

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕЛИОРАТИВНО- ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Научная статья

УДК 626/627

К вопросу градуировки регулирующего гидротехнического сооружения (открытого регулятора) на мелиоративном канале

Александр Евгеньевич Шепелев¹, Любовь Васильевна Юченко²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹oamsrosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8739-8573>

²oamsrosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8372-0852>

Аннотация. Цель: показать последовательность действий градуировки открытого регулятора с затопленным истечением из-под затвора. **Материалы и методы.** Рассматривается регулирующее гидротехническое сооружение (открытый регулятор с затопленным истечением из-под затвора) на мелиоративном канале, которое используется для регулирования расходов и уровней. Используются основные этапы выполнения действий при его градуировке. **Результаты.** На основе анализа общих требований при выполнении градуировки регулирующих гидротехнических сооружений (изложенных в разработанном нормативном документе ФГБНУ «РосНИИПМ») выделены и сформулированы основные этапы выполнения действий при градуировке открытого регулятора водовыпуска с затопленным истечением из-под затвора. Последовательность сформулированных основных этапов выполнения действий при градуировке следующая: осмотр гидротехнического сооружения и ее технической документации; оснащение измерительными приборами; определение параметров отверстия и отметки порога; проверка условия затопления; организация и проведение измерений расхода воды на отводящем участке канала; определение коэффициента расхода воды; определение расходной зависимости от коэффициента расхода, перепада уровней, величины открытия затвора; построение кривой зависимости от перепада уровней; составление рабочей таблицы. В результате анализа основных этапов выполнения действий при градуировке разработан алгоритм определения объема воды, проходящей через открытый регулятор с затопленным истечением из-под затвора в зависимости от перепада уровней в верхнем и нижнем бьефах. **Выводы.** Сформулированные этапы выполнения действий при градуировке открытого регулятора с затопленным истечением из-под затвора и разработанный алгоритм определения объема воды, проходящей через открытый регулятор в зависимости от перепада уровней, будут способствовать оперативности проведения градуировки данного сооружения и организации водоучета на мелиоративной системе.

Ключевые слова: мелиоративная система, водоучет, открытый регулятор, градуировка, коэффициент расхода воды, алгоритм

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения» (г. Новочеркасск, 11 октября 2024 г.).

Для цитирования: Шепелев А. Е., Юченко Л. В. К вопросу градуировки регулирующего гидротехнического сооружения (открытого регулятора) на мелиоративном канале // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 94, № 3. С. 139–150.

MODERN PROBLEMS OF THE RECLAMATION AND WATER MANAGEMENT COMPLEX AND WAYS TO SOLUTION THEM

Original article

On issue of regulating waterworks (open regulator) calibration on a reclamation canal

Aleksander Ye. Shepelev¹, Lyubov V. Yuchenko²

^{1, 2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹oamsrosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8739-8573>

²oamsrosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8372-0852>

Abstract. Purpose: to show the sequence of actions for calibration of an open regulator with a flooded outflow from under the gate. **Materials and methods.** The regulating hydraulic structure (an open regulator with a flooded outflow from under the gate) on a drainage canal, which is used to regulate flow rates and levels is considered. The main stages of performing actions during its calibration are used. **Results.** Based on the analysis of general requirements for performing calibration of regulating waterworks (set out in the developed regulatory document of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems), the main stages of performing actions during calibration of an open water outlet regulator with a flooded outflow from under the gate are identified and formulated. The sequence of the formulated main stages of performing actions during calibration is as follows: inspection of the waterworks and its technical documentation; equipping with measuring instruments; determining the parameters of the opening and the sill mark; checking the flooding conditions; organizing and conducting water flow measurements on the diversion section of the canal; determining the water flow coefficient; determining the flow dependence on the flow coefficient, level difference, and gate opening value; plotting a curve of dependence on the level difference; compiling a worksheet. As a result of the analysis of the main stages of performing actions during calibration, an algorithm for determining the volume of water passing through an open regulator with a flooded outflow from under the gate depending on the level difference in the upper and lower pools was developed. **Conclusions.** The formulated stages of performing actions during calibration of an open regulator with a flooded outflow from under the gate and the developed algorithm for determining the volume of water passing through an open regulator depending on the level difference will contribute to the efficiency of calibration of this structure and the organization of water metering on reclamation system.

Keywords: reclamation system, water metering, open regulator, calibration, water flow coefficient, algorithm

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “Modern Problems of Land Reclamation and Water Industrial Complex and Ways to Solve Them” (Novocherkassk, October 11, 2024).

For citation: Shepelev A. Ye., Yuchenko L. V. On issue of regulating waterworks (open regulator) calibration on a reclamation canal. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2024;94(3):139–150. (In Russ.).

Введение. В настоящее время все больше внимания уделяется техническому нормированию и стандартизации гидротехнических сооружений, используемых для измерения расхода воды на мелиоративных систе-

мах. Регулируемые гидротехнические сооружения применяются как водомерные устройства при комплексном использовании водных ресурсов, водораспределении на оросительных системах, контроле сбросных и сточных вод в водные источники и т. д. Как известно, приспособление гидротехнических сооружений для учета воды и его регулирования осуществляется с помощью его градуировки [1]. Согласно федеральным законам «О техническом регулировании»¹ и «О стандартизации в Российской Федерации»² пересматривается существующая нормативно-техническая база по водоучету с целью ее дальнейшего расширения и совершенствования. В ФГБНУ «РосНИИПМ» разработан проект национального стандарта, который определяет общие требования для организации и проведения градуировки регулирующих гидротехнических сооружений на каналах оросительных систем с истечением воды из-под затвора. Цель настоящей статьи: рассмотреть последовательность действий градуировки открытого регулятора с затопленным истечением из-под затвора.

Материалы и методы. Для измерения расхода воды на мелиоративных системах используют регулирующие гидротехнические сооружения, которые прошли процесс градуировки и получили свидетельство о метрологической аттестации [2, 3]. Их применяют как водомерные сооружения наряду с расходомерными приставками, водосливами, лотками, порогами и др. [4]. В результате градуировки должны быть получены зависимости расхода воды от переменных параметров в виде формул, графика и таблицы координат для оперативного контроля, регулирования, учета оросительной или сбросной воды [5]. Градуировка может осуществляться мето-

¹О техническом регулировании [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 27 дек. 2002 г. № 184-ФЗ (с изм. на 2 июля 2021 г.): принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 15 дек. 2002 г.: одобрен Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 18 дек. 2002 г. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

²О стандартизации в Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 19 июня 2015 г.: одобрен Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 24 июня 2015 г. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=393371> (дата обращения: 26.09.2024).

дом «скорость – площадь» с помощью гидрометрических вертушек или ультразвуковых приборов. Известна «Методика выполнения измерений по градуировке гидротехнических сооружений на каналах оросительных систем: МВИ 33 БО-01-85»³. По типу конструкции регулирующие ГТС могут быть открытые или трубчатые. По типу установленного затвора – плоские вертикальные, плоские наклонные, сегментные. Регулирующие гидротехнические сооружения могут иметь свободный режим истечения или затопленный, а также один или несколько пролетов. Схема классификации регулирующих гидротехнических сооружений на мелиоративных каналах представлена на рисунке 1.

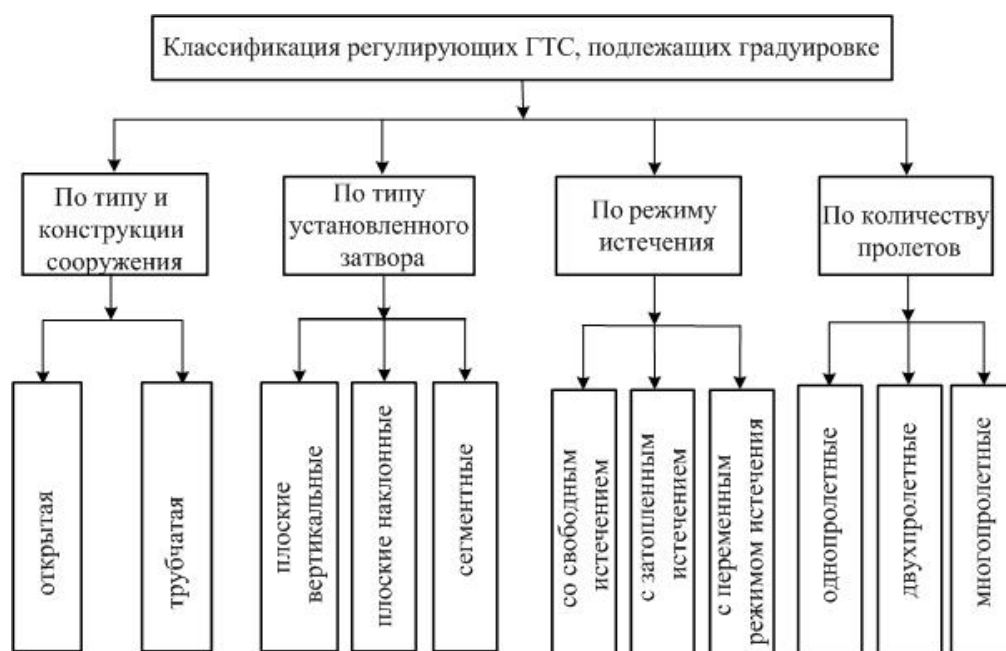
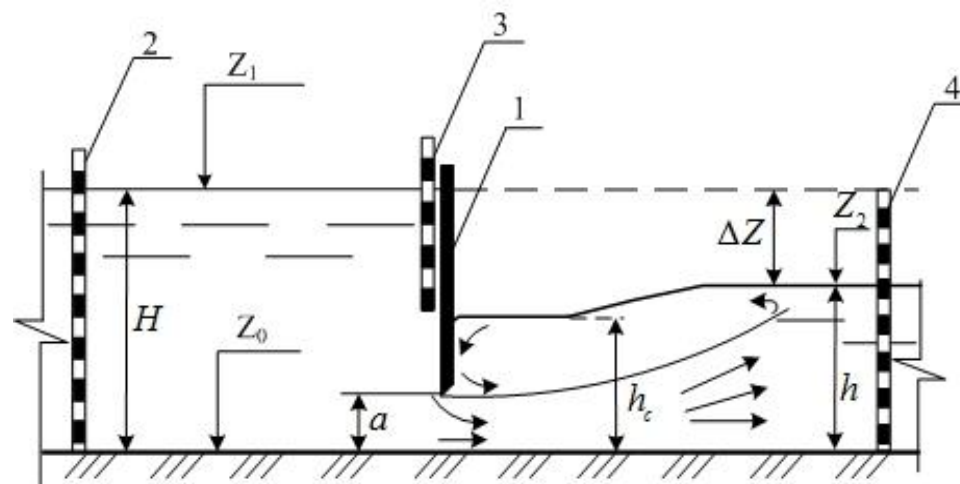


Рисунок 1 – Схема классификации регулирующих гидротехнических сооружений на мелиоративных каналах

Figure 1 – Classification scheme of regulating waterworks on reclamation canals

Результаты и обсуждение. Схема рассматриваемого регулирующего гидротехнического сооружения в виде открытого регулятора с затопленным истечением из-под затвора размещена на рисунке 2.

³Методика выполнения измерений по градуировке гидротехнических сооружений на каналах оросительных систем: МВИ 33 БО-01-85: утв. Базовой организацией метрологической службы М-ва мелиорации и водного хозяйства СССР 05.11.85. Ташкент: САНИИРИ, 1986. 63 с.



1 – плоский вертикальный затвор; 2 – уровнемерная рейка в верхнем бьефе; 3 – уровнемерная рейка для определения высоты открытия затвора; 4 – уровнемерная рейка в нижнем бьефе; Z_0 – отметка порога, м; Z_1 – уровень воды в верхнем бьефе, м; Z_2 – уровень воды в нижнем бьефе, м; ΔZ – перепад уровней, м; H – напор воды над порогом водопропускного отверстия, м; a – высота открытия затвора, м; h – глубина воды в нижнем бьефе, м; h_c – глубина воды непосредственно за затвором, м

1 – flat vertical gate; 2 – level measuring rod in the head race; 3 – level measuring rod for determining the gate opening height; 4 – level measuring rod in the tail race; Z_0 – sill elevation, m; Z_1 – water level in the head race, m; Z_2 – water level in the tail race, m; ΔZ – level difference, m; H – water head above the culvert sill, m; a – gate opening height, m; h – water depth in the tail race, m; h_c – water depth directly behind the gate, m

Рисунок 2 – Схема открытого регулятора с затопленным истечением из-под затвора

Figure 2 – Scheme of an open regulator with a flooded outflow from under the gate

В результате анализа общих требований при выполнении градуировки регулирующих гидротехнических сооружений [6–9] выделены и сформулированы основные этапы выполнения действий при градуировке открытого регулятора с затопленным истечением из-под затвора (рисунок 2).

Основные этапы выполнения действий при градуировке открытого регулятора для эксплуатационных служб или специализированных организаций следующие:

- осмотр ГТС и ее технической документации;
- определение точек размещения средств измерений, числа контролируемых параметров, местоположения контрольного створа;
- оснащение ГТС рейками и приборами измерения;
- определение ширины отверстия затвора (b) и отметки порога (Z_0) посредством съемки ГТС (нивелировки продольных и поперечных сечений, уровня воды и привязки к реперу);
- проверка условия уровня затопления $h_c > a$ (см. рисунок 2);
- организация контрольного гидрометрического створа на отводящем участке канала для проведения измерений и определения расхода воды;
- проведение измерений расхода воды через контрольный гидрометрический створ и открытый регулятор (с применением вертушки или других приборов измерения скорости не менее 10 замеров фактических расходов (Q), соответствующих различному положению уровней воды в верхнем (Z_1) и нижнем (Z_2) бьефах сооружения);
- определение коэффициента расхода (C_m) для измеренных в натуральных условиях высоты открытия затвора (a) и перепада уровней (ΔZ) и получение градуировочной зависимости $C_m = f(a, \Delta Z)$;
- определение расходной зависимости от коэффициента расхода (C_m), перепада уровней (ΔZ), величины открытия затвора (a) по формуле:

$$Q = C_m ba \sqrt{2g\Delta Z} ; \tag{1}$$

- построение графика зависимости расхода от перепада уровней – $Q = f(\Delta Z)$. Пример составления графика зависимости расхода от перепада уровней приведен на рисунке 3;

- составление рабочей таблицы расхода (Q) от величины открытия затвора (a) и перепада уровней (ΔZ) для практического использования.

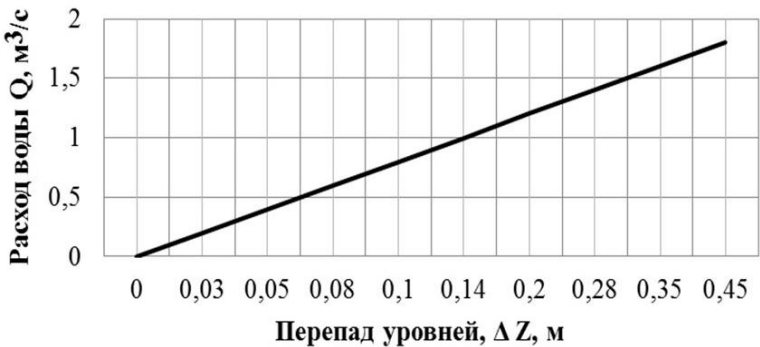


Рисунок 3 – График зависимости расхода от перепада уровней $Q = f(\Delta Z)$
Figure 3 – Graph of flow rate dependence on level difference $Q = f(\Delta Z)$

Пример составления рабочей таблицы координат для практического использования приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица координат

В м³/с

Table 1 – Coordinate table

In m³/s

Открытие затвора a , м	Расход воды при параметре ΔZ							
	0,10	0,11	0,12	...	0,50	0,52	0,54	... до ΔZ_{max}
0,10	x	x	x	...x	x	x	x	...x
0,11	x	x	x	...x	x	x	x	...x
0,12	x	x	x	...x	x	x	x	...x
...	...x	...x	...x	...x	...x	...x	...x	...x
0,50	x	x	x	...x	x	x	x	...x
0,52	x	x	x	...x	x	x	x	...x
0,54	x	x	x	...x	x	x	x	...x
... до Q_{max}	...x	...x	...x	...x	...x	...x	...x	...x
Примечание – x – расход воды, полученный при измерениях с использованием величин данных параметров: a , м, – величина открытия затвора; ΔZ , м, – перепад уровней верхнего и нижнего бьефов.								

После проведения градуировки и получения свидетельства о метрологической аттестации необходимо ежегодно выполнять проверку сооружения в начале сезона при установившемся режиме потока воды в канале в следующем порядке:

- измерение величины контролируемых параметров и определение расхода воды проверяемого гидротехнического сооружения по графику зависимости расхода от перепада уровней (рисунок 3);
- одновременное измерение расхода воды в контрольном гидрометрическом створе основным способом;
- повторение операции (не менее трех раз) для значений расхода воды в канале, отличающихся между собой более чем на 20 %;
- определение относительной погрешности по формуле (2):

$$\sigma = \pm \left(\frac{Q_n - Q_{онр}}{Q_{онр}} \right) \times 100\%, \quad (2)$$

где σ – относительная погрешность, %;

Q_n – расход воды проверяемого гидротехнического сооружения по градуировочной характеристике, м³/с;

$Q_{онр}$ – расход воды, определенный контрольным средством измерений утвержденного типа, м³/с.

Эксплуатация проверяемого сооружения разрешается при относительной погрешности не превышающей $\pm 5\%$ [10].

В результате анализа основных этапов выполнения действий при градуировке открытого регулятора с затопленным истечением из-под затвора разработан алгоритм определения расхода воды, который представлен на рисунке 4.



Z_1 – уровень воды в верхнем бьефе, м; Z_2 – уровень воды в нижнем бьефе, м;
 ΔZ – перепад уровней, м; a – высота открытия затвора, м; b – ширина отверстия затвора; Q – расход воды, м³/с; C_m – коэффициент расхода
 Z_1 – water level in the head race, m; Z_2 – water level in the tail race, m;
 ΔZ – water level difference, m; a – gate opening height, m; b – gate opening width; Q – water flow rate, m³/s; C_m – flow rate coefficient

Рисунок 4 – Алгоритм определения расхода воды через открытый регулятор с затопленным истечением из-под затвора в зависимости от перепада уровней

Figure 4 – Algorithm for determining water flow rate through an open regulator with a flooded outflow from under the gate depending on the level difference

Выводы. Открытые регуляторы с затопленным истечением из-под затвора имеют достаточную точность измерений и широко используются на открытых каналах мелиоративных систем. После проведения градуировки открытые регуляторы можно применять наряду со стандартизованными водомерными сооружениями, например гидрометрическими лотками и водосливами. Сформулированные этапы выполнения действий при градуировке открытого регулятора с затопленным истечением из-под затвора и разработанный алгоритм определения проходящего расхода воды будут способствовать оперативности проведения градуировки данного сооружения и организации водоучета на мелиоративных каналах.

Список источников

1. Филиппов Е. Г. Гидравлика гидрометрических сооружений для открытых каналов. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 288 с.
2. Натальчук М. Ф., Ольгаренко В. И., Сурин В. А. Эксплуатация гидромелиоративных систем. М.: Колос, 1995. 320 с.
3. Шепелев А. Е. Требования к организации водоучета на оросительных системах, определяющие положения нормативного документа // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. Новочеркасск, 2013. № 51. С. 123–128.
4. Шенбергер И. В., Ефименко А. В. Способы измерения расхода воды в безнапорных потоках для открытых каналов с помощью стандартных гидрометрических лотков и водосливов // Водные ресурсы и водопользование. 2019. № 1(180). С. 37–41.
5. Кушер А. М. Анализ точности численного расчета расходных характеристик гидрометрических водосливов и лотков // Гидротехническое строительство. 2020. № 4. С. 12–17.
6. Пахомов А. А., Колобанова Н. А. Автоматизированное управление процессом водоподдачи с использованием гидравлических средств регулирования // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2013. № 4(12). С. 168–178. URL: <https://www.rosniipm-sm.ru/article?n=665> (дата обращения: 01.07.2024).
7. Шкуланов Е. И., Лобанов Г. Л. Исследования стабилизаторов уровня воды для оросительных систем // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2011. № 3(03). С. 1–12. URL: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=452> (дата обращения: 01.07.2024).
8. Автоматические регуляторы для оснащения гидротехнических сооружений при орошении риса / А. С. Овчинников, Р. З. Киселева, К. М. Мелихов, А. А. Киселев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1(65). С. 342–351. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-33.
9. James C. S. Flow-measuring structures // Hydraulic Structures. 2020. P. 243–282. DOI: 10.1007/978-3-030-34086-5_7.
10. Чураев А. А., Шепелев А. Е., Юченко Л. В. Оценка работоспособности испытываемого средства водоучета в диапазоне допустимой погрешности измерений // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 1. С. 228–244. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1270> (дата обращения: 01.07.2024). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-228-244>.

References

1. Filippov E.G., 1990. *Gidravlika gidrometricheskikh sooruzheniy dlya otkrytykh kanalov* [Hydraulics of Hydrometric Structures for Open Channels]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 288 p. (In Russian).
2. Natalchuk M.F., Olgarenko V.I., Surin V.A., 1995. *Ekspluatatsiya gidromeliorativnykh sistem* [Operation of Irrigation Systems]. Moscow, Kolos Publ., 320 p. (In Russian).
3. Shepelev A.E., 2013. *Trebovaniya k organizatsii vodoucheta na orositel'nykh sistemakh, opredelyayushchie polozheniya normativnogo dokumenta* [Requirements for the organization of water metering on irrigation systems, defining the main provisions of the regulatory document]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya: sb. nauch. tr.* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: collection of articles]. Novocherkassk, no. 51, pp. 123-128. (In Russian).
4. Shenberger I.V., Efimenko A.V., 2019. *Sposoby izmereniya raskhoda vody v bez-napornykh potokakh dlya otkrytykh kanalov s pomoshch'yu standartnykh gidrometricheskikh lotkov i vodoslivov* [Methods for measuring water flow in gravity flows for open channels using standard hydrometric flumes and weirs]. *Vodnye resursy i vodopol'zovanie* [Water Resources and Water Use], no. 1(180), pp. 37-41. (In Russian).
5. Kusher A.M., 2020. *Analiz tochnosti chislennogo rascheta raskhodnykh kharakteristik gidrometricheskikh vodoslivov i lotkov* [Accuracy analysis of the numerically calculated discharge characteristics of flow-measuring weirs and flumes]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 4, pp. 12-17. (In Russian).
6. Pakhomov A.A., Kolobanova N.A., 2013. [Automated management of water supply process using hydraulic means for control]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 4(12), pp. 168-178, available: <https://www.rosniipm-sm.ru/article?n=665> [accessed 01.07.2024]. (In Russian).
7. Shkulanov E.I., Lobanov G.L., 2011. [Research of water level stabilizers for irrigation systems]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 3(03), pp. 1-12, available: <http://rosniipm-sm.ru/article?n=452> [accessed 01.07.2024]. (In Russian).
8. Ovchinnikov A.S., Kiseleva R.Z., Melikhov K.M., Kiselev A.A., 2022. *Avtomaticheskie regulatory dlya osnashcheniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy pri oroshenii risa* [Automatic regulators for equipping hydraulic structures for rice irrigation]. *Izvestiya Nizhnepovolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 1(65), pp. 342-351, DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-33. (In Russian).
9. James C.S., 2020. Flow-measuring structures. *Hydraulic Structures*, pp. 243-282, DOI: 10.1007/978-3-030-34086-5_7.
10. Churaev A.A., Shepelev A.E., Yuchenko L.V., 2022. [Performance assessment of the monitored water metering device within the range of permissible measurement error]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 1, pp. 228-244, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1270> [accessed 01.07.2024], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-228-244>. (In Russian).

Информация об авторах

А. Е. Шепелев – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, oamsrosniipm@yandex.ru, SPIN-code: 8732-0086, ORCID ID: 0000-0001-8739-8573;

Л. В. Юченко – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, oamsrosniipm@yandex.ru, SPIN-code: 6239-8960, ORCID ID: 0000-0001-8372-0852.

Information about the authors

A. Ye. Shepelev – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, oamsrosniipm@yandex.ru, SPIN-code: 8732-0086, ORCID ID: 0000-0001-8739-8573;

L. V. Yuchenko – Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, oamsrosniipm@yandex.ru, SPIN-code: 6239-8960, ORCID ID: 0000-0001-8372-0852.

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 16.09.2024; одобрена после рецензирования 22.10.2024; принята к публикации 05.11.2024.

The article was submitted 16.09.2024; approved after reviewing 22.10.2024; accepted for publication 05.11.2024.