

Оригинальная статья

УДК 502/504:532.5:631.6

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-100-104

ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ДИСКРЕТНЫМ ОТБОРОМ ЖИДКОСТИ

ЖУРАВЛЕВА ЛАРИСА АНАТОЛЬЕВНА^{1✉}, д-р техн. наук, доцент
dfz@yandex.ru

ПОПКОВ ИГОРЬ АНАТОЛЬЕВИЧ², канд. экон. наук, проректор по внедрению
инновационных технологий
ipopkov@mail.ru

АЛДИАБ АНАС¹, аспирант
anasaldiab123@gmail.com

ХЕИРБЕИК БАССЕЛ¹, аспирант
bassel.bek@yandex.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

² ООО Русхимбио; 121170, г. Москва, ул. Генерала Ермолова, 10/6, Россия

Цель работы – исследование характеристик потока в напорных трубопроводах оросительных систем с дискретным отбором жидкости. Проведенные исследования подтвердили некоторое увеличение напора вдоль перфорированного трубопровода при отборе жидкости, что объясняется переходом кинетической энергии в потенциальную. Теоретические исследования движения жидкости переменным по длине трубопровода расходом позволили получить зависимости, описывающие характеристики потока при наличии как равномерной, так и неравномерной установки водоотводов вдоль трубопровода и потерь напора с учетом параметра дискретности, учитывающего количество отводов на единицу длины, то есть частоты установки. Для уточнения коэффициента отсоединения потока проведены исследования, результаты которых показали независимость соотношения скоростей основного потока и скорости вытекания струи от диаметра отверстий отводов. Коэффициент отсоединения потока находится в границах значений от 0,66 до 0,87. Полученные результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод о том, что параметр дискретности расхода уменьшается с увеличением количества водоотводов. Значение величины потерь напора при дискретном отборе было определено через величину потерь напора при равномерном отборе потока жидкости с учетом параметра дискретности. Полученные расчетные значения подтверждаются результатами экспериментальных исследований.

Ключевые слова: транзитный и путевой расход, водоотвод, скорость, диаметр, давление

Формат цитирования: Журавлева Л.А., Попков И.А., Алдиаб Анас, Хеирбеик Бассел. Исследования характеристик потока в напорных трубопроводах оросительных систем с дискретным отбором жидкости // Природообустройство. – 2022. – № 5. – С. 100-104. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-100-104.

© Журавлева Л.А., Попков И.А., Алдиаб Анас, Хеирбеик Бассел, 2022

Original article

STUDIES OF FLOW CHARACTERISTICS IN PRESSURE PIPELINES OF IRRIGATION SYSTEMS WITH DISCRETE FLUID SAMPLING

ZHURAVLEVA LARISA ANATOLJEVNA^{1✉}, doctor of technical sciences, associate professor
dfz@yandex.ru

POPKOV IGOR ANATOLJEVICH², candidate of economic sciences, Vice-rector for the introduction
of innovative Technologies
ipopkov@mail.ru

ALDIAB ANAS¹, post graduate student
anasaldiab123@gmail.com

HEIRBEIK BASSEEL¹, post graduate student
bassel.bek@yandex.ru

¹Russian State Agrarian University – Moscow MAA named after C.A. Timiryazev, 127434, Moscow, Timiryazevskaya St., 49, Russia

²LLC Ruskhimbio; 121170, Moscow, General Yermolov str., 10/6, Russia

The purpose of the experiments is to study the characteristics of the flow in the pressure pipelines of irrigation systems with discrete liquid selection. The investigations have confirmed a slight increase in the head along the perforated pipeline during withdrawal of the fluid, which is explained by the transition of kinetic energy to potential energy. Theoretical studies of the fluid flow with a flow rate variable along the length of the pipeline made it possible to obtain dependences that describe the characteristics of the flow in the presence of both uniform and non-uniform installation of drains along the pipeline and pressure losses, taking into account the discreteness parameter, which takes into account the number of outlets per a unit of the length, i.e. frequency of setting. To clarify the coefficient of the flow disconnection, the studies were carried out, the results of which showed the independence of the ratio of the speeds of the main flow and the flow rate of the jet from the diameter of the outlet holes. The coefficient of disconnection of the flow is in the range of values from 0.66 to 0.87. The results of experimental studies allow us to conclude that the parameter of flow discreteness decreases with an increase in the number of drains. The value of the value of head losses in discrete withdrawal was determined by the value of head losses with uniform withdrawal of the fluid flow, taking into account the discreteness parameter. The obtained calculated values are well confirmed by the results of experimental studies.

Keywords: transit and travel flow, drainage, speed, diameter, pressure

Format of citation: Zhuravleva L.A., Popkov I.A., Aldiab Anas, Kheirbeik Bassel. Studies of flow characteristics in pressure pipelines of irrigation systems with discrete fluid sampling // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 5. – P. 100-104. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-100-104.

Введение. Высокие технико-экономические показатели, уменьшение стоимости при сохранении эксплуатационных характеристик – это задачи, которые решаются при проектировании оросительных систем нового поколения. Совершенствование оросительных систем связано в первую очередь с оптимизацией параметров водопроводящих трубопроводов и режимов их работы. Правильно подобранные характеристики позволяют значительно уменьшить материалоемкость, стоимость, повысить КПД. Совершенствованию методов расчета оросительных систем и различного типа и назначения трубопроводов посвящены работы многих ученых исследователей [1-14]. При этом, несмотря на значительное конструктивное разнообразие используемых материалов, назначения, режимов работы, общим принципом с точки зрения гидравлики является непрерывная раздача расхода по длине трубопроводов.

Целью работы являются исследования характеристик потока в напорных трубопроводах оросительных систем с дискретным отбором жидкости.

Для достижения цели были поставлены задачи:

1. Проанализировать существующие исследования характеристик потока оросительных систем.

2. Провести теоретические исследования движения жидкости с переменным по длине трубопровода расходом при наличии как равномерной, так и неравномерной установки водоотводов.

3. Уточнить значения коэффициента отсоединения потока.

4. Экспериментально подтвердить теоретические исследования.

Материалы и методы исследований. И.М. Коновалов в своих исследованиях представил уравнение, учитывающее параметры движения потока жидкости с учетом коэффициентов присоединения и отсоединения масс [11]:

$$\frac{1}{g} \int \frac{(1-a_1)V}{\omega} dQ_1 - \frac{1}{g} \int \frac{(1-a_2)V}{\omega} dQ_2 + \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z + h_f = c, \quad (1)$$

где a_1 и a_2 – соответственно коэффициенты присоединения и отсоединения массы жидкости; V_1 и V_2 – проекции скорости присоединения и отсоединения потоков жидкости на ось движения; Q_1 и Q_2 – расход присоединения и отсоединения соответственно, м³/с; V – средняя скорость, м/с; S – площадь живого сечения потока жидкости, м²; P – гидродинамическое давление потока, м; Z – удельная потенциальная энергия положения; Γ – объемный вес жидкости, Н/м³; h_f – потери на трение между рассматриваемыми сечениями; g – ускорение, м/с².

Коэффициент присоединения определяется как $a_1 = V_1/V$.

Коэффициент $a_2 = V_2/V$, причем $0 < a_2 < 1$ [12, 14].

Продифференцировав уравнение, после математического преобразования получили:

$$\frac{\alpha_0(1-\alpha_1)Q}{gs^2} \frac{dQ_1}{dx} - \frac{\alpha_0(1-\alpha_2)Q}{gs^2} \frac{dQ_2}{dx} + \frac{\alpha_0 Q}{gs} \frac{d}{dx} \left(\frac{Q}{s} \right) + \frac{d}{dx} \left(\frac{P}{\gamma} + z \right) + \frac{d}{dx} (h_f) = 0. \quad (2)$$

Коэффициент α_0 в практических расчетах не учитываем – он представляет собой отношение действительного количества движения массы воды к количеству по среднему значению скорости и практически равен единице.

Трубопровод постоянного диаметра с перфорацией – это и оросительные системы поверхностного полива, капельный полив и трубопровод широкозахватной дождевальная машины. Принцип расчета является неизменным.

При $s = \text{const}$:

$$\frac{\alpha_0(a_2-2)Q}{gs^2} \left(\frac{\partial Q_2}{\partial H} \frac{dH}{dx} + \frac{\partial Q_2}{\partial s_0''} \frac{ds_0''}{dx} \right) + \frac{dH}{dx} - i + \frac{Q^2}{K^2} = 0, \quad (3)$$

где K – расходная характеристика, л/с.

Решив полученное уравнение относительно dH/dx

$$\frac{dH}{dx} = \frac{i - \frac{Q^2}{K^2} - \frac{\alpha_0(a_2-2)Q}{gs^2} \frac{ds_0''}{dx} \frac{\partial Q_2}{\partial s_0''}}{1 + \frac{\alpha_0(a_2-2)Q}{gs} \frac{\partial Q_2}{\partial H}}, \quad (4)$$

для последующего упрощения полученных выражений введем значение A :

$$A = \frac{\alpha_0(a_2-2)}{gs^2}. \quad (5)$$

Для равномерно расположенных вдоль водопроводящего трубопровода отводов, где $q_2 = \text{const}$, $s_0'' \neq \text{const}$, выражение будет иметь вид:

$$\frac{dH}{dx} = i - \frac{Q^2}{K^2} - A Q q. \quad (6)$$

Для неравномерно расположенных $q_2 \neq \text{const}$, $s_0'' \neq \text{const}$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{i - \frac{Q^2}{K^2} - Q A \frac{ds_0''}{dx} \frac{\partial Q_2}{\partial s_0''}}{1 + Q A \frac{\partial Q_2}{\partial H}}. \quad (7)$$

Значения частных производных определяются из формулы истечения через отверстие:

$$\frac{\partial Q_2}{\partial H} = \frac{\mu s_0'' \sqrt{2g}}{2\sqrt{H}}, \quad (8)$$

где μ – коэффициент расхода.

Тогда выражение можно представить как

$$\frac{dH}{dx} = \frac{i - \frac{Q^2}{K^2}}{1 + \frac{A Q \mu}{g \sqrt{2gH}} s_0''}. \quad (9)$$

Принципиальным условием для систем полива является получение одинаковых струй из всех отводов или капельниц, то есть обеспечение равномерности отбора расхода по длине трубопровода. Тогда для наклонного трубопровода и равномерного отсоединения расхода (при $i = \text{const}$) уравнение пьезометрической линии будет выглядеть как

$$\frac{P_x - P_1}{\gamma} = ix - \frac{\left(Q_0^2 - Q_0 q x + \frac{q^2 x^2}{3} \right) x}{K^2} - A \left(Q_0 q x - \frac{q^2 x^2}{2} \right), \quad (10)$$

где расход в начальном сечении $Q_0 = Q + qx = Q + Q_x$, в котором Q и Q_x – соответственно расход в произвольно выбранном сечении трубопровода и отсоединения по заданной длине x , м³/с; Q – удельный расход от соединения, м³/с.

После преобразований получим зависимость для определения пьезометрического напора в сечении x трубопровода:

$$H_p = H_1 + ix - \left(Q^2 + Q Q_x + \frac{Q_x^2}{3} \right) \frac{x}{K^2} - A \left(Q Q_x + \frac{Q_x^2}{2} \right), \quad (11)$$

где H_1 – пьезометрический напор в начале участка трубопровода.

Для конечного сечения участка трубопровода с отводами на всем его протяжении

$$x = \ell, \quad Q = Q_{\text{тр}} \quad \text{и} \quad Q_x = Q_n,$$

где $Q_{\text{тр}}$ и Q_n – соответственно транзитный и путевой расход, м³/с.

Уравнение примет вид:

$$H_p = H_1 + i\ell - \left(Q_{\text{тр}}^2 + Q_{\text{тр}} Q_n + \frac{Q_n^2}{3} \right) \frac{\ell}{K^2} - A \left(Q_{\text{тр}} Q_n + \frac{Q_n^2}{2} \right). \quad (12)$$

Можно заметить, что абсолютная величина восстановления пьезометрического напора жидкости определяется интенсивностью отсоединяемого расхода.

Увеличение напора вдоль перфорированного трубопровода при отборе жидкости подтверждается экспериментальными работами А.М. Курганова [10], Г.А. Петрова [12], А.А. Федорца [14] и др.

Физический смысл увеличения напора вдоль перфорированного трубопровода объясняется трансформацией кинетической энергии в потенциальную.

Рассмотрим исследования А.А. Федорца, где степень перфорации предлагается оценивать параметром дискретности:

$$\beta = 1/(n+1) \quad [14]$$

или

$$\ell = \ell_{\text{отв}}(n+1),$$

где n – количество отводов наводопроводящем трубопроводе; $\ell_{\text{отв}}$ – расстояние между отводами; ℓ – длина участка трубопровода, м.

Отбор жидкости по длине трубопровода происходит дискретно, то есть не через условное

щелевое отверстие вдоль трубопровода. Расположенные на некотором расстоянии друг от друга отверстия и величину потерь напора необходимо выразить через величину потерь напора при равном отборе $h_{\text{равн}}$ и параметр дискретности:

$$h_{\text{тр.дискр}} = \left(Q_{\text{ТР}}^2 + Q_{\text{ТР}} Q_n + \frac{Q_n^2}{3} \right) \frac{\ell}{K^2} \cdot \left(1 + 1,7 \left(\frac{\ell_{\text{отв}}}{\ell} \right)^{1,04} \right) + A \left(Q_{\text{ТР}} Q_n + \frac{Q_n^2}{2} \right), \quad (13)$$

где $Q_{\text{ТР}}$ и Q_n – соответственно транзитный расход на рассматриваемом участке водопроводящего трубопровода и путевой расход, м³/с; K – модуль расхода.

Полученное уравнение позволяет определять потери напора с учетом дискретности отбора жидкости, то есть из водопроводящих трубопроводов с отводами воды под водоотводы или капельницы с большей степенью точности.

Для подтверждения теоретических положений были проведены экспериментальные исследования (рис. 1, 2).

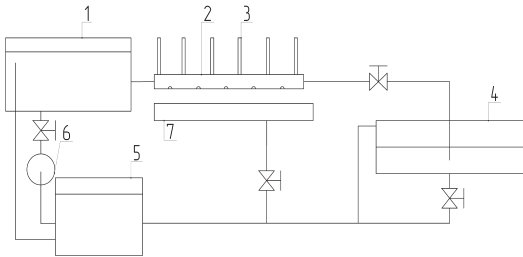


Рис. 1. Лабораторная установка для определения характеристик потока
Fig. 1. Laboratory installation for determining the characteristics of the flow



Рис. 2. Уточнения коэффициента отсоединения жидкости a_2
Fig. 2. Clarification of the coefficient of disconnection of the fluid a_2

Лабораторная установка включает в себя: 1 – напорный бак; 2 – сменные трубы с отверстиями разного диаметра и на разном расстоянии; 3 – пьезометры (больше 0,1 МПа – манометры); 4 – мерный бак; 5 – сливной бак; 6 – насос; 7 – желоб.

Давление в трубопроводе менялось от 0,06 до 0,35 МПа.

Расход определялся объемным способом. Путевой расход собирался при помощи желоба.

Величина угла отклонения струи измерялась с помощью градуированного шаблона.

Результаты и их обсуждение. Коэффициент гидравлического трения изменяется от 0,087 при Re 2100 до 0,03 при Re 44300. Отверстия – с обработанными кромками. Оценка ошибок измерений осуществлялась согласно ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002.

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают теоретические заданные предпосылки. Значение коэффициента гидравлического трения несколько больше в трубопроводах с водоотводами, и с увеличением интенсивности отбора разность увеличивается. Параметр дискретности находится в границах 1,06-1,26 (табл.). Коэффициент отсоединения потока находится в границах $0,66 < a_2 < 0,87$.

Таблица
Данные для определения параметра дискретности

Table
Data for determining the discreteness parameter

$\ell_{\text{отв}}$	Q_n , л/с	Диаметр d , мм Diameter d , mm	Диаметр $d_{\text{отв}}$, мм Diameter $d_{\text{отв}}$, mm	$Q_{\text{ТР}}$, л/с	Re	Параметр дискретности Discreteness parameter
0,25	7,8	48	10	39	14257	1,06
	31,6	60	20	151,6	17821	
	62	159	24	61,56	4770	
0,25	1,9	60	5	12,2	1852	1,06
	20	60	16	98	15621	
	5	60	8	40,3	22101	
0,5	3,9	48	10	17,2	13556	1,12
	15,6	60	20	62,4	14267	
	30	159	24	280	46225	
0,5	0,96	60	5	5,6	19885	1,12
	10	60	16	160,2	17523	
	2,4	60	8	12,6	18665	
1	1,9	48	5	9,5	13557	1,26
	7,8	60	20	31,2	16425	
	15,4	159	24	154	42556	
1	0,48	60	5	2,4	13823	1,26
	5	60	16	20,1	14558	
	1,2	60	8	27,2	17533	

Выводы

Теоретические исследования позволили получить зависимости, описывающие характеристики потока при наличии как равномерной,

так и неравномерной установки водоотводов, потерь напора с учетом параметра дискретности, учитывающего количество отводов на единицу длины.

Библиографический список

1. **Агроскин И.И.** Гидравлика: учебник. – Изд. 4-е, перераб. – М.-Л.: Энергия, 1964. – 352 с.
2. **Альтшуль А.Д.** Гидравлические потери на трение в трубопроводах. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 256 с.
3. **Альтшуль А.Д.** Примеры расчетов по гидравлике. – М.: Стройиздат, 1977. – 254 с.
4. **Губер К.В.** Дождевальные машины и их применение. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 70 с.
5. **Губер К.В.** Оросительные системы на основе минимизации материало- и энергоемкости // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1999. – № 4.
6. **Губер К.В.** Ресурсосберегающие технологии и конструкции оросительных систем при дождевании: Дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2000. – 518 с.
7. **Затицкий С.В., Колганов Д.А.** Гидравлическая модель работы модифицированной ДМ «Фрегат» с возможностью движения без полива // Научное обозрение. – 2017. – № 6. – С. 20-27.
8. **Исаев А.П.** Гидравлика дождевальных машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 214 с.
9. **Колганов Д.А.** Дождевальная машина «Фрегат» с усовершенствованной системой водоподдачи для полива в низконапорном режиме: Дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2017. – 168 с.
10. **Курганов А.М., Федоров Н.Ф.** Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения. – Л.: Стройиздат, 1986. – 440 с.
11. **Маккавеев В.М., Коновалов И.М.** Гидравлика. – М.-Л.: Речиздат, 1940. – 643 с.
12. **Петров Г.А.** Гидравлика переменной массы: Монография. – Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1964. – 224 с.
13. **Снипич Ю.Ф.** Интенсификация технологий и совершенствование технических средств орошения дождеванием: Дис. ... д-ра техн. наук. – Новочеркасск, 2011. – 340 с.
143. **Федорец А.А.** Теоретические основы и методика гидравлического расчета закрытой сети мелиоративных систем с переменным расходом жидкости: Дис. ... канд. техн. наук. – Коломна, 1993. – 305 с.
15. **Favre H.** Contribution à l'étude des courants liquids. – Zürich, 1933.

Критерии авторства

Журавлева Л.А., Попков И.А., Алдиаб Анас, Хеирбеик Бассел выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Статья поступила в редакцию 20.07.2022 г.

Одобрена после рецензирования 18.10.2022

Принята к публикации 25.10.2022

References

1. **Agroskin I.I.** Gidravlika: uchebnik. Izd. 4-e, pere-rab.. – M.-L.: Enegiya, 1964. – 352 s.
2. **Altshul A.D.** Gidravlicheskie poteri na trenie v truboprovodah. – M.-L.: Gosenergoizdat, 1963. – 256 s.
3. **Altshul A.D.** Primery raschetov po gidravlike. – M.: Strojizdat, 1977. – 254 s.
4. **Guber K.V.** Dozhdevalnye mashiny i ih primene-nie. – M.: Rosselhoz izdat, 1975. – 70 s.
5. **Guber K.V.** Orositelnye sistemy na osnove mini-mizatsii material- i energoemkosti // Traktory i selskoho-zyajstvennye mashiny. – 1999. – № 4.
6. **Guber K.V.** Resursosberegayushchie tehnolo-gii i konstruksii orositelnyh sistem pri dozhdeva-nii / K.V. Guber: Dis. d-ra tehn. nauk. – M., 2000. – 518 s.
7. **Zatinatskij S.V., Kolganov D.A.** Gidravliches-kaya model raboty modifitsirovannoj DM «Fregat» s voz-mozhnostyu dvizheniya bez poliva // Nauchnoe obozre-nie. – 2017. – № 6. – S. 20-27.
8. **Isaev A.P.** Gidravlika dozhdevalnyh mashin. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 214 s.
9. **Kolganov D.A.** Dozhdevalnaya mashina «Fre-gat» s usovershenstvovannoj sistemoy vodopodachi dlya poliva v nizkonapornom rezhime: Dis. ...kand. tehn. nauk / D.A. Kolganov. – Saratov, 2017. – 168 s.
10. **Kurganov A.M., Fedorov N.F.** Gidravlicheskie raschetny system vodosnabzheniya i vodootvedeniya. – L.: Strojizdat, 1986. – 440 s.
11. **Makkaveev V.M., Konovalov I.M.** Gidravli-ka. – M.-L.: Rechizdat, 1940. – 643 s.
12. **Petrov G.A.** Gidravlika peremennoj massy. Monografiya. – Kharkov: Izd-vo Kharkovskogo un-ta, 1964. – 224 s.
13. **Snipich Yu.F.** Intensifikatsiya tehnologij i so-vershenstvovanie tehnicheskikh sredstv orosheniya doz-hdevaniem / Yu.F. Snipich: Dis. d-ra tehn. nauk. – No-vocherkassk, 2011. – 340 s.
143. **Fedorets A.A.** Teoreticheskie osnovy i metodi-ka gidravlicheskogo rascheta zakrytoj seti meliorativnyh system s peremennym rashodom zhidkosti: Dis. ...kand. tehn. nauk / A.A. Fedorets. – Kolomna, 1993. – 305 s.
15. **Favre H.** Contribution à l'étude des courants liquids / H. Favre. – Zürich. – 1933.

Criteria of Authorship

Zhuravleva L.A., Popkov I.A., Alduab Anas, Kheirobeik Bassel performed theoretical and experimental research, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript. Zhuravleva L.A., Popkov I.A., Alduab Anas, Kheirobeik Bassel have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 20.07.2022

Approved after reviewing 18.10.2022

Accepted for publication 25.10.2022