

Исследования параметров потока воды в трубопроводе широкозахватных дождевальных машин

Лариса Анатольевна Журавлева, Бассел Хеирбек

ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

e-mail: dfz@yandex.ru

Аннотация. Оптимизация конструкции трубопровода широкозахватных дождевальных машин и параметров потока воды в нем позволяет в значительной степени снизить материалоемкость и себестоимость всей машины, экономить воду и электроэнергию. Целью проведенных исследований является моделирование потока воды в трубопроводе широкозахватных дождевальных машин разработка методики оптимизации конструктивных параметров трубопровода и размещения водоотводов под дождеватели. В результате проведения исследований получены зависимости изменения расхода вдоль трубопровода с учетом дискретности, потери напора. Представлено условие получения одинаковых струй из всех отводов под дождеватели. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований подтверждает достоверность и правомерность применения для расчетов трубопровода дождевальных машин теории с равномерным отсоединением расхода с учетом введенного параметра дискретности, учитывающего количество и расположение отводов под дождеватели. Представленная методика использовалась при конструировании дождевальных машин «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и КАСКАД (г. Саратов, ООО «Мелиоративные машины»).

Ключевые слова: поток воды; расход; давление; водоотводы; скорость; дождеватели; трубопровод; дождевальная машина.

Для цитирования: Журавлева Л. А., Хеирбек Б. Исследования параметров потока воды в трубопроводе широкозахватных дождевальных машин // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 136–143. <http://10.28983/asj.y2023i1pp136-143>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Studies of water flow parameters in the pipeline of wide-reach sprinklers

Larisa A. Zhuravleva, Bassel Kheirbeik

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

e-mail: dfz@yandex.ru

Abstract. Optimization of the pipeline design of wide-span sprinklers and the parameters of the water flow in it can significantly reduce the material consumption and cost of the entire machine, save water and electricity. The purpose of the research is to simulate the flow of water in the pipeline of wide-reach sprinklers, to develop a methodology for optimizing the design parameters of the pipeline and the placement of drainage pipes for sprinklers. As a result of the research, dependences of flow rate changes along the pipeline were obtained, taking into account discreteness, pressure loss. The condition for obtaining identical jets from all taps for sprinklers is presented. A comparison of the results of theoretical and experimental studies confirms the reliability and validity of the use of the theory with uniform disconnection of the flow rate for the calculations of the pipeline of sprinklers, taking into account the introduced discreteness parameter, taking into account the number and location of taps for sprinklers. The presented technique was used in the design of sprinkler machines “Kuban-LK1M” (CASCADE) and CASCADE (Saratov, LLC “Reclamation machines”).

Keywords: water flow; flow rate; pressure; drainage; speed; sprinklers; pipeline; sprinkler machine.

For citation: Zhuravleva L. A., Kheirbeik B. Studies of water flow parameters in the pipeline of wide-reach sprinklers // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(1):136–143. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2023i1pp136-143>.

Введение. Совершенствование конструкции широкозахватных дождевальных машин напрямую связано с совершенствованием конструктивных параметров трубопровода, оптимально подобранные параметры которого позволяют снизить материалоемкость и стоимость всей машины, повысить ее эффективность, экономить воду и электроэнергию.





Совершенствованию методик расчета оросительных систем посвящены работы многих российских и зарубежных ученых [1–17 и др.]

Анализ показывает, что, несмотря на значительное конструктивное разнообразие дождевальных машин и мелиоративных систем в целом, общим, с точки зрения гидравлики, является непрерывная раздача расхода по длине трубопровода.

Основными параметрами трубопровода машины являются: диаметр и длина и трубопровода, расстояния между дождевателями.

Методика исследований. Известно уравнение И.М. Коновалова [7]:

$$\frac{1}{g} \int \frac{(1 - a_{\Pi})V}{S} dQ_{\Pi} - \frac{1}{g} \int \frac{(1 - a_{\text{от}})V}{S} dQ_{\text{от}} + \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z + h_f = c, \quad (1)$$

где a_{Π} и $a_{\text{от}}$ – коэффициент присоединения и отсоединения массы воды при движении по трубопроводу; Q_{Π} и $Q_{\text{от}}$ – соответственно расход воды присоединения и отсоединения через условную перфорацию трубопровода; S – площадь сечения потока воды в трубопроводе; V – усредненное значение скорости потока; P – гидродинамическое давление; γ – объемный вес; z – удельная потенциальная энергия положения; h_f – потери удельной энергии на трение; g – ускорение силы тяжести.

Коэффициенты можно выразить следующим образом:

$$a_{\Pi} = V_{\Pi} / V; \quad a_{\text{от}} = V_{\text{от}} / V, \quad (2-3)$$

где V_{Π} и $V_{\text{от}}$ – проекции на ось движения скорости присоединения и отсоединения потоков.

В любом произвольно выделенном сечении трубопровода расход можно определить как

$$Q = Q_0 + \int_0^x dQ_{\Pi} - \int_0^x dQ_{\text{от}}, \quad (4)$$

где Q_0 , Q – расход в начальном и выделенном сечении потока.

После математических преобразований, получим:

$$\frac{\alpha_0(1 - a_{\Pi})Q}{gS^2} \frac{dQ_{\Pi}}{dx} - \frac{\alpha_0(1 - a_{\text{от}})Q}{gS^2} \frac{dQ_{\text{от}}}{dx} + \frac{\alpha_0 Q}{gS} \frac{d}{dx} \left(\frac{Q}{S} \right) + \frac{d}{dx} \left(\frac{P}{\gamma} + z \right) + \frac{d}{dx} (h_f) = 0, \quad (5)$$

$$V = Q / S. \quad (6)$$

где α_0 – коэффициент определяющий отношение действительного количества движения к количеству движения, соответствующему средней скорости потока.

Согласно данным, представленным в работе Г.А. Петрова [8], учитывать α_0 нецелесообразно ввиду его малого отклонения от единицы.

Потери на трение можно определить следующим образом:

$$\frac{d}{dx} (h_f) = \frac{Q^2}{S^2 C^2 R}, \quad (7)$$

где C – коэффициент Шези; R – гидравлический радиус.

Тогда выражение для трубопровода с водоотводами:

$$\frac{\alpha_0(a_{\text{от}} - 2)Q}{gS^2} \left(\frac{\partial Q_{\text{от}}}{\partial H} \frac{dH}{dx} + \frac{\partial Q_{\text{от}}}{\partial S_0''} \frac{dS_0''}{dx} \right) + \frac{dH}{dx} - i + \frac{Q^2}{K^2} = 0, \quad (8)$$

где $S = \text{const}$, $K^2 = S^2 C^2 R$; K – расходная характеристика.

Уравнение пьезометрической линии для потока характеризуется следующим образом:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{i - \frac{Q^2}{K^2} - \frac{\alpha_0(a_{\text{от}} - 2)Q}{gS^2} \frac{dS_0''}{dx} \frac{\partial Q_{\text{от}}}{\partial S_0''}}{1 + \frac{\alpha_0(a_{\text{от}} - 2)Q}{gS} \frac{\partial Q_{\text{от}}}{\partial H}}, \quad (9)$$

Присвоим выражению обозначение A для упрощения:

$$A = \frac{\alpha_0(a_{от} - 2)}{gS^2}. \quad (10)$$

Тогда для равномерно расположенных отводов под дождеватели будет соблюдаться условие:

$$\frac{dH}{dx} = i - \frac{Q^2}{K^2} - AQq, \quad (11)$$

$q_2 = \text{const}$, $S_0'' \neq \text{const}$, q – удельный расход отсоединения.

Важным условием при проектировании дождевальной техники является получение одинаковых струй из всех отводов под дождеватели:

$$dH = idx - \frac{Q^2}{K^2} dx - AQ dQ_{от}. \quad (12)$$

Для любого сечения по длине трубопровода расход при равномерном отсоединении воды определяется:

$$Q = Q_0 - qx, \quad (13)$$

где Q_0 – расход в начальном сечении.

Учитывая $dQ_2 = -qdx$, получим:

$$dH = idx - \frac{1}{K^2} (Q_0^2 - 2Q_0qx + q^2x^2) dx - A(Q_0q - q^2x) dx. \quad (14)$$

Здесь

$$Q_0 = Q + qx = Q + Q_x, \quad (15)$$

где Q , Q_x – соответственно расход воды в заданном сечении потока и расход отсоединения по длине x , соответственно.

Напор воды в заданном сечении x :

$$H_p = H_1 + ix - \left(Q^2 + QQ_x + \frac{Q_x^2}{3} \right) \frac{x}{K^2} - A \left(QQ_x + \frac{Q_x^2}{2} \right). \quad (16)$$

H_1 – напор воды в начале участка.

$$H_p = \frac{P_x}{\gamma}; H_1 = \frac{P_1}{\gamma}. \quad (17)$$

Для конечного сечения с отводами на всем его протяжении $x = \ell$:

$$Q = Q_{тр} \quad \text{и} \quad Q_x = Q_n, \quad (19-20)$$

где $Q_{тр}$ и Q_n – соответственно транзитный и путевой расход.

Уравнение примет вид

$$H_p = H_1 + i\ell - \left(Q_{тр}^2 + Q_{тр}Q_n + \frac{Q_n^2}{3} \right) \frac{\ell}{K^2} - A \left(Q_{тр}Q_n + \frac{Q_n^2}{2} \right). \quad (21)$$

Уравнение можно использовать для определения напора в конечном сечении трубопровода широкозахватных дождевальных машин как кругового, так и фронтального действия.

Абсолютная величина восстановления напора зависит от интенсивности процесса отсоединения расхода:

$$h_p = H_1 - H_p + i\ell, \quad \text{т.е.} \quad (22)$$

$$h_p = \left(Q_{тр}^2 + Q_{тр}Q_n + \frac{Q_n^2}{3} \right) \frac{\ell}{K^2} + A \left(Q_{тр}Q_n + \frac{Q_n^2}{2} \right). \quad (23)$$

Процесс восстановления напора объясняется преобразованием кинетической энергии в потенциальную.



Для обеспечения равномерности поливаемой площади должно соблюдаться соотношение:

$$\frac{q}{\pi r^2} = \frac{Q_0}{\pi R_M^2}, \quad (24)$$

где q – расход воды, который обеспечивает равномерный полив круга радиусом r , с точки зрения гидравлики – расход отсоединения; Q_0 – общий, суммарный расход машины; R_M – радиус машины (длина трубопровода).

Отсюда можно выразить:

$$q = Q_0 \frac{r^2}{R_M^2}. \quad (25)$$

Расход воды, проходящий через произвольно выбранное сечение:

$$Q = Q_0 - \frac{Q_0}{R_M^2} r^2. \quad (26)$$

Поскольку для каждой модификации широкозахватной дождевальной машины $Q_0 = \text{const}$ и $R = \text{const}$, после дифференцирования получим выражение:

$$dQ = -\frac{2Q_0}{R_M^2} r dr. \quad (27)$$

После интегрирования от 0 до r выражение получит вид:

$$H = ir - \frac{1}{K^2} \left(Q_0^2 r - \frac{2Q_0^2}{3R_M^2} r^3 + \frac{Q_0^2}{5R_M^4} r^5 \right) + A \left(\frac{Q_0^2}{R_M^2} r^2 - \frac{Q_0^2}{2R_M^4} r^4 \right). \quad (28)$$

Общие потери напора для всей машины, т.е. при $r = R_M$, при $i = 0$:

$$H_n = 0,533 \frac{Q_0^2 R_M}{K^2} - 0,5A Q_0^2. \quad (29)$$

Величину потерь напора с водоотводами под дождеватели, т.е. с точки зрения гидравлики, при дискретном отборе можно выразить через величину потерь напора при равномерном отборе воды и параметр дискретности k_d А.А. Федорца [10]:

$$h_{\text{тр. дискр}} = h_{\text{тр. равн}} \left[1 + 1,7 \left(\frac{\ell_{\text{отв}}}{\ell} \right)^{1,04} \right], \quad (30)$$

$\ell_{\text{отв}}$ – расстояние между отводами под дождеватели.

Тогда после соответствующих преобразований, получим:

$$h_{\text{тр. равн}} = \left(Q_{\text{ТР}}^2 + Q_{\text{ТР}} Q_n + \frac{Q_n^2}{3} \right) \frac{\ell}{K^2} + A \left(Q_{\text{ТР}} Q_n + \frac{Q_n^2}{2} \right). \quad (31)$$

Тогда:

$$h_g = \left(Q_{\text{ТР}}^2 + Q_{\text{ТР}} Q_n + \frac{Q_n^2}{3} \right) \frac{\ell}{K^2} \cdot \left(1 + 1,7 \left(\frac{\ell_{\text{отв}}}{\ell} \right)^{1,04} \right) + A \left(Q_{\text{ТР}} Q_n + \frac{Q_n^2}{2} \right). \quad (32)$$

Равномерный слой осадков выдаваемый дождевателем, определяет равномерность полива:

$$h_{\text{ос}} = \frac{Q_0}{\pi R_M^2}. \quad (33)$$

Для дождевателя кругового полива (например, дефлекторного типа) слой осадков распределяется по площади кольца:

$$h_{\text{ос(н)}} = \frac{q_a}{\pi(r_1^2 - r_2^2)}, \quad (34)$$

где q_a – расход дождевателя; r_1, r_2 – соответственно внешний и внутренний радиус кольца орошения.

Откуда

$$q_a = \frac{Q_0}{R_M^2} (r_1^2 - r_2^2). \quad (35)$$



Расход из сопла дождевателя также можно представить в следующем виде:

$$q_a = \mu S_0 \sqrt{2gH}, \quad (36)$$

где μ – коэффициент расхода; S_0 – площадь отверстия сопла; H – напор на входе.

Из этих соотношений можно выразить площадь отверстия сопла дождевателя:

$$S_0 = 0,225 \frac{Q_0(r_1^2 - r_2^2)}{R_M^2 \mu \sqrt{H}}. \quad (37)$$

Диаметр в зависимости от расхода для проектирования трубопровода переменного сечения и консоли можно определить как

$$d = d_0 \sqrt[5]{\frac{\lambda_{\Pi}}{\lambda_0} \left(1 - \frac{Q_n}{Q_n + q_{\text{тр}}} \frac{r^2}{R_M^2}\right)^2}. \quad (38)$$

Потери напора в трубопроводе при условии $i=0$:

$$\Delta H_x = Q_M^2 \left(1 + 1,7 \left(\frac{\ell_{\text{отв}}}{\ell}\right)^{1,04}\right) \left(1 - 0,666 \frac{r^2}{R_M^2} + 0,2 \frac{r^4}{R_M^4}\right) - A Q_M^2 \left(\frac{r^2}{R_M^2} - 0,5 \frac{r^4}{R_M^4}\right). \quad (39)$$

Для подтверждения теоретических предпосылок были проведены ряд экспериментов.

Критериальное уравнение:

$$\lambda = f\left(\frac{\Delta}{R}, \text{Re}, \right). \quad (40)$$

где $\frac{\Delta}{R}$ – относительная шероховатость стенок; число Рейнольдса.

Для экспериментальных исследований были взяты трубы длиной от 2 до 6 м с диаметрами 16; 20; 25; 30,0; 48,0 и 60 мм. В трубах были просверлены отверстия диаметром 1; 1,5; 3; 5 мм через расстояния 0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0 м. Кромки отверстий были обработаны. Давление подаваемой воды изменялось от 0,06 до 0,35 МПа. Числа Рейнольдса – 1000–100 000 (рис. 1).

Эксперименты показали, что в трубах с водоотводами значение коэффициента гидравлического трения больше, чем при равномерном движении потока жидкости. И при увеличении количества водоотводов эта разность также увеличивается.

Коэффициент гидравлического трения:

$$\lambda_n = \lambda_0 f(\tau_0), \quad (41)$$

где λ_0 – коэффициент гидравлического трения при равномерном движении воды, $\lambda_0 = f_1(\text{Re})$.

Для определения параметра дискретности характеристик потока на лабораторной установке (рис. 2) давление последовательно увеличивалось от 0,06 до 0,35 МПа. Расход определялся объемным способом. Потери напора определялись пьезометрами (манометрами от 0,2 МПа).

Результаты исследований. Коэффициент гидравлического трения в трубопроводах с отводами практически равен коэффициенту гидравлического трения при равномерном движении, т.е. $\lambda_n \approx \lambda_0$ при значительных числах Рейнольдса.



Рис. 1. Экспериментальные исследования



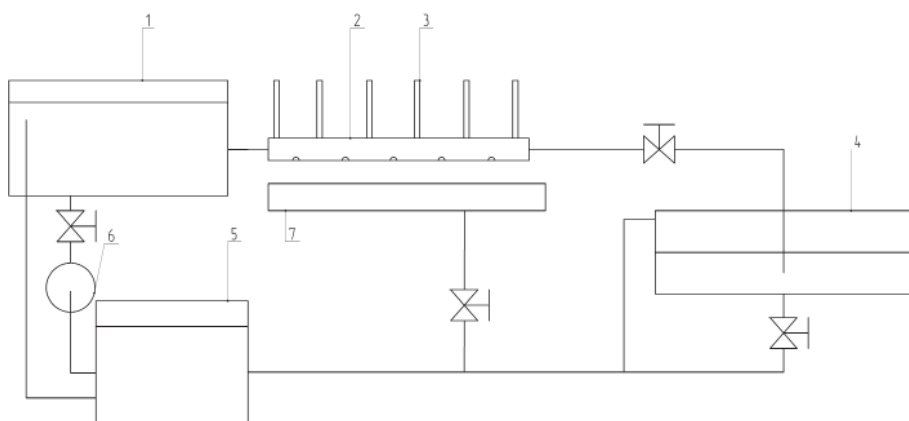


Рис. 2. Лабораторная установка: 1 – напорный бак; 2 – сменные трубы с перфорацией; 3 – пьезометры; 4 – мерный бак; 5 – сливной бак; 6 – насос

Другими словами, при значительных числах Рейнольдса установка водоотводов не оказывает влияния на величину потерь.

После преобразование получим зависимость:

$$\lambda_{\Pi} = 2,26 \frac{\lambda_0}{Re^{0,23}}. \quad (42)$$

Коэффициент отсоединения потока находится в границах $0,66 < a_{от} < 0,87$.

Результаты опытов представлены в таблице.

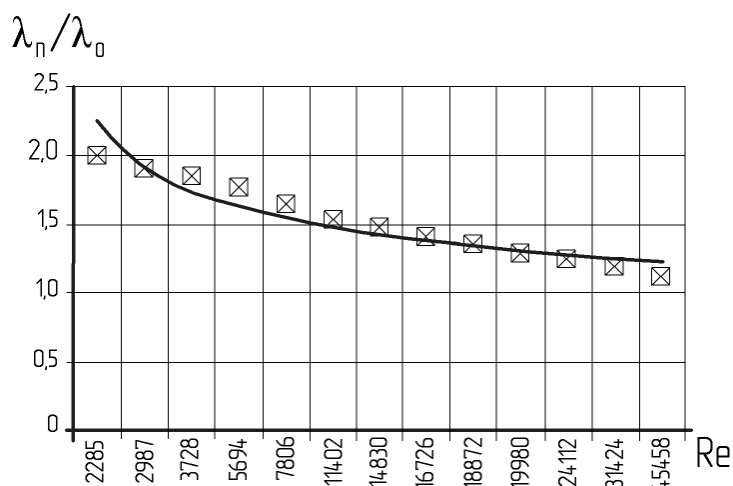


Рис. 3. Зависимость отношения λ_{Π}/λ_0 от Re : $\lambda_{\Pi}/\lambda_0 = 2,26 Re^{-0,23}$, $R^2 = 0,889$

$\ell_{\text{отв}}$	$Q_{\text{п}}, \text{ л/с}$	$d_{\text{трубопр}}$	$d_{\text{отв}}$	$Q_{\text{тр}}, \text{ л/с}$	Re	Экспериментальные значения	Расчетные значения	% откл.
0,25	7,8	48	10	39	14257	1,4	1,42	1,4
	31,6	60	20	151,6	17821	1,9	1,88	1,0
	62	159	24	61,56	4770	1,6	1,69	5,6
0,25	1,9	60	5	12,2	1852	0,8	0,76	5
	20	60	16	98	15621	1,6	1,55	3,1
	5	60	8	40,3	22101	1,3	1,28	1,5
0,5	3,9	48	10	17,2	13556	0,9	0,95	5,5
	15,6	60	20	62,4	14267	1,5	1,56	4
	30	159	24	280	46225	2,1	2,2	4,7
0,5	0,96	60	5	5,6	19885	0,6	0,63	5
	10	60	16	160,2	17523	1,9	1,88	1
	2,4	60	8	12,6	18665	0,8	0,84	5
1	1,9	48	5	9,5	13557	0,6	0,63	5
	7,8	60	20	31,2	16425	1,1	1,06	3,6
	15,4	159	24	154	42556	2,1	2,22	5,7
1	0,48	60	5	2,4	13823	0,4	0,42	5
	5	60	16	20,1	14558	0,9	0,91	1,1
	1,2	60	8	27,2	17533	1,2	1,25	4,1

Заключение. Расчеты по предлагаемой методике и экспериментальные результаты показали хорошее совпадение.

Проведенные исследования подтвердили правомерность применения для расчетов трубопровода дождевальных машин метода расчета с равномерного отсоединения расхода с учетом параметра дискретности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтшуль А.Д. Гидравлические потери на трение в трубопроводах. М.; Л., 1985. 256 с.
2. Губер К. В. Ресурсосберегающие технологии и конструкции оросительных систем при дождевании: дис. д-ра техн. наук. М., 2000. 518 с.
3. Есин А.И., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. Исследования характеристик потока воды в водопроводящем поясе дождевальной машины // Научная жизнь. 2018. № 2. С. 16–25.
4. Есин А.И., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. Математическое моделирование водопроводящего пояса дождевальных машин // Научная жизнь. 2017. № 9. С. 20–28.
5. Затицкий С.В., Колганов Д.А. Гидравлическая модель работы модифицированной ДМ «Фрегат» с возможностью движения без полива // Научное обозрение. 2017. № 6. С. 20–27.
6. Исаев А.П. Гидравлика дождевальных машин. М., 1973. 214 с.
7. Маккавеев, В.М., Коновалов И.М. Гидравлика. М.; Л., 1940. 643 с.
8. Петров Г.А. Гидравлика переменной массы. Харьков, 1964. 224 с.
9. Снопич Ю.Ф. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств орошения дождеванием: дис. д-ра техн. наук. Новочеркасск, 2011. 340 с.
10. Федорец А.А. Теоретические основы и методика гидравлического расчета закрытой сети мелиоративных систем с переменным расходом жидкости. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1993. 305 с.





11. Bazarov D.R., Mavlyanova D.A. Numerical studies of long-wave processes in the reaches of hydrosystems and reservoir Magazine of Civil Engineering. 2019; 87(3) P. 123–135. DOI:10.18720/MCE.87.10.
12. Ikramov N., Kan E., Mirzoev M., Majidov T. Effect of parallel connection of pumping units on operating costs of pumping station E3S Web of Conferences. 2019. 97 05014.
13. Azizov O., Bekchanov F., Gazaryan A., Shomayramov M., Ismailov N. Diagnostic O tests of vertical pumps modernized pump stations International Scientific IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020; 883 (2020): 01203.
14. Kan E., Mukhammadiev M., Ikramov N. Methods of regulating the work of units at irrigation pumping stations // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 869: 042009.
15. Keller R. Investigation of sever water hammer in large pump station - Case study // Proceedings of the Pipelines Conference. 2014. P. 1392–1401.
16. Skvortsov A. A., Zhuravleva L.A. Theoretical Foundations of Water-Conducting Belt Design for Wide Coverage Sprinklers Using Numerical Simulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 994 (2020) 012007 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/994/1/012007.
17. Zhuravleva L.A., Fedyunina T.V., Evsyukova L.Yu., Rusinov A.V., Kolganov D.A., Pototskaya L.N. Features of Investing in reconstruction of Reclamation Objects by the Example of Irrigation systems of the Saratov Region // RevistaSanGregorio. 30/05/2020 ISSN 1390-7247. e-ISSN 2528-7907.

REFERENCES

1. Altshul A.D. Hydraulic friction losses in pipelines. Moscow; Leningrad, 1985. 256 p. (In Russ.)
2. Guber K. V. Resource-saving technologies and designs of irrigation systems during sprinkling. Moscow, 2000. 518 p.
3. Esin A.I., Soloviev D.A., Zhuravleva L.A. Investigation of the characteristics of the water flow in the water-carrying belt of a sprinkler machine. *Scientific life*. 2018; 2: 16–25.
4. Esin A.I., Soloviev D.A., Zhuravleva L.A. Mathematical modeling of the water-conducting belt of sprinkling machines. *Scientific life*. 2017; 9: 20-28.
5. Zatinatsky S.V., Kolganov D.A. Hydraulic model of the modified DM “Fregat” with the possibility of movement without irrigation. *Scientific Review*. 2017; 6: 20–27.
6. Isaev A.P. Sprinkler hydraulics. Moscow, 1973. 214 p.
7. Makkaveev, V.M., Konovalov, I.M. Hydraulics. Moscow; Leningrad, 1940. 643 p.
8. Petrov G.A. Variable mass hydraulics. Kharkov, 1964. 224 p.
9. Snipich Yu.F. Intensification of technologies and improvement of technical means of irrigation by sprinkling. Novochoerkassk, 2011. 340 p.
10. Fedorets A.A. Theoretical foundations and methods of hydraulic calculation of a closed network of reclamation systems with variable fluid flow. Moscow, 1993. 305 p.
11. Bazarov D. R., Mavlyanova D. A. Numerical studies of long-wave processes in the reaches of hydrosystems and reservoir Magazine of Civil Engineering. 2019; 87(3): 123–135. DOI:10.18720/MCE.87.10.
12. Ikramov N., Kan E., Mirzoev M., Majidov T. Effect of parallel connection of pumping units on operating costs of pumping station E3S Web of Conferences. 2019: 97 05014.
13. Azizov O., Bekchanov F., Gazaryan A., Shomayramov M., Ismailov N. Diagnostic O tests of vertical pumps modernized pump stations. *International Scientific IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 883 (2020): 01203.
14. Kan E., Mukhammadiev M., Ikramov N. Methods of regulating the work of units at irrigation pumping stations. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 869:042009.
15. Keller R. Investigation of sever water hammer in large pump station - Case study. *Proceedings of the Pipelines Conference*. 2014: 1392-1401.
16. Skvortsov A. A., Zhuravleva L. A. Theoretical Foundations of Water-Conducting Belt Design for Wide Coverage Sprinklers Using Numerical Simulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 994: 012007 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/994/1/012007.
17. Zhuravleva L.A., Fedyunina T.V., Evsyukova L.Yu., Rusinov A.V., Kolganov D.A., Pototskaya L.N. Features of Investing in reconstruction of Reclamation Objects by the Example of Irrigation systems of the Saratov Region. *RevistaSanGregorio*. 2020; May 30, ISSN 1390-7247. e-ISSN 2528-7907.

Статья поступила в редакцию 2.05.2022; одобрена после рецензирования 22.05.2022; принята к публикации 12.06.2022.

The article was submitted 2.05.2022; approved after reviewing 22.05.2022; accepted for publication 12.06.2022.