

Обзорная статья

УДК 627.133

**К вопросу об использовании гидрометрического сооружения типа
«фиксированное русло» в качестве средства измерения в открытом канале**

Александр Анатольевич Чураев¹, Любовь Васильевна Юченко²

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

¹churaev75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9198-169x>

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

Аннотация. Цель: использование гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» в качестве средства измерения расхода воды на открытом оросительном канале. **Обсуждение.** Гидрометрические сооружения обеспечивают требуемую точность измерения. Относительная погрешность измерения (не более $\pm 5\%$) зависит от принятой модели измерения расхода, а также погрешностей способов определения средней скорости потока и живого сечения. Использование гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» в виде средства измерения на открытом канале требует проведения градуировки, при которой устанавливается зависимость величины расхода воды от изменения уровня воды в открытом канале оросительной сети в виде графика «уровень – расход» и рассчитываются расходные таблицы. При градуировке гидрометрического створа типа «фиксированное русло» измерения расхода воды выполняют известным методом «скорость – площадь». Для измерения скорости потока воды в открытых каналах с расходами более 25–50 м³/с могут применяться ультразвуковые приборы и установки. **Выводы.** Для решения проблемы оснащения средством водоучета на открытом оросительном канале при отсутствии подтопления предлагается гидрометрическое сооружение типа «фиксированное русло», которое зарекомендовало себя достаточно надежным средством измерения, имеющим устойчивые метрологические характеристики. Для использования данного сооружения в качестве средства измерения в перспективе необходимо обновление нормативно-технической документации, регламентирующей основные требования к проведению градуировочных работ на открытых каналах.

Ключевые слова: гидрометрическое сооружение, фиксированное русло, средство измерения, градуировка, относительная погрешность измерения

Review article

**On issue of using a hydrometric structure of a “fixed channel type”
as a measuring instrument in an open canal**

Aleksandr A. Churaev¹, Lyubov V. Yuchenko²

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

¹churaev75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9198-169x>

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

Abstract. Purpose: the use of a hydrometric structure of the “fixed channel” type as a means of measuring water flow in an open irrigation canal. **Discussion.** Hydrometric facilities provide the required measurement accuracy. The relative measurement error (no more than $\pm 5\%$) depends on the accepted flow measurement model, as well as the errors in the methods

for determining the average flow velocity and free cross section. The use of a “fixed channel” hydrometric structure as a measuring instrument on an open canal requires calibration, in which the water flow rate dependence on the water level change in the open irrigation canal is determined in the form of a “level-flow rate” graph and flow tables are calculated. When calibrating a hydrometric section of the “fixed channel” type, water discharge measurements are performed by the known “velocity-area” method. Ultrasonic devices and installations can be used to measure the water flow rate in open canals with flow rates of more than 25–50 m³/s.

Conclusions. To solve the problem of equipping a water meter on an open irrigation canal in the absence of flooding, a hydrometric structure of the “fixed channel” type is proposed, which has proven itself to be a rather reliable measuring tool with stable metrological characteristics. To use this facility as a measuring instrument in the future, it is necessary to update the regulatory and technical documentation that regulates the basic requirements for carrying out calibration work on open canals.

Keywords: hydrometric structure, fixed channel, measuring instrument, calibration, relative measurement error

Введение. Водоучет на оросительных системах необходим для определения объема подаваемой воды и решения вопросов водораспределения между потребителями. Водоучет не существует без средств измерения. В интересах потребителей выдвигать такие требования к средствам водоучета, как: периодичность, точность, достоверность и надежность результатов измерений, уменьшение объема материальных затрат на их приобретение [1].

Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» определил правовые основы обеспечения единства измерений в Российской Федерации, а также требования к средствам измерения и методам измерений [2].

Федеральный закон от 25.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» отрегулировал отношения в сфере энергосбережения и повышения энергетической эффективности, в т. ч. и в отношении воды – подаваемой, передаваемой и потребляемой. С 1 июля 2010 г. организации, которые осуществляют в том числе и снабжение водой инженерно-технических объектов, должны оснастить их приборами учета и осуществлять деятельность по их замене и эксплуатации. Все это также направлено на улучшение водоучета и водораспределения на мелиоративных системах и поиск эффективных и недорогостоящих средств измерений водного потока [3].

Оснащение открытых каналов средствами водоучета связано с объемами материальных затрат на организацию пункта водоучета и приобретение средств измерений. Низкая оснащенность мелиоративных систем средствами измерений, в т. ч. автоматизированными средствами водоучета, сложности в бюджетном финансировании эксплуатационных организаций делают актуальной задачу использования на открытых каналах оросительной сети гидрометрических сооружений типа «фиксированное русло» в качестве средств измерения расхода и объема воды.

Как показал анализ информации, получаемой из региональных управлений мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения, в нашей стране в последние годы наблюдалось значительное снижение количества и уровня технического состояния пунктов водоучета на оросительных системах. По данным В. Н. Щедрина и др. [4, 5], в 2005 г. около 40 % пунктов водоучета вообще не были оборудованы средствами водоучета, а на открытой оросительной сети более 60 % были оснащены лишь простейшими средствами измерений, такими как гидрометрическая рейка. Анализ типов гидрометрических сооружений на открытой сети показал, что наиболее распространенны-

ми являются сооружения в виде гидрометрических створов с фиксированными руслами, сужающие устройства различной конструкции и перегораживающие сооружения.

Цель исследования – использование гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» в открытом канале оросительной сети как наиболее изученного и надежного средства измерения, не требующего больших материальных затрат.

Обсуждение. Гидрометрические створы «фиксированное русло» относятся к специальным гидрометрическим сооружениям, которые обеспечивают минимальность количества и стабильность измеряемых параметров в процессе выполнения своей основной задачи [6]. Гидрометрические сооружения обеспечивают требуемую точность измерения. Погрешность измерения во многом зависит от принятой модели измерения и вычисления расходов воды, а также погрешностей способов определения средней скорости потока и живого сечения. Допустимая общая относительная погрешность измерения расхода воды должна быть не более $\pm 5\%$.

Использование гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» в виде средства измерения расхода и объема воды на оросительном канале требует проведения градуировки, при которой устанавливается зависимость величины расхода воды от изменения уровня воды в открытом канале оросительной сети в виде графика (кривая «уровень – расход») и рассчитываются расходные таблицы. При градуировке гидрометрического створа типа «фиксированное русло» измерения расхода воды выполняют известным методом «скорость – площадь» [7].

Сущность метода измерений «скорость – площадь» заключается в определении расхода воды путем суммирования элементарных расходов. Последние вычисляются как результат умножения площадей отсеков между вертикалями, на которые разбивается сечение русла канала в измерительном створе, на величины средних скоростей потока в пределах каждого отсека. Это можно представить в виде формулы [7]:

$$Q = \sum_1^n q_x = \sum_1^n (f_x \cdot V_x),$$

где Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

n – число отсеков между вертикалями;

$\sum$ – сумма элементарных расходов в отсеках между вертикалями, $\text{м}^3/\text{с}$;

q_x – элементарный расход в отсеке между соседними вертикалями, $\text{м}^3/\text{с}$;

f_x – площадь отсека, м^2 ;

V_x – средняя скорость в отсеке между вертикалями, $\text{м}/\text{с}$.

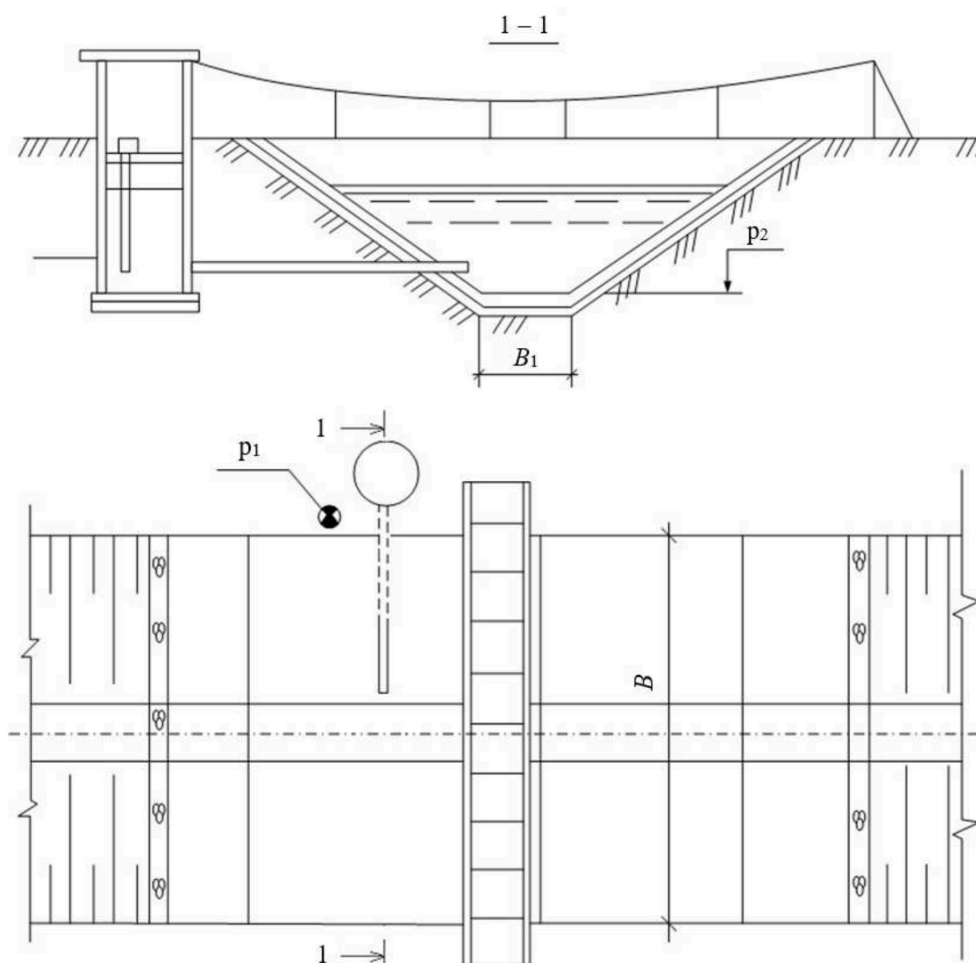
На рисунке 1 показана схема гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» с расходом до $25 \text{ м}^3/\text{с}$.

Средняя скорость потока в открытом канале может определяться с использованием различных способов и технических средств. В настоящее время самым распространенным средством измерения скорости потока воды на открытом канале остается гидрометрическая вертушка. При помощи ее средняя скорость потока воды может определяться тремя способами: многоточечным, интеграционным и одноточечным. На рисунке 2 приведена гидрометрическая вертушка с измерителем-регистратором ИСП-1М [8, 9].

Использование гидрометрических вертушек имеет как положительные стороны (промышленный выпуск, простота в конструкции, несложность в эксплуатации), так и отрицательные (значительная трудоемкость, сложность полной автоматизации, чувствительность к загрязнению потока наносами и плавающим мусором) [9, 10].

Для измерения в открытых каналах с расходами более $25\text{--}50 \text{ м}^3/\text{с}$ за рубежом и в нашей стране кроме гидрометрических вертушек начинают применять ультразвуко-

вые (акустические) приборы и установки, состоящие из одно- или многоканальных измерителей скорости, уровнемеров вторичной аппаратуры, позволяющие определять расход и объем воды, но требующие дополнительных материальных затрат [11].



B – ширина канала поверху, м; B_1 – ширина дна канала, м;
 p_1 – геодезическая отметка репера, м; p_2 – геодезическая отметка дна канала, м

Рисунок 1 – Схема гидрометрического сооружения типа «фиксированное русло» с расходом до 25 м³/с

Figure 1 – Scheme of a hydrometric structure of a “fixed channel” type with flow rate up to 25 m³/s

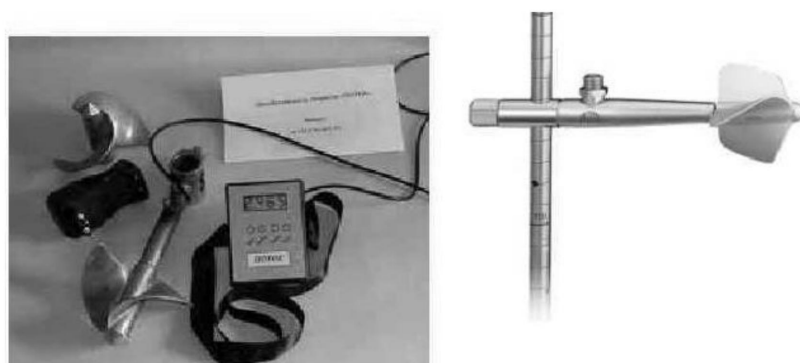


Рисунок 2 – Гидрометрическая вертушка с измерителем-регистратором ИСП-1М

Figure 2 – Hydrometric flowmeter with the ISP-1M recorder

Принцип ультразвуковых уровнемеров состоит в передаче и приеме ультразвукового сигнала, выходящего из приемопередатчика, устанавливаемого над каналом, излучатель которого направлен вниз перпендикулярно поверхности воды. Время отражения ультразвукового сигнала интегрируется с уровнем воды в канале, а для определения расхода используется градуировочная характеристика канала. На рисунке 3 приведен ультразвуковой (акустический) расходомер ЭХО-Р-03 с интегратором для измерения объема жидкости в открытых каналах [12].



Рисунок 3 – Ультразвуковой (акустический) расходомер ЭХО-Р-03

Figure 3 – Ultrasonic (acoustic) flowmeter ECHO-R-03

Для того чтобы гидрометрические сооружения работали в заданных режимах и погрешности определения расходов воды не увеличивались по сравнению с заданными, необходимо при установке сооружения в русле канала соблюдать условия, изложенные в МИ 1759-87 [13].

Гидрометрические посты типа «фиксированное русло» должны быть оснащены вспомогательным гидрометрическим оборудованием. Гидрометрическим оборудованием считаются различные средства переправы, которые рекомендуется выбирать в зависимости от ширины канала поверху. Для размещения стандартной уровнемерной гидротехнической рейки служат различные конструкции успокоительных ниш или колодцев. На гидрометрических створах, предназначенных для периодического измерения расхода воды, размещение успокоительных устройств не обязательно. В этом случае допускается контролировать положение уровней воды с помощью гидрометрической штанги [14].

Некоторые исследователи [15, 16] считают, что определение расходов воды на пунктах водоучета, устроенных по типу фиксированных русел, требует больших затрат ручного труда, так как в данном случае используется метод «скорость – площадь» с измерением осредненных скоростей потока с помощью гидрометрических вертушек. Если целесообразность применения такого типа пунктов водоучета для открытых русел и каналов с большими расходами воды можно экономически и технически обосновать, то для измерения расходов воды менее $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ такой способ измерений экономически не эффективен. Для данных расходов эффективнее использовать водосливы с тонкой стенкой, которые обеспечивают высокую точность измерений расходов воды, но требуют специальных успокоительных емкостей и пропуска чистой воды без взвешенных наносов и плавающего мусора.

Из опыта использования гидрометрических сооружений типа «фиксированное русло» известны их достоинства и недостатки [17]. К достоинствам можно отнести:

- изученность метода и простота оборудования;
- небольшие капитальные затраты на оборудование пункта водоучета и измерительную технику;

- достаточная надежность и оперативность;
- несложность в полевых и камеральных обработках;
- возможность использования любых (простых и сложных) приборов для измерения уровней;

- в перспективе возможность оснащения современной измерительной техникой и автоматизация интеграционных разновидностей тарировки «площадь – скорость».

К недостаткам можно отнести:

- необходимость регулярных тарировок;
- трудности работы с гидрометрической вертушкой;
- зависимость от наносного режима и необходимость в организации контрольных замеров расхода при отложениях наносов в русле;
- соблюдение размеров прямолинейного участка канала, необходимого для создания равномерного режима течения потока.

По прогнозу специалистов, в ближайший период будет преобладать тенденция оснащения открытых каналов оросительных систем более доступными и надежными средствами измерения [18, 19], где рекомендовано на современном этапе организации водоучета, наряду с использованием регламентируемых специальных водомерных сооружений и приборов, совершенствовать гидрометрический метод измерения расходов воды.

Следует отметить, что, несмотря на многообразие влияющих факторов, гидрометрические сооружения – достаточно надежные средства измерения, имеющие устойчивые метрологические характеристики. Гидрометрические сооружения значительно упрощают процесс определения расходов воды, сводя его к измерению одного гидравлического параметра. В связи с этим легко автоматизировать в перспективе процесс измерения нужного параметра, регистрацию и передачу информации в центры обработки данных и регулирования водораспределения.

В настоящее время использование гидрометрических сооружений типа «фиксированное русло» для измерения расходов и объемов воды на открытых оросительных каналах требует разработки новой нормативно-технической документации, регламентирующей основные требования к проведению градуировочных работ, так как существующая устарела или является недействующей. Наличие новой нормативно-технической документации также необходимо при решении вопросов метрологической поверки и получения лицензии на данный род деятельности [20].

Выводы. В настоящее время проблема оснащения средствами водоучета открытых оросительных каналов на гидромелиоративной сети до конца не решена и остается актуальной. Как одно из наиболее простых и изученных средств измерения при отсутствии подпорно-переменного режима движения потока в русле открытого канала предлагается гидрометрическое сооружение типа «фиксированное русло». Оно хорошо изучено, не требует больших материальных затрат, давно зарекомендовало себя достаточно надежным средством измерения, имеющим устойчивые метрологические характеристики. В качестве измерительных приборов для установления скорости потока воды в канале рекомендуются гидрометрические вертушки или ультразвуковые (акустические) приборы и установки, выпускаемые отечественной промышленностью. Использование гидрометрических сооружений типа «фиксированное русло» требует обновления нормативно-технической документации, регламентирующей основные требования к проведению градуировочных работ на открытых каналах.

Список источников

1. Филончиков А. В. Технология водоучета на мелиоративных системах / Костром. гос. с.-х. акад. Кострома, 1997. 155 с.

2. Об обеспечении единства измерений [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 11 июня 2008 г. № 102-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 11 июня 2008 г.: одобрен Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 18 июня 2008 г. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

3. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изменениями на 11 июня 2021 г.) [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 11 нояб. 2009 г.: одобрен Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 18 нояб. 2009 г. Доступ из ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет.

4. Провести мониторинг текущего состояния средств водоизмерения и разработать предложения по совершенствованию системы водоучета на оросительных и осушительных системах Минсельхоза России: отчет о НИР (заключ.): 2.1.3.5 / ФГБНУ «РосНИИПМ»; рук.: Щедрин В. Н. Новочеркасск, 2018. 68 с. Исполн.: Чураев А. А., Шепелев А. Е., Снопич Ю. Ф., Вайнберг М. В. Рег. № НИОКТР АААА-А18-118041990077-7. Рег. № ИКРБС АААА-Б18-218122090031-3.

5. Новые технологии и средства измерений, методы организаций водоучета на оросительных системах [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rosniipm.ru/izdan/2012/boschkarew.pdf> (дата обращения: 31.05.2022).

6. ГОСТ Р 51657.3-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Гидрометрические сооружения и устройства. Классификация. Введ. 2001-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2001. 7 с.

7. Назмиев П. И., Григорьева А. В. Гидрометрия [Электронный ресурс]: метод. указания. Екатеринбург, 2019. 50 с. URL: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9156/1/m19-53.pdf> (дата обращения: 18.04.2022).

8. Измеритель скорости потока ИСП-1М [Электронный ресурс]. URL: <http://granate.ru/isp-1.html> (дата обращения: 04.05.2022).

9. Клименко Д. Е. Развитие гидрометрических вертушек в России и за рубежом [Электронный ресурс] // Географический вестник. 2010. № 2. URL: <http://cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/klimenko.pdf> (дата обращения: 28.04.2022).

10. Филиппов Е. Г. Гидравлика гидрометрических сооружений для открытых потоков. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 288 с.

11. Принцип действия ультразвуковых (акустических) расходомеров [Электронный ресурс]. URL: <http://теплоприбор.рф/produkcija/ultrazvukovye-rashodomery> (дата обращения: 28.04.2022).

12. Юченко Л. В., Кореновский А. М. Анализ возможности применения ультразвуковых расходомеров на оросительной сети // Актуальные направления развития мелиоративного комплекса: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию создания ФГБНУ «РосНИИПМ», г. Новочеркасск, 10 сент. 2021 г. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2021. С. 124–138.

13. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость – площадь»: МИ 1759-87: утв. ФГУП ВНИИФ 11.06.86: введ. в действие с 01.01.88. М.: Изд-во стандартов, 1987. 19 с.

14. Руководство по водоучету для гидрометров магистральных каналов. Проект «Интегрированное управление водными ресурсами в Ферганской долине» [Электронный ресурс]. Ташкент, 2006. 46 с. URL: http://cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/guide_mcg.pdf (дата обращения: 19.04.2022).

15. Юрасов Р. Н. Использование гидрометрических сооружений в настоящее время // Актуальные проблемы современной науки. 2010. № 4. С. 168–171.

16. Бейшекеев К. К. Совершенствование водомерных и водораспределительных сооружений на каналах-быстроотоках оросительной системы горно-предгорной зоны: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.07, 06.01.02. Бишкек, 2012. 42 с.

17. Системные принципы водоучета и управления водораспределением

18. Щедрин В. Н., Васильев С. М., Слабунов В. В. Основные правила и положения эксплуатации мелиоративных систем и сооружений, проведения водоучета и производства эксплуатационных работ: монография. В 2 ч. Ч. 2. Новочеркасск: Геликон, 2013. 262 с.

19. Батькова А. Ж. Усовершенствованные конструкции водоучета на водомерных сооружениях с водосливами // Вестник КРСУ. 2015. № 3. С. 159–162.

20. Бочкарев В. Я. Перспективы развития нормативно-методической базы метрологического обеспечения водоучета на мелиоративных системах // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск: Геликон, 2008. Вып. 40, ч. 2. С. 117–128.

References

1. Filonchikov A.V., 1997. *Tekhnologiya vodoucheta na meliorativnykh sistemakh* [Technology of Water Metering on Reclamation Systems]. Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, 155 p. (In Russian).

2. *Ob obespechenii edinstva izmereniy* [On Ensuring the Uniformity of Measurements]. Federal Law of Russian Federation of 11 June, 2008, no. 102-FZ, adopted by the State Duma of June 11, 2008, approved by the Federation Council of June 18, 2008. Access from IS “Techexpert: 6th generation” Intranet. (In Russian).

3. *Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii (s izmeneniyami na 11 iyunya 2021 g.)* [On energy saving and on energy efficiency improvement and on amending certain legislative acts of the Russian Federation (as amended on June 11, 2021)]. Federal Law of Russian Federation of 23 November, 2009, no. 261-FZ, adopted by the State Duma of 11 November, 2009, approved by the Federation Council of 18 November, 2009. Access from IS “Techexpert: 6th generation” Intranet. (In Russian).

4. Churaev A.A., Shepelev A.E., Snipich Yu.F., Weinberg M.V., 2018. *Provesti monitoring tekushchego sostoyaniya sredstv vodoizmereniya i razrabotat' predlozheniya po sovershenstvovaniyu sistemy vodoucheta na orositel'nykh i osushitel'nykh sistemakh Min-sel'khoza Rossii: otchet o NIR (zaklyuch.): 2.1.3.5* [To Monitor the Current State of Water Metering Devices and Develop Proposals for Improving the Water Metering System for Irrigation and Drainage Systems of the Ministry of Agriculture of Russia: Research Report (Final): 2.1.3.5]. Novocherkassk, 68 p. (In Russian).

5. *Novye tekhnologii i sredstva izmereniy, metody organizatsiy vodoucheta na orositel'nykh sistemakh* [New technologies and measuring instruments, methods of organizing water metering for irrigation systems], available: <http://www.rosniipm.ru/izdan/2012/bochkarew.pdf> [accessed 31.05.2022]. (In Russian).

6. *GOST R 51657.3-2000. Vodouchet na gidromeliorativnykh i vodokhozyaystvennykh sistemakh. Gidrometricheskie sooruzheniya i ustroystva. Klassifikatsiya* [Water accounting for irrigation and drainage systems. Hydrometric structures and devices. Classification]. Moscow, Publ. of Standards, 2001, 7 p. (In Russian).

7. Nazmiev P.I., Grigoryeva A.V., 2019. *Gidrometriya: metodicheskie ukazaniya* [Hydrometry: method. guide]. Yekaterinburg, 50 p., available: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/9156/1/m19-53.pdf> [accessed 18.04.2022]. (In Russian).

8. *Izmeritel' skorosti potoka ISP-1M* [Flow rate meter ISP-1M], available: <http://granate.ru/isp-1.html> [accessed 04.05.2022]. (In Russian).

9. Klimenko D.E., 2010. *Razvitie gidrometricheskikh vertushek v Rossii i za rubezhom* [Development of hydrometric propellers in Russia and abroad]. *Geograficheskiy vestnik* [Geographic Bulletin], no. 2, available: <http://cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/klimenko.pdf> [accessed 28.04.2022]. (In Russian).

10. Filippov E.G., 1990. *Gidravlika gidrometricheskikh sooruzheniy dlya otkrytykh potokov* [Hydraulics of Hydrometric Structures for Open Canals]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 288 p. (In Russian).

11. *Printsip deystviya ul'trazvukovykh (akusticheskikh) raskhodomerov* [The principle of ultrasonic (acoustic) flow meters operation], available: <http://teplopribor.rf/produkcija/ultrazvukovye-rashodomery> [accessed 28.04.2022]. (In Russian).

12. Yuchenko L.V., Korenovskiy A.M., 2021. *Analiz vozmozhnosti primeneniya ul'trazvukovykh raskhodomerov na orositel'noy seti* [Analysis of the possibility of using ultrasonic flow meters on the irrigation network]. *Aktual'nye napravleniya razvitiya meliorativnogo kompleksa: sb. nauchnykh. tudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu sozdaniya FGBNU "RosNIIPM"* [Actual Directions of Reclamation Complex Development: Proc. of the International Scientific-Practical. Conf., Dedicated to the 90th Anniversary of the Establishment of the Federal State Budgetary Scientific Institution "RosNIIPM"]. Novocherkassk, RosNIIPM, pp. 124-138. (In Russian).

13. *Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy. Raskhod vody na rekakh i kanalakh. Metodika vypolneniya izmereniy metodom "skorost' – ploshchad'": MI 1759-87* [State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. Water Flow in Rivers and Canals. Method for Measuring Using the "Speed – Area" Method: MI 1759-87]. Approved by FSUE VNIIF 11.06.1986, Moscow, Publ. of Standards, 1987, 19 p. (In Russian).

14. *Rukovodstvo po vodouchetu dlya gidrometrov magistral'nykh kanalov. Proekt "Integrirovannoe upravlenie vodnymi resursami v Ferganskoy doline"* [Guidance on Water Metering for Hydrometers of Main Canals. Project "Integrated Water Resources Management in the Fergana Valley"]. Tashkent, 2006, 46 p., available: http://cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/guide_mcg.pdf [accessed 19.04.2022]. (In Russian).

15. Yurasov R.N., 2010. *Ispol'zovanie gidrometricheskikh sooruzheniy v nastoyashchee vremya* [Current use of hydrometric structures]. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki* [Actual Problems of Modern Science], no. 4, pp. 168-171. (In Russian).

16. Beishekeyev K.K., 2012. *Sovershenstvovanie vodomernykh i vodoraspredelitel'nykh sooruzheniy na kanalakh-bystrykh orositel'noy sistemy gorno-predgornoy zony. Avtoreferat diss. d-ra tekhn. nauk* [Improvement of water metering and water distribution structures on irrigation high-velocity canal of the mountain piedmont zone. Abstract of Dr. tech. sci. diss.]. Bishkek, 42 p. (In Russian).

17. Shchedrin V.N., Ivanenko Yu.G., Olgarenko V.I., Zharkovskiy A.M., Filippov E.G., 1994. *Sistemnye printsipy vodoucheta i upravleniya vodoraspredeleniem na orositel'noy seti* [System Principles of Water Accounting and Water Distribution Management in the Irrigation Network]. Novocherkassk, Novocherkassk State Technical University, 235 p. (In Russian).

18. Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Slabunov V.V., 2013. *Osnovnye pravila i polozheniya ekspluatatsii meliorativnykh sistem i sooruzheniy, provedeniya vodoucheta i proizvodstva ekspluatatsionnykh rabot: monografiya* [Basic Rules and Regulations for the Operation of Reclamation Systems and Structures, Water Accounting and Maintenance Operations: monograph]. In 2 parts. Pt. 2. Novocherkassk, Helikon Publ., 262 p. (In Russian).

19. Batkova A.Zh., 2015. *Usovershenstvovannyye konstruksii vodoucheta na vodomernykh sooruzheniyakh s vodoslivami* [Improved construction of water metering on the water-measuring structures with weirs]. *Vestnik KRSU* [Bulletin KRSU], no. 3, pp. 159-162. (In Russian).

20. Bochkarev V.Ya., 2008. *Perspektivy razvitiya normativno-metodicheskoy bazy metrologicheskogo obespecheniya vodoucheta na meliorativnykh sistemakh* [Prospects for the development of the normative and methodological base of the metrological support of water accounting for reclamation systems]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya: sbornik nauchnykh trudov FGNU "RosNIIPM"* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: Collection of Articles of Russian Research Institute of Land Improvement Problems]. Novocherkassk, Helikon Publ., iss. 40, pt. 2, pp. 117-128. (In Russian).

Информация об авторах

А. А. Чураев – заместитель директора по науке, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук;

Л. В. Юченко – научный сотрудник.

Information about the authors

A. A. Churaev – Deputy Director of Research, Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences;

L. V. Yuchenko – Researcher.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 26.05.2022; принята к публикации 06.06.2022.

The article was submitted 12.05.2022; approved after reviewing 26.05.2022; accepted for publication 06.06.2022.