

6. Mel'nikov, S.V. Planirovanie jeksperimenta v issledovanijah s.-h. processov [Text] /S.V. Mel'nikov, V.R. Aleshkin, P.M. Roshhin. – L.: Kolos, 1980. – 168 p.
7. Novaja tehnologija pererabotki semjan gorchicy [Text] : monografija / G.G. Rusakova, A.V. Dem'janov, N.M. Antonov, D.V. Parahnevich, E.D. Parahnevich, M.M. Rusakova, L.V. Mazina. – Volgograd: Volgogradskij GAU, 2014. – 140 p.
8. Romankov P.G., Kurochkina M.I. Jekstragirovanie iz tverdyh materialov [Text] /P.G. Romankov, M.I. Kurochkina. – L.: Himija, 1983. – 256p.
9. Rumshanskij, L.Z. Matematicheskaja obrabotka rezul'tatov jeksperimenta. Spravochnoe rukovodstvo [Text]/L.Z. Rumshanskij. – M., 1971. – 192 s.
10. Clark M. Drop breakup in a turbulent flow.I. Conceptual and modelling considerations // Chem. Engng. Sci. 1988. V. 43, N 3. p. 671–679.
11. Crosier H.E., Brownell L.E. Washing in porous media // Ind. Eng. Chem. 1952. V. 44, N 3. P. 631–635.
12. Davies J.T. A physical interpretation of drop sizes in homogenizers and agitated tanks, including the dispersion of viscous oils // Chem. Engng. Sci. 1987. V. 42, N 7. P. 1671–1676.
13. Ldde K.H. Die Turboextraction. Ein neus Verfahren zur schnellen Herstellung von Tincturen // Pharm. Z.Verein. Apot. Ztg. 1961. V. 106. P. 1092–1094.
14. Hinze J.O. Fundamentals of the hydrodynamic mechanism of splitting in dispersion processes // A. I. Ch. E. J. 1955. N 1. P. 289–295.
15. Olszewski L., Dylag A. Anwendung der Zentrifugalkraft zur Extraction von phlanzlichen Rohproducten // Diss. pharm. 1962. Bd. 14. S. 89–97.
16. Piret E.L., Ebel R.A., Kiang C.T., Armstrong W.P. Diffusion rates in extraction of porous solids. II. Two-phase extractions // Chem. Eng. Prog. 1951. V. 47, № 12. P. 628–636.
17. Rosen J.B. Kinetics of a fixed bed system for solids diffusion into spherical particles // J. Chem. Phys. 1952. V. 20, N 3. P. 387–394.
18. Rosen J.B. General numerical solution for solid diffusion in fixed beds // Ind. Eng. Chem. 1954. V. 46, № 8. P. 1590–1594.
19. Wang C.Y., Calabrese R.W. Drop breakup in turbulent stirred tank contractors // A. I. Ch. J. 1986. V. 32. P. 667–674.

E-mail: linapar@yandex.ru

УДК 626.823:532.543:681.586.0012

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ ПО МЕТОДУ «УКЛОН – ПЛОЩАДЬ»
НА ОТКРЫТОМ КАНАЛЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

**RESULTS OF RESEARCH ON THE OPEN CANAL IRRIGATION SYSTEM
OF THE MEASURING COMPLEX FOR DEFINITIONS OF THE CONSUMPTION
OF WATER BY «SLOPE-AREA» METHOD**

М. В. Вайнберг, *научный сотрудник*

*Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации,
Ростовская область, г. Новочеркасск*

M. V. Vaynberg

Russian Research Institute of Land Improvement Problems

Целью работы являлось исследование измерительного комплекса, работающего по методу «уклон-площадь», и сравнение его с основным методом измерения расхода воды на открытых каналах оросительных систем – «скорость-площадь». Для получения опытных данных были произведены замеры гидравлических элементов и рассчитан уклон и расход воды с помощью тарированного трубчатого сопрягающего сооружения. По результатам полевых исследований измерительного комплекса, на участке канала в земляном русле, с длиной $L = 147$ м, максимальная относительная погрешность измерения расхода воды составила $\delta Q_{max} = 2,9$ %

против $\delta Q_{max} = 4,8 \%$, полученной методом «скорость – площадь». На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что разработанный измерительный комплекс для определения расхода воды по предложенному способу (погрешность измерения составляет $\pm 0,001$ м) дает возможность его использования в работах научно-исследовательского характера, а также на открытых каналах оросительных систем для организации автоматизированного водоучета.

The objective of work was research of the measuring complex working by the «slope-area» method and his comparison with the main method of measurement of a consumption of water on open channels of irrigating systems – «speed-area». For experimental data measurements of hydraulic elements and the slope is calculated and the flow of water via a torque tube mating structures. By results of field researches of a measuring complex on a site of the canal in the earth course, with length of $L = 147$ m, the maximum relative error of measurement of a consumption of water has made $\delta Q_{max} = 2.9\%$ against $\delta Q_{max} = 4.8\%$. On the basis of the obtained data it is possible to draw a conclusion that the developed measuring complex for definition of a consumption of water on the offered way (the error of measurement makes ± 0.001 m) gives the chance of his use in works of research character, and also on open channels of irrigating systems for the organization of the automated water account.

Ключевые слова: метод «уклон – площадь», метод «скорость – площадь», трубчатое сопрягающее сооружение, расход воды, измерительный комплекс, оросительная система, канал.

Key words: «slope-area» method, «speed –area» method, conjugating the tubular structure, water discharge, measuring complex, irrigation system, canal.

Введение. Для водоучета в открытых каналах оросительных систем уровень воды (перепад уровней) является основополагающим параметром для определения расхода воды. Современный арсенал средств измерения уровня воды включает как простейшие уровнемерные устройства, например, гидрометрические рейки, так и высокоточные автоматизированные измерительные приборы и датчики.

Методы измерения уровней воды достаточно отработаны. Отечественная и зарубежная практика применения уровнемерных устройств предполагает два основных метода измерения уровней. В первом случае уровнемерное устройство размещается в водном потоке, во втором – в успокоительном колодце. Второй метод является основным и предполагает размещение уровнемерных устройств в успокоительном колодце, соединенном с открытым каналом при помощи водовода [1, 3, 5, 10].

Создание измерительных комплексов на основе серийно выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью контроллеров, датчиков и приборов водоучета и водоизмерения на гидромелиоративных объектах оросительных систем, экономически выгодно, а с технической точки зрения наиболее целесообразно в случаях организации автоматизированного водоучета [4, 7].

Материалы и методы. В настоящее время для измерения расхода воды в открытых каналах оросительных систем широко применяются косвенные методы измерения. В соответствии с ГОСТ Р 51657.2-2000 (п. 5.2.2), одним из применяемых в настоящее время методов косвенных измерений расхода воды является метод «уклон – площадь» [2], который обеспечивает возможность определения расхода воды при наличии подпорно-переменного режима, при интенсивных русловых деформациях, при резко выраженном неустановившемся течении в русле.

Нами предлагается способ определения расхода воды на открытом канале оросительной сети по методу «уклон – площадь» [8, 9], позволяющий повысить точность измерения уклона водной поверхности и расхода воды.

Способ реализуется следующим образом: из измерительного участка канала по соединительным трубам вода поступает в успокоительные колодцы в верхнем и нижнем гидрометрических створах. Когда течение воды установится, в успокоительных колодцах

датчиками уровня воды будут непрерывно регистрироваться уровни воды с заданным интервалом, и с помощью средств дистанционной передачи информация будет передаваться на пункт диспетчера, оснащенный средствами ее обработки и вычисления расхода. По полученным данным и при известных параметрах измерительного участка канала (расстояние между сечениями верхнего и нижнего гидрометрического створа $l_{\text{ств}}$, уклон дна канала i_0 , коэффициент шероховатости канала n , ширина канала по дну b , коэффициент заложения откосов m и т. д.) вычисляется искомый расход (рисунок 1).

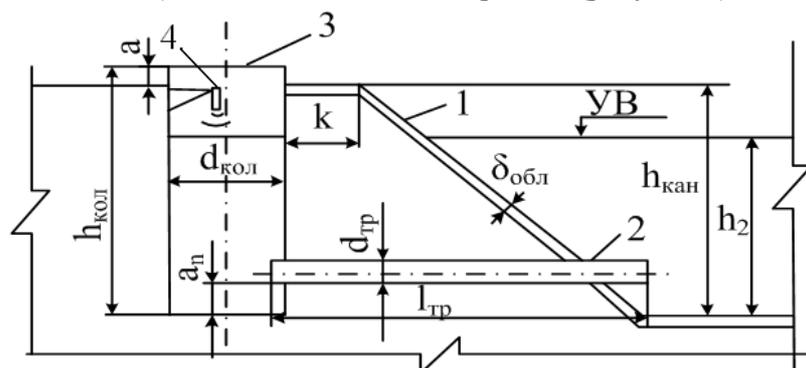


Рисунок 1 – Схема соединения успокоительного колодца с измерительным створом канала: 1 – измерительный канал; 2 – соединительный трубопровод; 3 – уровнемерный колодец; 4 – датчик уровня воды; $\delta_{\text{обл}}$ – слой облицовочного бетона; $l_{\text{ств}}$ – расстояние между створами; k – расстояние между колодцем и бровкой канала; $l_{\text{тр}}$ – длина трубопровода; h_2 – глубина водного потока; $h_{\text{кол}}$ – диаметр колодца; $h_{\text{кан}}$ – строительная глубина канала; $d_{\text{кол}}$ – диаметр колодца; $d_{\text{тр}}$ – диаметр трубопровода; a_n – расстояние между дном канала и нижней точкой трубопровода

Сбор и передача данных осуществляется посредством измерительного комплекса, работающего по предложенному способу. Комплектация измерительного комплекса приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Комплектация измерительного комплекса

Наименование	Назначение	Параметры	Кол-во
Базовый контроллер Smart I/O	Управление измерительным комплексом		1
Периферийный модуль SM-ADC1	Преобразование сигналов датчиков уровня	От 4 до 20 мА	1
Периферийный модуль SM-DOU1	Управление охранной сигнализацией	24 В 300 мА	1
Реле типа РЭС 34		24 В	1
Датчик уровня HONEYWELL	Контроль уровня воды в каналах	Питание датчика от 10 до 30 В	2
Модем TBMOD Fastwel	Согласование сигналов объектов связи		2

Целью проведения полевых исследований являлась проверка метрологических характеристик измерительного комплекса для определения расхода воды по предлагаемому способу.

Для проведения исследований был выбран открытый канал Р-3 на ПК 243+80, расположенный на границе республики Калмыкия и Волгоградской области, на котором выбран измерительный участок в земляном русле. Опыты сводились к измерению

расхода воды на данном участке методом «скорость – площадь» и «уклон – площадь». За эталонный расход воды принимался расход, определяемый с помощью тарифованного трубчатого сопрягающего сооружения. Опыты сводились к пропуску различных расходов воды через измерительный участок [6].

Проводились измерения перепада свободной поверхности воды Δh , а также глубины живого потока в верхнем и нижнем гидрометрических створах. Расчеты проводились с использованием Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. Изначально был выбран продольный участок длиной $L = 100$ м и произведены замеры гидравлических элементов. Результаты представлены в таблице 2 и на рисунках 2-3.

Таблица 2 – Расчет гидравлических элементов по данным опыта на участке длиной $L=100$ м

$Q_{\text{тгс}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{\text{ск.-пл.}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{\text{укл.-пл.}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$h_1, \text{ м}$	$h_2, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	$R, \text{ м}$	$C, \text{ м}^{0,5}/\text{с}$	n
17,22	18,17	17,63	2,089	2,084	44,24	1,68	39,70	0,028
12,48	13,38	12,92	1,753	1,749	35,95	1,45	38,56	0,028
10,63	11,29	11,19	1,617	1,613	32,71	1,35	38,03	0,028
8,67	9,36	9,10	1,437	1,434	28,56	1,22	37,24	0,028
7,93	8,40	8,09	1,344	1,339	26,47	1,15	36,79	0,028
6,67	7,19	7,04	1,242	1,239	24,20	1,07	36,25	0,028
10,03	10,98	10,40	1,551	1,548	31,18	1,30	37,75	0,028
13,83	14,77	14,13	1,845	1,840	38,17	1,51	38,89	0,028
14,75	15,58	15,16	1,918	1,913	39,96	1,56	39,15	0,028
15,39	16,69	16,12	1,986	1,983	41,65	1,61	39,38	0,028

Примечание – $Q_{\text{тгс}}$ – расход воды, измеренный с помощью тарифованного трубчатого сопрягающего сооружения; $Q_{\text{ск.-пл.}}$ – расход воды, измеренный методом «скорость – площадь»; $Q_{\text{укл.-пл.}}$ – расход воды, измеренный измерительным комплексом по методу «уклон – площадь»; h_1 – глубина потока в верхнем гидрометрическом створе; h_2 – глубина потока в нижнем гидрометрическом створе; ω – площадь живого сечения потока; R – гидравлический радиус; C – коэффициент Шези; n – коэффициент шероховатости.

По результатам полевых исследований измерительного комплекса на участке канала в земляном русле, максимальная относительная погрешность измерения расхода воды по методу «уклон–площадь», по сравнению с тарифованным сооружением, на ПК 243+80 составила $\delta Q_{\text{max}} = 5,3 \%$ и $9,6 \%$ методом «скорость–площадь». Полученные результаты не удовлетворяют поставленной цели, поэтому для достижения наилучшего результата мы увеличивали расстояние L каждый раз на 20 м, пока максимальная относительная погрешность начала изменяться в небольших пределах. Поэтому для определения оптимальной длины измерительного участка нами была составлена сводная таблица погрешностей расхода воды по отношению к длине участка (таблица 3). Построен график результатов определения погрешности расхода воды по отношению к длине участка (рисунок 4).

Таблица 3 – Результаты определения максимальной погрешности расхода воды по отношению к длине участка

$L, \text{ м}$	100	120	140	160	180	200	220	240
$\delta Q_{\text{ск.-пл.}}, \%$	9,6	8,6	7,1	4,9	5,1	4,9	4,9	4,8
$\delta Q_{\text{укл.-пл.}}, \%$	5,3	3,7	2,8	2,9	2,95	2,85	2,8	2,9

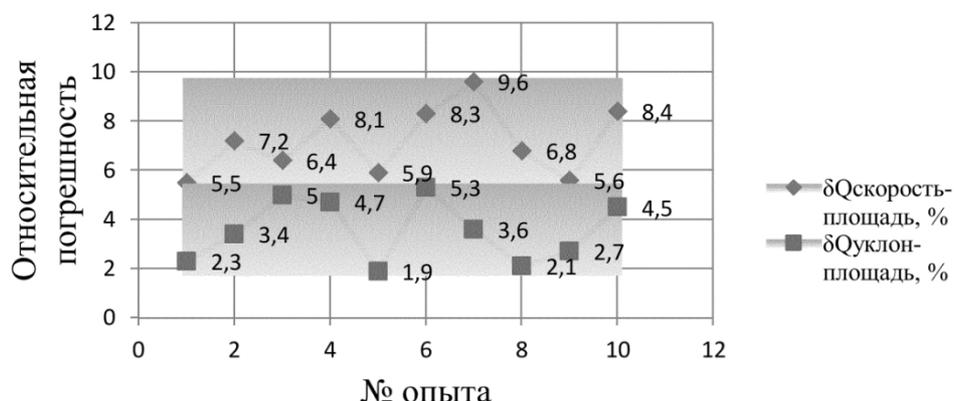


Рисунок 2 – График погрешностей измерения расхода воды по методам «скорость – площадь» и «уклон – площадь» на участке длиной $L = 100$ м

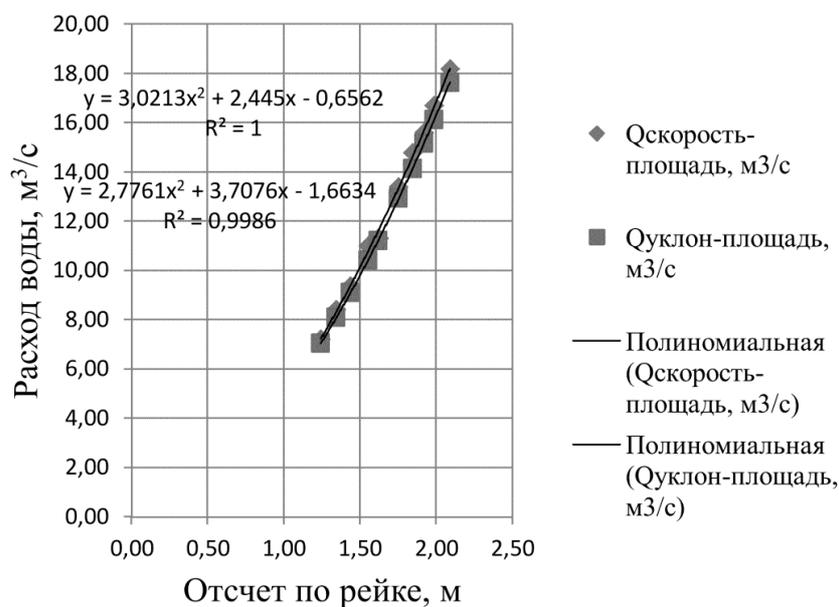


Рисунок 3 – Расходная характеристика канала Р-3 на ПК 243+80 по методам «уклон – площадь» и «скорость – площадь» на участке длиной $L = 100$ м

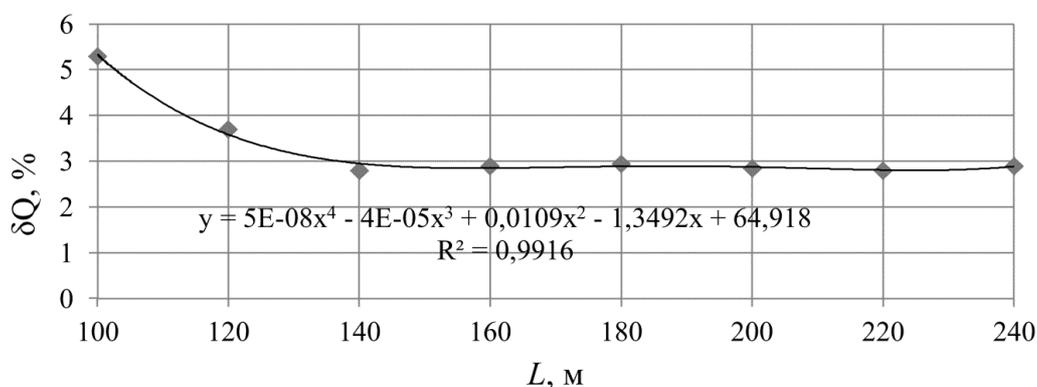


Рисунок 4 – Результаты определения погрешности расхода воды по методу «уклон – площадь» по отношению к длине участка

По графику видно, что минимально допустимая длина для определения расхода воды по методу «уклон – площадь» на участке канала в земляном русле составляет $L = 147$ м с величиной аппроксимации $R^2 = 0,9916$.

По результатам полевых исследований измерительного комплекса на участке канала в земляном русле, с оптимальной длиной $L = 147$ м, максимальная относительная погрешность измерения расхода воды, по сравнению с тарифованным ГТС, составила $\delta Q_{max} = 2,9$ % против 4,8 % методом «скорость–площадь».

Заключение. На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

- полученные зависимости погрешности определения расхода воды от расстояния между измерительными створами позволили определить минимально допустимое расстояние для канала в земляном русле, которое составило $L = 147$ м;
- по результатам полевых исследований измерительного комплекса для определения расхода воды по предложенному способу, на участке канала в земляном русле, с длиной $L = 147$ м, максимальная относительная погрешность измерения расхода воды составила $\delta Q_{max} = 2,9$ % против $\delta Q_{max} = 4,8$ %, полученной методом «скорость – площадь»;
- разработанный измерительный комплекс для определения расхода воды по предложенному способу (погрешность измерения составляет $\pm 0,001$ м) дает возможность его использования в работах научно-исследовательского характера, а также на открытых каналах оросительных систем для организации автоматизированного водоучета.

Библиографический список

1. Бочкарев, В. Я. Новые технологии и средства измерений, методы организации водоучета на оросительных системах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rosniipm.ru/izdan/2012/bochkarew.pdf>, 2016 г.
2. ГОСТ Р 51657.2-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Методы измерения расхода и объема воды. Классификация [Текст]. – Введ. 2001-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 42 с.
3. Гусев, А. А. Гидравлика. Теория и практика [Текст]: учебник для вузов / А. А. Гусев. – 2-е изд., исправленное и дополненное. – М.: Изд-во Юрайт, 2015. – 285 с.
4. Клишин, В. Т. Коммерческий водоучет на открытых каналах оросительных систем [Текст] / В. Т. Клишин, А. Е. Ивахненко // Современные проблемы мелиорации земель, пути и методы их решения: сб. науч. тр. ФГНУ «РосНИИПМ» / Под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск, 2005. – С. 82-87.
5. Масумов, Р. Р. Методы измерения расхода воды на реках и каналах, в напорных трубопроводах насосных станций и оросительных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cawater-info.net/library/watlib.htm>, 2016.
6. МИ 1759-87. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость–площадь» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://hydraulics.at.ua/load/mi_1759_87_raskhod_vody_na_rekakh_i_kah_alakt_metodika_vypolnenija_izmerenij_metodom_skorostploshad, 2016.
7. Пахомов, А. А. Перспективные средства водоучета [Текст] / А. А. Пахомов, Н. А. Колобанова, А. М. Салдаев // Новые направления в решении проблем в АПК на основе современных ресурсосберегающих, инновационных технологий: материалы межд. науч.-практ. конференции, посв. 65-летию Победы в ВОВ. – Волгоград, 2010. – Т. 1. – С. 362-366.
8. Способ определения расхода воды на открытых каналах оросительных систем по методу «уклон–площадь» [Текст] : пат. 2572068 Рос. Федерация: G01F 1/00 / В. Н. Щедрин, А. А. Чураев, М. В. Вайнберг; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации». – № 2014128423; заявл. 10.07.2014; опубл. 27.12.2015. – 4 с.

9. Щедрин, В. Н. Совершенствование способов определения расхода воды в открытых мелиоративных каналах [Электронный ресурс] / В. Н. Щедрин, М. В. Вайнберг, А. А. Чураев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – № 1(21). – 20 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=388&id=389>.

10. Boiten W. Hudrometry / W. Boiten. – Wageningen: Agricultural University, 1986. – 214 p.

Reference

1. Bochkarev, V. Ja. Novye tehnologii i sredstva izmereniy, metody organizacii vodoucheta na orositel'nyh sistemah [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.rosniipm.ru/izdan/2012/bochkarew.pdf>, 2016 g.

2. GOST R 51657.2-2000. Vodouchet na gidromeliorativnyh i vo-dohozyaystvennyh sistemah. Metody izmereniya rashoda i ob#ema vody. Klassifikaciya. – Vved. 2001-07-01. – M.: Izd-vo standartov, 2001. – 42 p.

3. Gusev, A. A. Gidravlika. Teoriya i praktika: uchebnyk dlya vuzov / A. A. Gusev. – 2-e izd., ispravlennoe i dopolnennoe. – M.: Izd-vo Jurayt, 2015. – 285 p.

4. Klishin, V. T. Kommercheskiy vodouchet na otkrytyh kanalah orositel'nyh sistem / V. T. Klishin, A. E. Ivahnenko // Sovremennye problemy melioracii zemel', puti i metody ih resheniya: sb. nauch. tr. FGNU «RosNIIPM» / pod red. V. N. Shhedrina. – Novocherkassk, 2005. – P. 82-87.

5. Masumov, R. R. Metody izmereniya rashoda vody na rekah i kanalah, v napornyh truboprovodah nasosnyh stanciy i orositel'nyh sistem [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.cawater-info.net/library/watlib.htm>, 2016.

6. MI 1759-87. Rashod vody na rekah i kanalah. Metodika vypolneniya izmereniy metodom «skorost'-ploshhad» [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: http://hydraulics.at.ua/load/mi_1759_87_raskhod_vody_na_rekakh_i_kah_alakt_metodika_vypolnenija_izmerenij_metodom_skorostploshad, 2016.

7. Pahomov, A. A. Perspektivnye sredstva vodoucheta [Tekst] / A. A. Pahomov, N. A. Kolobanova, A. M. Saldaev // Novye napravleniya v reshenii problem v APK na osnove sovremennyh resursosberegayushhih, innovacionnyh tehnologiy. Materily mezhd. Nauch.-prakt. Konferencii, posv. 65-letiju Pobedy v VOV. – Volgograd, 2010. – T. 1. – P. 362-366.

8. Sposob opredeleniya rashoda vody na otkrytyh kanalah orositel'nyh sistem po metodu «uklon-ploshhad»: pat. 2572068 Ros. Federaciya: G01F 1/00 / V. N. Shhedrin, A. A. Churaev, M. V. Vaynberg; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie «Rossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut problem melioracii». – № 2014128423; zayavl. 10.07.2014; opubl. 27.12.2015. – 4 p.

9. Shhedrin, V. N. Sovershenstvovanie sposobov opredeleniya rashoda vody v otkrytyh meliorativnyh kanalah [Jelektronnyj resurs] / V. N. Shhedrin, M. V. Vaynberg, A. A. Churaev // Nauchnyj zhurnal Rossiyskogo NII problem melioracii: jelektron. periodich. izd. / Ros. nauch.-issled. in-t problem melioracii. – Jelektron. zhurn. – Novocherkassk: RosNIIPM, 2016. – № 1(21). – 20 p. – Rezhim dostupa: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=388&id=389>.

10. Boiten W. Hudrometry / W. Boiten. – Wageningen: Agricultural University, 1986. – 214 p.

E-mail: masha.vainberg@yandex.ru