

АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МЕЛИОРАЦИИ

Научная статья
УДК 626.82

К вопросу реализации способа определения расхода воды в открытом оросительном канале

Мария Владимировна Вайнберг

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, oamsrosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4794-3458>

Аннотация. Цель: провести полевые испытания разработанного способа определения расхода воды на открытых каналах оросительных систем по методу «уклон – площадь». **Материалы и методы.** В статье предлагаются современные программно-аппаратные средства для реализации способа определения расхода воды на открытых каналах оросительных систем по методу «уклон – площадь». Программно-аппаратные средства объединены в измерительный комплекс, испытания которого были проведены на открытом магистральном канале. Уровень воды, измеренный по предложенному способу, сравнивался с уровнем воды, измеренным гидрометрической рейкой для реализации метода «скорость – площадь». **Результаты и обсуждение.** Во время исследований была получена градуировочная зависимость расхода воды от уровня, определен расход воды по предлагаемому способу при помощи измерительного комплекса. Рассчитаны абсолютная и относительная погрешности показаний уровня воды в канале и величины расхода воды по показаниям измерительного комплекса по отношению к показаниям гидрометрической рейки. **Выводы.** По полученным данным, погрешность при измерении уровней воды разработанным способом составила 1,61 %, что говорит о высокой точности проведенных измерений.

Ключевые слова: программно-аппаратные средства, измерительный комплекс, открытый канал, метод «уклон – площадь», водоучет, датчик уровня, программное обеспечение, автономный блок, градуировочная зависимость

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации» (г. Новочеркасск, 31 мая 2024 г.).

Для цитирования: Вайнберг М. В. К вопросу реализации способа определения расхода воды в открытом оросительном канале // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 93, № 2. С. 129–140.

CURRENT SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF LAND RECLAMATION

Original article

On issue of implementing a method for determining water flow in an open irrigation canal

Maria V. Vaynberg

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation, oamsrosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4794-3458>



Abstract. Purpose: to conduct field tests of the developed method for determining water flow in open irrigation canals using the “slope – area” method. **Materials and methods.** The modern soft hardware for implementing a method determining water flow in open irrigation canals using the “slope – area” method are proposed. The soft hardware are combined into a measuring complex, the tests of which were carried out in an open main canal. The water level measured by the proposed method was compared with the water level measured by a hydrometric gauge to implement the “velocity – area” method. **Results and discussion.** During the research, a calibration dependence of water flow on water level was obtained, and water flow was determined according to the proposed method using a measuring complex. The reading absolute and relative errors of the water level in the canal and the amount of water flow according to the readings of the measuring complex in relation to the readings of the hydrometric gauge are calculated. **Conclusions.** According to the data obtained, the error in measuring water levels using the developed method was 1.61 %, which indicates the high accuracy of the measurements.

Keywords: software and hardware, measuring complex, open canal, “slope – area” method, water metering, level sensor, software, autonomous unit, calibration dependence

Evaluation of the research results: the fundamental principles of the article were reported at the All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists “Current Scientific Research in the Field of Land Reclamation” (Novocherkassk, May 31, 2024).

For citation: Vaynberg M. V. On issue of implementing a method for determining water flow in an open irrigation canal. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2024;93(2):129–140. (In Russ.).

Введение. Совершенствование системы водоучета на оросительной системе, с учетом установки современных автоматизированных измерительных приборов, является одной из актуальных задач, решение ее необходимо для обеспечения рационального водораспределения, эффективного использования водных ресурсов, отведения избытка влаги и учета оросительной воды. Кроме того, решение этой задачи позволит улучшить условия эксплуатации сооружений, повысит эстетический уровень и культуру эксплуатационных работ, снизит эксплуатационные затраты, обеспечит экономию воды, электроэнергии, сокращение материальных и трудовых затрат [1–5].

Материалы и методы. Автором был разработан способ определения расхода воды на открытых каналах оросительных систем по методу «уклон – площадь» [6] с применением современных программно-аппаратных средств. В данном способе при определении расхода воды основную роль играет уровень, а средняя скорость не измеряется вообще. Для реализации данного способа был разработан измерительный комплекс. Испытания предла-

гаемого способа с применением измерительного комплекса были проведены на открытом магистральном канале, основные параметры которого приведены на рисунке 1.

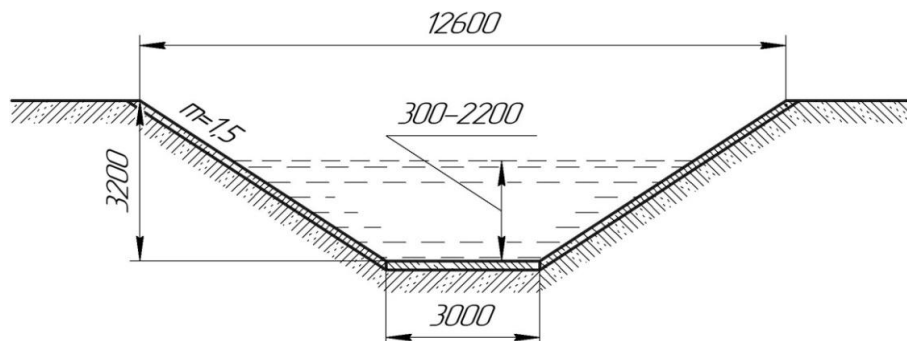


Рисунок 1 – Схема поперечного сечения канала
Figure 1 – Channel cross-section diagram

Режим работы канала – свободное течение, отсутствие периодических подтоплений. Качество оросительной воды: неагрессивная среда, содержание взвешенных наносов до 1 кг/м^3 , возможно наличие плавника и мусора.

Порядок проведения испытаний включал основные этапы:

- подготовку и монтаж конструкции приборов средств водоучета на участках канала;
- проверку и настройку приборов водоучета и вспомогательных средств измерений;
- проверку прибора водоучета на работоспособность;
- проведение измерений расхода воды в исследуемом створе методом «скорость – площадь»;
- проведение измерений расхода воды исследуемым способом по методу «уклон – площадь»;
- обработку, оформление, анализ полученных данных.

Порядок проведения испытаний показан на рисунке 2.

Монтаж измерительного комплекса для определения расхода воды выполнялся перед заполнением канала. Перед установкой датчиков на дно ка-

нала в створах «1» и «2» опускалась сборная металлическая труба, имеющая оголовки с отверстием для возможности взаимодействия мембраны датчика давления с жидкостью. Длина сборной металлической трубы соответствовала длине откоса канала с учетом отступа 0,5 м от бермы канала. В трубу опускался датчик с проводящим соединительным кабелем, состоящим из электрического провода и полой компенсационной трубки. Конструкция закреплялась швеллерами. Сверху на конструкции закреплялся корпус блока дистанционного контроля и мониторинга, к которому присоединен проводящий кабель. Расстояние между створами составляло 450 м.

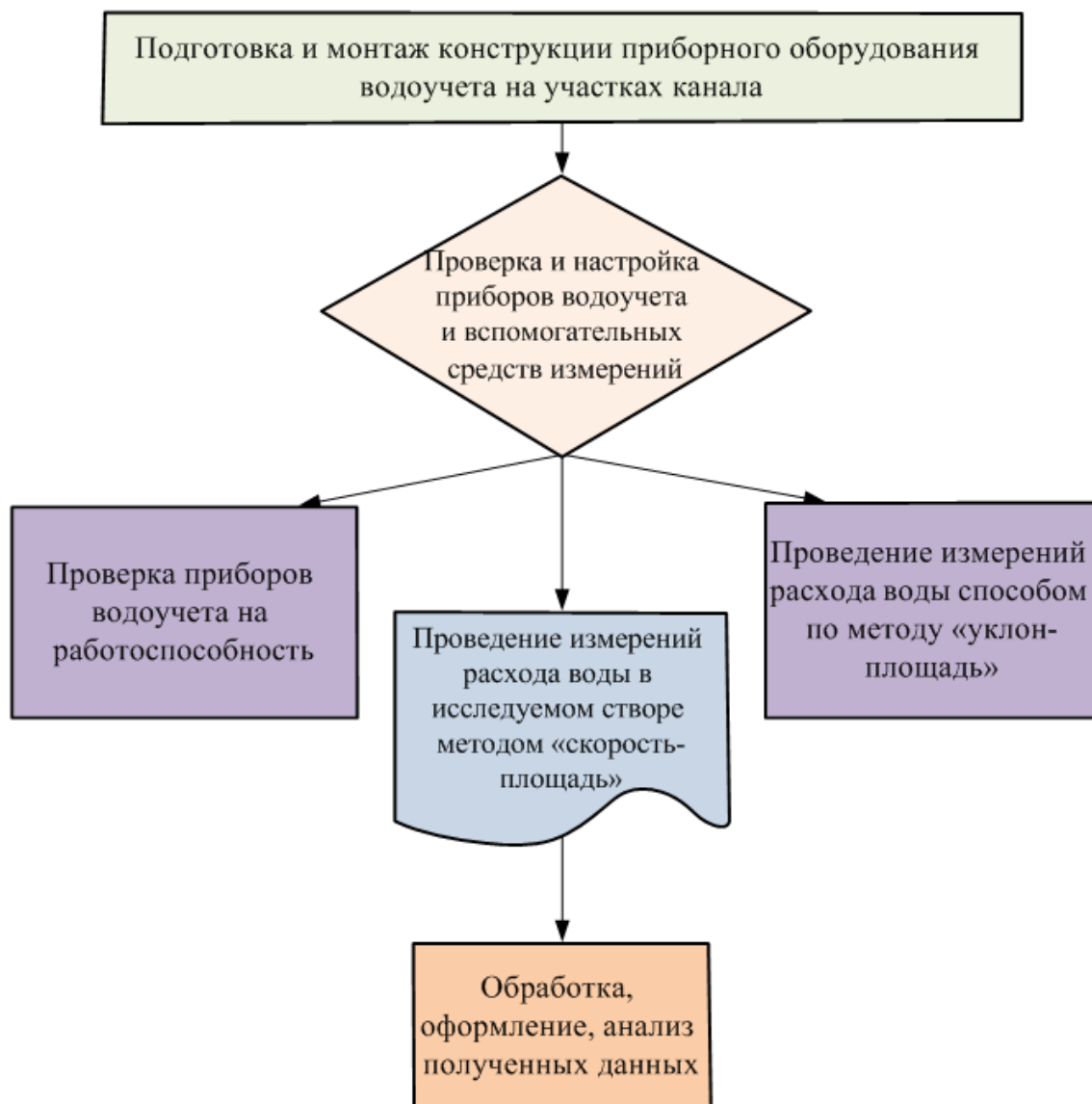
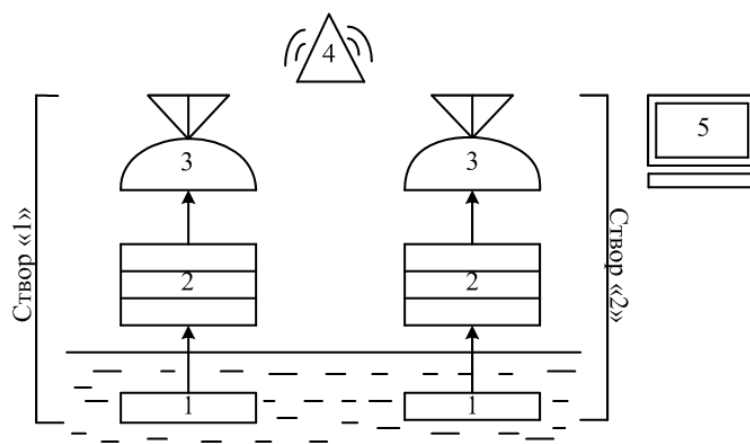


Рисунок 2 – Порядок проведения испытаний
Figure 2 – Test procedure

Корпус блока был выполнен в антивандальном исполнении и состоял из контроллера-модема (вставляется сим-карта формата MicroSIM оператора мобильной связи), аккумуляторной батареи и антенны GSM. Энерго-независимость приборов достигалась системой автономного питания. Пункт приема информации (полевой) был расположен также на берме участка канала в виде компьютера (ноутбука), снабженного средством работы с интернетом и имеющего программу для приема и расшифровки сигналов, поступающих от испытываемого средства водоучета.

Схема получения и передачи данных при помощи измерительного комплекса показана на рисунке 3.



1 – датчик уровня воды; 2 – контроллер-модем и аккумуляторная батарея;
3 – антенна GSM; 4 – связь GSM; 5 – сервер диспетчерского пункта

1 – water level sensor; 2 – controller-modem and storage battery;
3 – GSM aerial; 4 – GSM link; 5 – control station server

Рисунок 3 – Схема получения и передачи данных при помощи измерительного комплекса
Figure 3 – Scheme for data receiving and transmitting using a measuring complex

Обработка результатов измерений была проведена с помощью программы для расчета расхода воды в открытых каналах по методу «уклон – площадь» [7]. Уровень воды, измеренный по предложенному способу, сравнивался с уровнем воды, измеренным гидрометрической рейкой по методу «скорость – площадь». За эталон были приняты показатели градуированного контрольного створа.

Результаты и обсуждение. В русле канала был выбран контрольный створ, где была проведена градуировка. В результате этого получена градуировочная зависимость расхода воды от уровня (рисунок 4):

$$Q = f(h) = 0,4961h^2 + 1,7319h - 0,4687,$$

где Q – расход воды, м³/с;

f – функция зависимости от измеряемого параметра;

h – уровень воды, м.

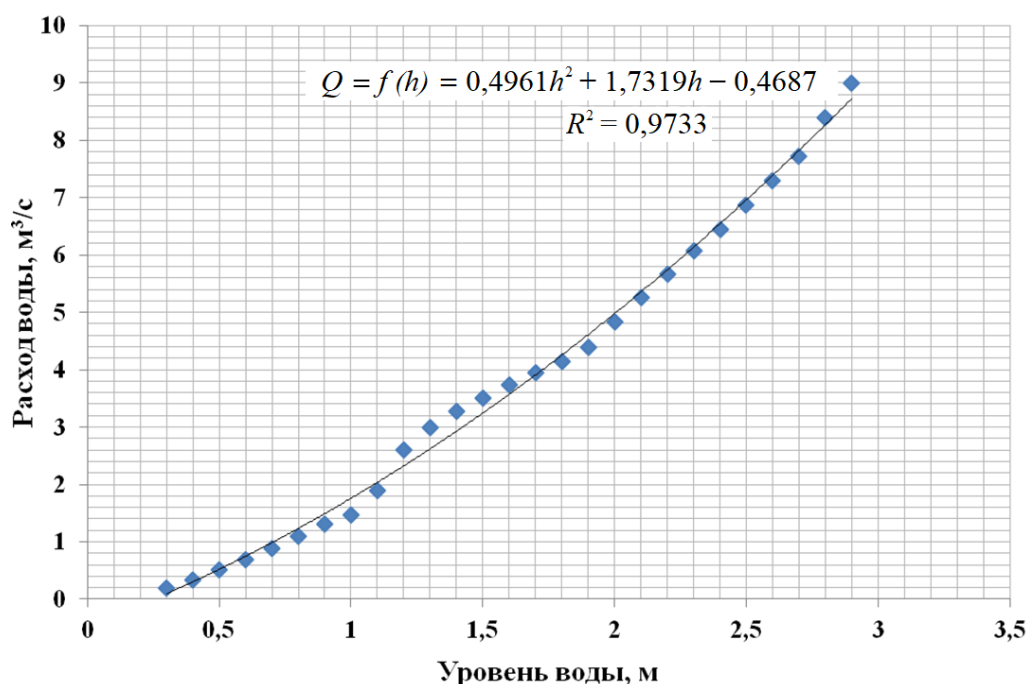


Рисунок 4 – Градуировочная зависимость расхода воды от уровня в контрольном створе

Figure 4 – Calibration dependence of water flow rate on the water level at the control point

Относительная погрешность построения градуировочной характеристики канала определялась согласно нормативному документу МИ 1759-87¹ и составила 2,67 %. Для определения расхода воды измерительным комплексом применялась следующая формула [6]:

¹Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость – площадь»: МИ 1759-87: утв. Всесоюз. науч.-исслед. ин-том расходомерии 11.06.86: введ. в действие с 01.01.88. М.: Изд-во стандартов, 1987. 28 с.

$$Q = \frac{1}{2} (\omega_1 + \omega_2) \sqrt{\frac{h_1 - h_2 - i_0 l_{\text{сме}}}{\frac{\alpha(h_1 - h_2)(B_1 + B_2)}{g(\omega_1 + \omega_2)} - \frac{8l_{\text{сме}}}{(C_1 + C_2)^2(R_1 + R_2)}}},$$

где Q – расход воды, м³/с;

h_1, h_2 – уровень воды в створах «1» и «2» соответственно, м;

i_0 – уклон дна канала;

$l_{\text{сме}}$ – расстояние между створами, м;

α – коэффициент скорости, равный 1,1;

B_1, B_2 – ширина канала по свободной поверхности воды в створах «1» и «2», м;

ω_1, ω_2 – площадь живого сечения в створах «1» и «2», м²;

C_1, C_2 – коэффициент Шези в створах «1» и «2», м^{0,5}/с;

R_1, R_2 – гидравлические радиусы в створах «1» и «2», м;

g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

В створах «1» и «2» датчиками измерялся уровень воды с интервалом времени 2 мин в течение часа. Данные в режиме реального времени отправлялись на блоки дистанционного контроля, далее на полевой пункт приема (ноутбук), где обрабатывались по предложенной программе для ЭВМ [7].

Абсолютная ($\delta_{\text{абс}}$) и относительная ($\delta_{\text{отн}}$) погрешности измерений уровня воды в канале по показаниям измерительного комплекса, по отношению к показаниям уровня гидрометрической рейки, были рассчитаны по формулам^{2,3}:

²Об 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.

³Государственная система обеспечения единства измерений. Расход жидкости в открытых каналах систем водоснабжения и канализации. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков: МИ 2406-97: утв. ВНИИР: введ. в действие с 15.05.97. М.: ИРВИС, 1997. 33 с.

$$\delta_{абс1} = \pm \frac{h_1 + h_2}{2} - h_{г.р.},$$

$$\delta_{отн1} = \pm \frac{\frac{h_1 + h_2}{2} - h_{г.р.}}{h_{г.р.}} \cdot 100 \%,$$

где h_1 – уровень воды в канале в створе «1» по показаниям датчика, м;

h_2 – уровень воды в канале в створе «2» по показаниям датчика, м;

$h_{г.р.}$ – уровень воды в канале по показаниям гидрометрической рейки, м.

Абсолютная ($\delta_{абс2}$) и относительная ($\delta_{отн2}$) погрешности величины расхода воды, полученной после обработки данных от испытываемого измерительного комплекса, по отношению к величине расхода воды, полученной после обработки данных от показаний гидрометрической рейки за определенный промежуток времени, были рассчитаны по формулам^{2,3}:

$$\delta_{абс2} = Q_{у.к.} - Q_{г.р.},$$

$$\delta_{отн2} = \pm \frac{Q_{у.к.} - Q_{г.р.}}{Q_{г.р.}} \cdot 100 \%,$$

где $Q_{у.к.}$ – расход воды, полученный после обработки данных от показаний измерительного комплекса, м³/с;

$Q_{г.р.}$ – расход воды, полученный после обработки данных от показаний гидрометрической рейки, м³/с.

Погрешность считается нормальной, если полученная величина не будет превышать 4–5 %¹. В таблице 1 представлены результаты измерений. На рисунке 5 показана расходная характеристика магистрального канала в результате измерения гидрометрической рейкой и измерительным комплексом.

Таблица 1 – Сводная таблица проведенных измерений

Table 1 – Summary table of measurements taken

№ опыта	$h_{з.р.}$, м	$Q_{з.р.}$, м ³ /с	h_1 , м	h_2 , м	$Q_{и.к.}$, м ³ /с	$\delta_{отн1}$, %	$\delta_{отн2}$, %
1	1,92	4,682	1,894	1,891	4,573	1,432	2,328
2	1,92	4,682	1,894	1,891	4,573	1,432	2,328
3	1,92	4,682	1,894	1,891	4,573	1,432	2,328
4	1,92	4,682	1,894	1,891	4,573	1,432	2,328
5	1,93	4,701	1,904	1,901	4,609	1,425	1,957
6	1,93	4,701	1,904	1,901	4,609	1,425	1,957
7	1,93	4,701	1,904	1,901	4,609	1,425	1,957
8	1,94	4,729	1,904	1,901	4,609	1,933	2,537
9	1,94	4,729	1,904	1,901	4,609	1,933	2,537
10	1,95	4,745	1,915	1,911	4,645	1,897	2,107
11	1,95	4,745	1,915	1,911	4,645	1,897	2,107
Средняя относительная погрешность при измерении уровней воды и определении расхода воды с помощью измерительного комплекса, %						1,61	2,22
Обозначения: $h_{з.р.}$ – уровень воды по гидрометрической рейке, м; $Q_{з.р.}$ – расход воды по гидрометрической рейке, м ³ /с; h_1 – уровень воды в створе «1» по измерительному комплексу, м; h_2 – уровень воды в створе «2» по измерительному комплексу, м; $Q_{и.к.}$ – расход воды по измерительному комплексу, м ³ /с; $\delta_{отн1}$ – относительная погрешность по уровню, измеренному измерительным комплексом, %; $\delta_{отн2}$ – относительная погрешность по расходу, измеренному измерительным комплексом, %.							

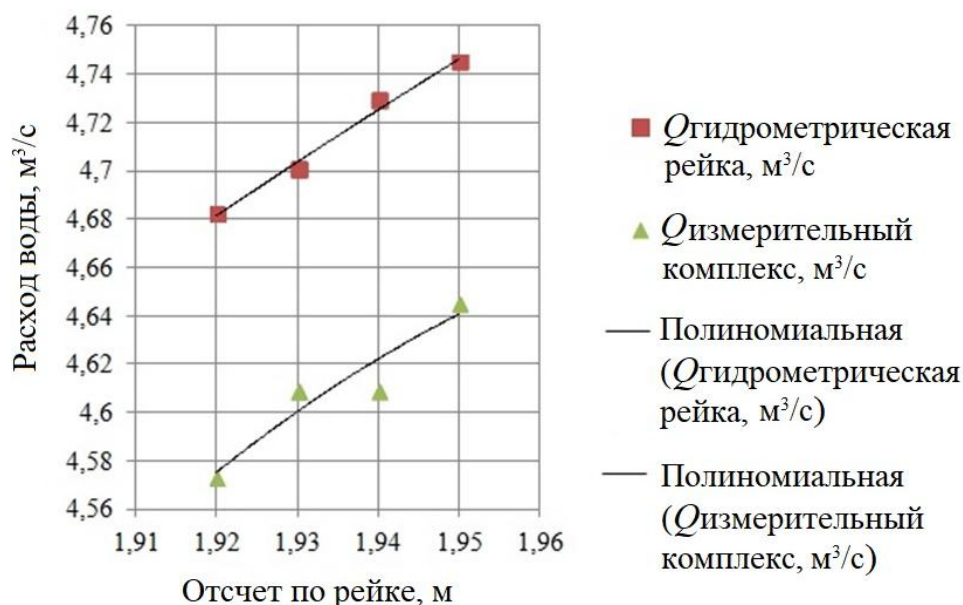


Рисунок 5 – Расходная характеристика магистрального канала в результате измерения гидрометрической рейкой и измерительным комплексом

Figure 5 – Flow characteristics of the main canal as a result of measurement with a hydrometric gauge and measuring complex

Из полученных данных видно, что при измерении уровней воды на открытом канале измерительным комплексом относительная погрешность составила 1,61 %, это говорит о высокой точности проведенных измерений.

Выводы

1 Предложенный способ может быть внедрен на открытых каналах оросительной сети. Эффективность внедрения данного способа заключается в уменьшении непроизводительных сбросов оросительной воды за счет высокой точности (погрешность < 3 %) и оперативности водоизмерения.

2 Применение современных программно-аппаратных средств для определения уровня воды позволяет повысить точность и достоверность измерений.

3 Высокая точность измерительного комплекса, работающего по методу «уклон – площадь», способствует более экономному использованию водных ресурсов.

Список источников

1. Селюков В. И., Клишин И. В. Вопросы создания типовых комплексов автоматизации управления водораспределением для открытых оросительных систем // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск: РосНИИПМ, 2007. Вып. 38. С. 140–146.

2. Чураев А. А., Шепелев А. Е. Техническое состояние пунктов водоучета мелиоративных систем Минсельхоза России // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 2(74). С. 5–8. EDN: DMPLWO.

3. Актуальные вопросы развития мелиоративной отрасли и использования водных ресурсов в АПК / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, Г. А. Сенчуков, В. Д. Гостищев // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 4. С. 8–11. EDN: PAKNCR.

4. Васильченко А. П., Шепелев А. Е. К определению расхода воды в канале Р-3 Райгородской оросительной системы ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» // 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. 210–218. EDN: OZPCHL.

5. Шевченко В. А., Бондарик И. Г., Бубер А. Л. Водоучет: концепции и инструменты // Сельский механизатор. 2019. № 4. С. 27. EDN: PWCFS.

6. Пат. 2572068 Российская Федерация, МПК G 01 F 1/00. Способ определения расхода воды на открытых каналах оросительных систем по методу «уклон – площадь» / Щедрин В. Н., Чураев А. А., Вайнберг М. В.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. № 2014128423; заявл. 10.07.14; опубл. 27.12.15, Бюл. № 36. 4 с. EDN: ZFUWMH.

7. Определение расхода воды в открытых каналах по методу «уклон – площадь»: свидетельство о гос. регистрации прогн. для ЭВМ № 2019662079 / Вайнберг М. В., Чураев А. А.; правообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. Заявка № 2019660924; заявл. 05.09.19; опубл. 16.09.19, Бюл. № 9. 1 с. EDN: AOCHGD.

References

1. Selyukov V.I., Klishin I.V., 2007. *Voprosy sozdaniya tipovykh kompleksov avtomatizatsii upravleniya vodoraspredeleniem dlya otkrytykh orositel'nykh sistem* [Issues of creating standard automation complexes of water distribution management for open irrigation systems]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya: sb. nauch. trudov* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture: Proc.]. Novochoerkassk, RosNIIPM, vol. 38, pp. 140-146. (In Russian).

2. Churaev A.A., Shepelev A.E., 2019. *Tekhnicheskoe sostoyanie punktov vodoucheta meliorativnykh sistem Minsel'khoza Rossi* [Technical conditions of water accounting stations for reclamation systems of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(74), pp. 5-8, EDN: DMPLWO. (In Russian).

3. Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Senchukov G.A., Gostishchev V.D., 2021. *Aktual'nye voprosy razvitiya meliorativnoy otrasli i ispol'zovaniya vodnykh resursov v APK* [Current issues in the development of the reclamation industry and the use of water resources in the agro-industrial complex]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 4, pp. 8-11, EDN: PAKNCR. (In Russian).

4. Vasilchenko A.P., Shepelev A.E., 2021. *K opredeleniyu raskhoda vody v kanale R-3 Raygorodskoy orositel'noy sistemy FGBU "Upravlenie "Volgogradmeliovodkhoz"* [To water consumption determination in the R-3 canal of the Raygorod Irrigation System of Federal State Budgetary Establishment "Volgograd Land Reclamation Department"]. *Aktual'nye napravleniya razvitiya meliorativnogo kompleksa: sb. nauch. trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashch. 90-letiyu sozdaniya FGBNU "RosNIIPM"* [Current Trends of the Development of Reclamation Complex: Proc. of the International Scientific-Practical Conf., Dedicated to the 90th Anniversary of the Foundation of the Federal State Budgetary Institution "RosNIIPM"]. Novochoerkassk, RosNIIPM, pp. 210-218, EDN: OZPCHL. (In Russian).

5. Shevchenko V.A., Bondarik I.G., Buber A.L., 2019. *Vodouchet: kontseptsii i instrumenty* [Water metering: concepts and tools]. *Sel'skiy mekhanizator* [Rural Mechanizer], no. 4, p. 27, EDN: PWCFSK. (In Russian).

6. Shchedrin V.N., Churaev A.A., Vajenberg M.V., 2014. *Sposob opredeleniya rashoda vody na otkrytykh kanalakh orositel'nykh sistem po metodu "uklon – ploshhad"* [Method to Detect Water Flow Rate in Open Canals of Irrigation Systems According to Slope-Area Method]. Patent RF, no. 2572068, EDN: ZFUWMH. (In Russian).

7. Weinberg M.V., Churaev A.A., 2019. *Opredelenie raskhoda vody v otkrytykh kanalakh po metodu "uklon – ploshchad"* [Determination of Water Flow in Open Canals Using the "Slope – Area" Method]. Certificate of state registration of computer program of the RF, no. 2019662079, EDN: AOCHGD. (In Russian).

Информация об авторе

М. В. Вайнберг – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, oamsrosniipm@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4794-3458.

Information about the author

M. V. Vaynberg – Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation, oamsrosniipm@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4794-3458.

Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2024. Т. 93, № 2. С. 129–140.
Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture. 2024. Vol. 93, no. 2. P. 129–140.

*Автор несет ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.
The author is responsible for violation of scientific publication ethics.*

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 25.04.2024; одобрена после рецензирования 10.06.2024;
принята к публикации 25.06.2024.
The article was submitted 25.04.2024; approved after reviewing 10.06.2024; accepted for
publication 25.06.2024.*