переходный режим течения, который находится в диапазоне от 2000 до 10000.

Теперь можно вычислить потери $\Delta h_{\text{тр}}$ и потери $h_{\text{э}}$

$$\Delta h_{\text{тр}} = \lambda \frac{L}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{100}{0,0159} \cdot \frac{0,1936}{2 \cdot 9,81} = 0,56 \text{ м}$$

$$h_{\text{э}} = \lambda_{\text{э}} \frac{L}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{V^2}{2g} = 0,0436 \cdot \frac{100}{0,0159} \cdot \frac{0,44^2}{2 \cdot 9,81} = 13,08 \text{ м}$$

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{0,16 \cdot Re^{0,8} + 115}{Re} = \frac{0,16 \cdot 6996^{0,8} + 115}{6996} = 0,0436$$

$$\Delta P = \Delta h \rho = 0,56 \cdot 1000 = 560 \cdot 9,81 = 5493,6 \text{ Па} \approx 5,5 \text{ кПа}$$

$$\sum P = P_{\text{атм}} + \Delta P = 101,3 \text{ кПа} + 5,5 \text{ кПа} = 106,8 \text{ кПа}$$

При сравнение полученных экспериментальных результатов с расчётными доказано совпадение, а также разница суммарных потерь напора, не превышающая 10% и разница абсолютной величины напора в 5%. Чем подтверждается зависимость (21), которая является расчетной теоретической и может быть применена для вычисления участковых трубопроводов систем капельного орошения.

При этом учитывая, что величины модуля расхода K и коэффициента отсоединения a_2 переменны по длине трубопровода, необходимо весь трубопровод разделить на отдельные участки, определить для каждого участка величину модуля расхода по формуле (15) и коэффициент отсоединения по формулам (16) или (17), а затем вычислить $\Delta h_{\text{дл}}$ [6]. Примеры расчёта для участкового и поливного трубопроводов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение расчета потерь напора в зависимости (21) с данными натурных исследований

Участковый трубопровод $\Delta l = 12\text{м}$ $q^2 = 2,596 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{с}$				Поливной трубопровод $\Delta l = 20\text{м}$ $q^2 = 0,0121 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/\text{с}$			
$d_h, \text{мм}$	$h_{\text{расч}}, \text{м}$	$h_{\text{нат}}, \text{м}$	% откл	$d_h, \text{мм}$	$h_{\text{расч}}, \text{м}$	$h_{\text{нат}}, \text{м}$	% откл
63	0,69	0,70	1,4	20	1,19	1,15	3,4
63	1,22	1,25	2,4	20	2,08	2,00	4,0
63	1,60	1,60	0,0	20	2,80	2,70	3,7
63	1,86	1,90	2,1	20	3,32	3,20	3,8
50	2,39	2,30	3,9	20	3,62	3,50	3,4
50	2,70	2,60	3,8	20	2,81	3,80	0,3
50	2,83	2,70	4,8	20	3,89	3,90	0,2
50	2,87	2,80	2,5	20	3,91	3,95	1,0
					3,94	4,00	1,5

Местные потери напора для участковых трубопроводов можно учитывать путём прибавления 5% к потерям по длине. Зависимость (21) также применяется для расчёта поливных трубопроводов систем капельного орошения. При этом следует иметь в виду, что q – расход одной капельницы; n_x – количество капельницы на длине ΔL поливного трубопровода; n_i – количество поливных трубопроводов от рассматриваемого сечения до конца трубопровода. В этом случае принимают $a_2 = 0$, так как в результате направляющего действия штуцера капельницы струя отсоединяется под углом 90° . Для оценки надёжности предлагаемых зависимостей выполнены натурные измерения потерь напора в участковых и поливных трубопроводах систем капельного орошения. Сравнение экспериментальных результатов с расчётными показало хорошее

совпадение. Разница суммарных потерь напора не превышала 10%, а разница абсолютной величины напора 5%.

Выводы и рекомендации. При исследовании зависимости для гидравлического расчета систем капельного орошения, можно сделать заключение. Для определения оптимальных параметров, обеспечивающих эффективное распределение воды и минимизацию потерь в системе, необходимо учитывать следующие аспекты:

- Определение потерь давления в трубопроводах, соединениях и капельницах, для обеспечения необходимого (постоянного) давления при эксплуатации.
- Определение необходимого расхода воды для выращивания культур в благоприятных климатических условиях.
- Грамотный подбор оборудования для различных типов капельниц и насосов, при учете их производительности и комплектации с системой.
- Оптимизация проектирования при разработке схемы расположения трубопроводов и капельниц, с целью минимизировать затраты на материалы и монтаж, с соблюдением водораспределения.
- Необходимо системное анализирование влияния внешних факторов окружающей среды, таких как: температура, влажность, тип почвы, эффективность влияния подобранной системы орошения.
- Использование программного обеспечения для моделирования гидравлических процессов и тестирования различных сценариев работы системы.
- Оценка затрат при монтаже установки и эксплуатации системы капельного орошения в сравнении с другими методами орошения.

Таким образом, исследование зависимости в гидравлическом расчете систем капельного орошения позволяет разработать эффективные и экономически целесообразные решения для сельского хозяйства и ландшафтного дизайна.

Список использованных источников:

1. Грушин А.В., Гжибовский С.А., Булгаков Д.В., Коломеец А.В. Аспекты развития и особенности капельного орошения // Вестник мелиоративной науки, 2021, №3. С. 57-66.
2. Справочник по гидравлическим расчётам. Под ред. П.Г. Киселёва. Изд. 4-е, переработ. и доп. М., «Энергия», 1972.
3. ГОСТ 18599-2001 Трубы полиэтиленовые. Технические условия. : утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 20 от 1 ноября 2001 г.) : Постановлением Государственного комитета РФ по стандартизации и метрологии от 23 марта 2002 г. № 112-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 18599-2001 введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта РФ с 1 января 2003 г. : взамен ГОСТ 18599-83 : Минск : ИПК Изд. стандартов, 2003. – 38 с. – Текст: непосредственный.
4. Сафронова Т.И., Фияткин Д.А. Гидравлический расчёт систем капельного орошения // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNent», 2020, №2, С. 143-147.
5. Семененко С.Я., Лытов М.Н., Чушкин А.Н., Чушкина Е.И. Алгоритм расчёта систем капельного орошения с модулем электрохимической активации оросительной воды // Научный журнал РосНИИПМ, 2017, №4(28), С. 20-36.
6. Микитюк А.В., Кажаров В.М., Шугай П.Ю. Гидравлический расчёт поливного полиэтиленового трубопровода системы капельного орошения // Научный электронный журнал КубГАУ, 2005, № 05(13). С. 105-111.

References:

1. Grushin A.V., Grzhibovsky S.A., Bulgakov D.V., Kolomeets A.V. Aspects of development and features of drip irrigation // Bulletin of Meliorative Science, 2021, No. 3. pp. 57-66.

2. Handbook of hydraulic calculations. Edited by P.G. Kiselyov. 4th Ed., revised. and additional M., "Energy", 1972.
3. GOST 18599-2001 Polyethylene pipes. Technical specifications. : approved and put into effect by the Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (Protocol No. 20 of November 1, 2001) : By Resolution No. 112-st of the State Committee for Standardization and Metrology of the Russian Federation dated March 23, 2002, the interstate standard GOST 18599-2001 was put into effect directly as the state standard of the Russian Federation from January 1 2003 : instead of GOST 18599-83 : Minsk : IPK Publishing House of Standards, 2003. – 38 p. – Text: direct.
4. Safronova T.I., Fiyatkin D.A. Hydraulic calculation of drip irrigation systems // Scientific and educational journal for students and teachers "StudNent", 2020, No. 2, pp. 143-147.
5. Semenenko S.Ya., Lytov M.N., Chushkin A.N., Chushkina E.I. Algorithm for calculating drip irrigation systems with an electrochemical activation module for irrigation water //Scientific Journal of RosNIIPM, 2017, No.4(28), pp. 20-36.
6. Mikityuk A.V., Kazharov V.M., Shugai P.Yu. Hydraulic calculation of an irrigation polyethylene pipeline of a drip irrigation system // Scientific Electronic Journal of KubGAU, 2005, No. 05(13). pp. 105-111.