

Научная статья

УДК 627.133

**Определение зависимости расхода от глубины водного потока
в контрольном створе магистрального канала**

Дарья Викторовна Бакланова¹, Виктория Федоровна Талалаева²

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

¹d.baklanova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6149-5073>

²vika-silchenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2541-204X>

Аннотация. Цель: получение зависимости для определения расхода воды в магистральном канале действующей обводнительно-оросительной системы. **Материалы и методы.** Материалами для исследования послужили данные поисково-информационной системы «Яндекс.Карты», паспорт магистрального канала, а также данные измерений глубин и скоростей водного потока на вертикалях в контрольном створе магистрального канала обводнительно-оросительной системы. Расходы воды в канале определялись по методу «скорость – площадь». Построение уровенно-расходной зависимости выполнено с использованием программного обеспечения Microsoft Excel. **Результаты и обсуждение.** Для организации высокоэффективной системы водоучета на оросительных системах необходимо оперативное и точное определение фактических расходов водного потока. С этой целью была получена уровенно-расходная характеристика водного потока в контрольном створе магистрального канала, имеющая следующий вид: $Q = -1,18h^2 + 15,76h - 5,775$, а также построен поперечный профиль канала на основе данных измерения глубин на вертикалях в рассматриваемом створе. **Выводы.** Полученное уравнение позволит определять фактический расход водного потока по заданной глубине наполнения канала с относительной погрешностью до 2,2 %.

Ключевые слова: расход воды, скорость водного потока, магистральный канал, метод «скорость – площадь», обводнительно-оросительная система

Original article

**Determination of the dependence of water discharge
on the water flow depth in the control section of the main canal**

Daria V. Baklanova¹, Viktoriya F. Talalaeva²

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

¹d.baklanova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6149-5073>

²vika-silchenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2541-204X>

Abstract. Purpose: to obtain a dependence for determining the water discharge in the main canal of the operating irrigation system. **Materials and methods.** The materials for the study were the data of the Yandex.Maps search and information system, the passport of the main canal, as well as the measurement data of the water flow depths and velocities on the verticals in the control section of the main canal of the irrigation system. Water discharges in the canal were determined using the “velocity – area” method. The construction of the level-discharge dependence was carried out using the Microsoft Excel software. **Results and discussion.** To organize a highly efficient water metering system for irrigation systems, it is necessary to determine the actual water flow discharges quickly and accurately. For this pur-

pose, the level-discharge characteristic of the water flow in the control section of the main canal was obtained, which has the following form: $Q = -1.18h^2 + 15.76h - 5.775$, and a cross-sectional profile of the canal was constructed based on the data of measuring depths at verticals in the considered section line. **Conclusions.** The equation obtained will make it possible to determine the actual water flow discharge at a given depth of canal storage with a relative error of up to 2.2 %.

Keywords: water discharge, water flow velocity, main canal, “velocity – area” method, irrigation system

Введение. Обеспечение водосберегающего и эффективного водопользования на мелиоративных системах неразрывно связано с организацией высокоточного водочета и контроля водораспределения [1, 2]. В условиях дефицита влаги, который характерен для Сарпинской низменности в Республике Калмыкия [3], реализация мероприятий по рациональному использованию оросительной воды на мелиорируемых землях, а также определение фактических расходов воды в магистральных каналах оросительных систем приобретает особую актуальность.

В настоящее время существует достаточное количество нового приборного оборудования для определения расходов воды в открытых водотоках, однако его высокая стоимость ограничивает повсеместное внедрение современных средств водочета в практику эксплуатации оросительных систем. Ввиду этого водочет на магистральных каналах Сарпинской обводнительно-оросительной системы (ООС) осуществляется с применением базового в гидрометрии открытых русел метода «скорость – площадь» [4–6].

Объектом данного исследования является контрольный створ на магистральном канале Р-3 Светлоярской ООС Волгоградской области. Данный канал находится на балансе ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз» и осуществляет подачу воды в магистральный канал ВР-1 Сарпинской ООС, который, по сути, является продолжением канала Р-3 в Республике Калмыкия (рисунок 1). Организацией, эксплуатирующей канал ВР-1, является ФГБУ «Управление «Калммелиоводхоз», водоподача в канал осуществляется на основе согласованных графиков между вышеуказанными ФГБУ по мелиорации земель.

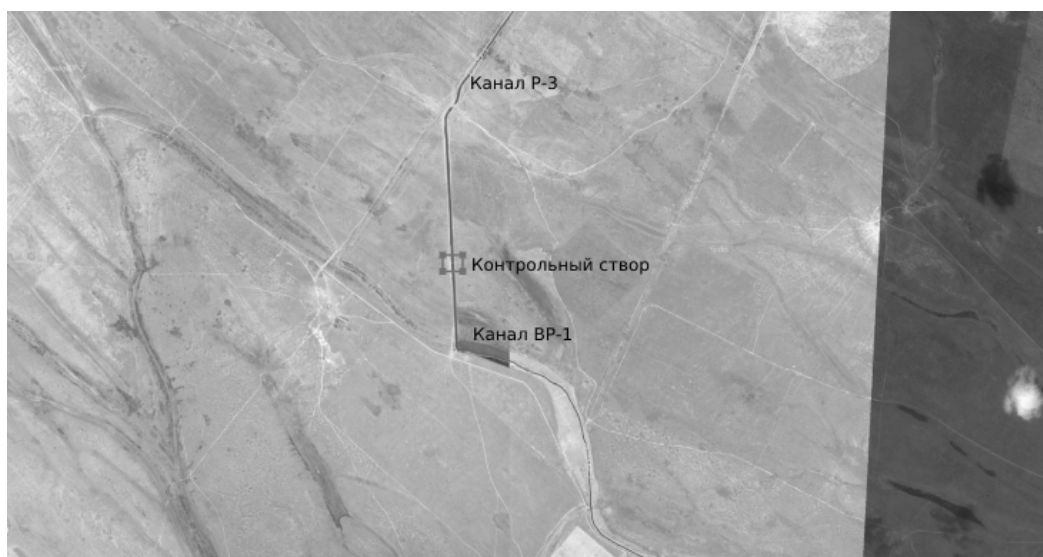


Рисунок 1 – Ситуационный план расположения контрольного створа на магистральном канале обводнительно-оросительной системы

Figure 1 – Situational plan for the location of the control section on the main canal of the irrigation system

Учет переданной в Сарпинскую ООС оросительной воды (по каналу Р-3 в канал ВР-1) осуществляется в контрольном створе (створ передаточного гидрометрического поста), расположенном на границе Волгоградской области и Республики Калмыкия, путем замера скоростей течения водного потока гидрометрической вертушкой ГР-21М.

Гидрометрическая вертушка ГР-21М пригодна для измерения скоростей течения водного потока в водотоках в диапазоне 0,15–5 м/с. Более точные показания данный прибор дает при скоростях 0,2–2 м/с (погрешность измерений в этом случае составляет $\pm 2\%$) [7].

Общий расход воды в канале находится путем суммирования элементарных расходов между скоростными вертикалями по формуле [4, 8]:

$$Q = \frac{2}{3} v_1 \cdot f_0 + \left(\frac{v_1 + v_2}{2} \right) \cdot f_1 + \dots + \left(\frac{v_{n-1} + v_n}{2} \right) \cdot f_n + \frac{2}{3} v_n \cdot f_n,$$

где Q – полный расход воды, м³/с;

$v_1, v_2, \dots, v_n$, – годовой объем плановой водоподачи, м/с;

$f_0, f_1, \dots, f_n$ – площади водного сечения соответственно между берегом и первой скоростной вертикалью, между первой и второй вертикалью и т. д.

Применяемый метод имеет высокую точность измерения скоростей и определения расходов, однако является достаточно трудоемким и времязатратным, особенно на крупных каналах. В связи с этим целью данной работы является получение уравнения для определения расхода воды в канале в зависимости от глубины его наполнения.

Материалы и методы. Материалами для исследования послужили данные поисково-информационной системы «Яндекс.Карты», паспорт магистрального канала (2015 г.), а также данные измерений глубин и скоростей водного потока в контрольном (передаточном) створе на канале Р-3 (ВР-1), проведенных силами эксплуатирующей организации в период с 15 марта по 13 мая 2022 г.

Замеры скоростей воды в канале проведены по сокращенной схеме, когда измерения производятся в одной точке на скоростной вертикали на глубине $0,6h$. Тогда средняя скорость на вертикали v_{cp} , м/с, определяется как:

$$v_{cp} = v_{0,6} \cdot h,$$

где $v_{0,6}$ – скорость водного потока на глубине $0,6h$, м/с;

h – глубина водного потока на вертикали, м.

Систематизация данных и построение уровенно-расходной зависимости выполнены в программном обеспечении Microsoft Excel.

Согласно паспорту магистрального канала (2015 г.), его русло на участке, где расположен контрольный створ, имеет следующие технические характеристики (таблица 1).

Таблица 1 – Технические характеристики магистрального канала

Table 1 – Technical characteristics of the main channel

Наименование участка канала	Максимальный расход, м ³ /с	Нормальный расход, м ³ /с	Длина участка, км	Ширина канала по дну, м	Глубина наполнения h , м	Заложение откосов 1:м	Характер русла (ложа) канала	Группа грунтов
ПК 245 + 70 – ПК 332 + 00	38	25	8,6	17	4*	1:3	Земляное	II
Примечание – * – при максимальном расходе.								

Результаты и обсуждение. Для построения графика зависимости расхода от глубины воды в канале и получения уровенно-расходной характеристики в контрольном створе был использован алгоритм определения расхода воды в расчетном створе согласно МИ 1759-87 [4]. Сводные данные о глубинах и фактических расходах воды в канале представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные измерения скоростей течения и определения расхода водного потока в контрольном створе на канале Р-3 (ВР-1)

Table 2 – Measurement data of current velocities and determination of the water flow rate in the control section on the R-3 (VR-1) canal

Дата измерений	Количество скоростных вертикалей, шт.	Диапазон измерения глубин в створе h_i , м/с	Средняя глубина на наполнения h , м	Расход воды в канале Q , м ³ /с
15.03.2022	15	0,63–0,7	0,69	2,23
08.04.2022	16	0,43–0,6	0,56	4,99
05.05.2022	17	1,4–1,5	1,5	13,76
13.05.2022	17	1,53–1,62	1,58	15,65

С использованием программных средств автоматической обработки данных был построен график зависимости расхода от глубины воды в канале $Q = f(h)$ и получена уровенно-расходная зависимость $Q = -1,18h^2 + 15,76h - 5,775$ (рисунок 2), с помощью которой возможно определять фактические расходы воды в контрольном створе с учетом глубины воды в канале. Полученная зависимость имеет коэффициент аппроксимации $R^2 = 0,978$, что говорит о возможности определения расхода воды в канале с относительной погрешностью до 2,2 %.

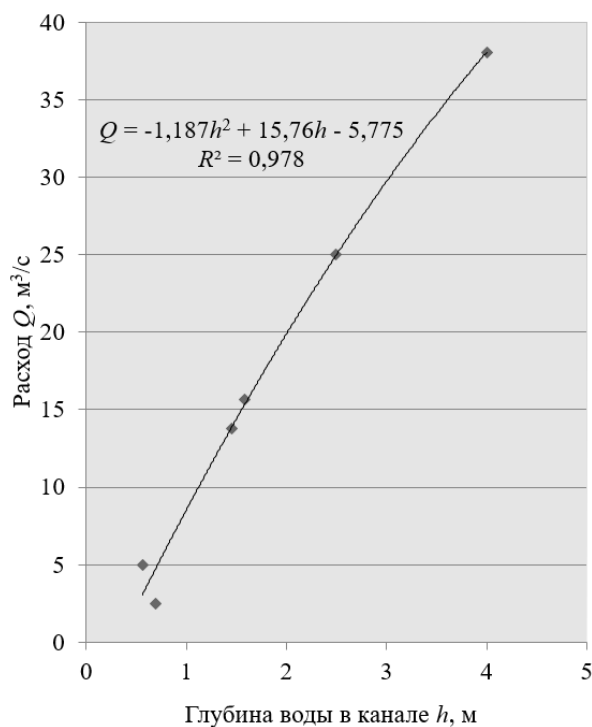


Рисунок 2 – График зависимости расхода от глубины потока в контрольном створе магистрального канала Р-3 (ВР-1)

Figure 2 – Graph of the dependence of the flow rate on the flow depth in the control section of the main canal R-3 (VR-1)

Также для рассматриваемого на канале Р-3 (ВР-1) створа был построен поперечный профиль канала (рисунок 3).

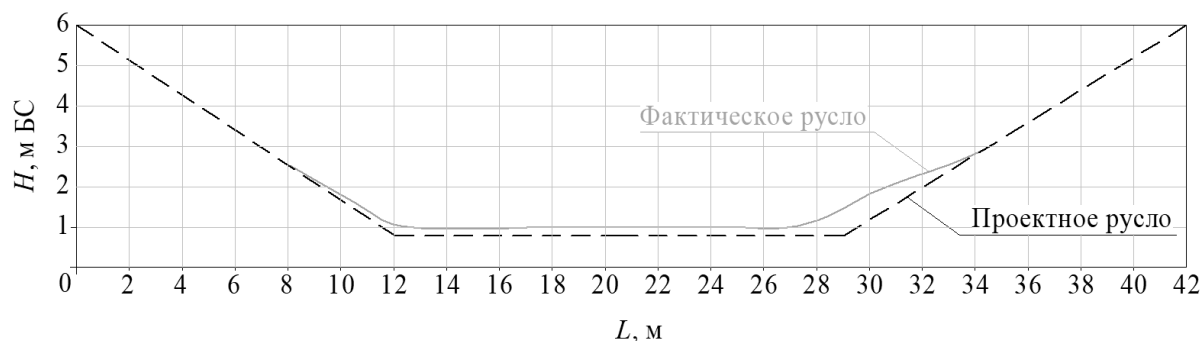


Рисунок 3 – Поперечный профиль магистрального и межхозяйственного канала Р-3 (ВР-1) в контрольном створе (ПК 245 + 70)

Figure 3 – Cross-sectional profile of the main and inter-farm canal R-3 (VR-1) in the control section (PK 245 + 70)

Из данных рисунка 3 видно, что в вышеуказанном створе имеется заиливание его русла наносами вдоль одного из откосов. Результаты вычислений позволили заключить, что фактическая площадь поперечного сечения канала в рассматриваемом створе меньше проектной на 4,1 %.

Выводы

1 Для организации высокоэффективной системы водоучета на оросительных системах необходимо оперативное и точное определение фактических расходов водного потока.

2 С этой целью была получена уровенно-расходная характеристика водного потока в контрольном створе магистрального канала, имеющая следующий вид:

$$Q = -1,18h^2 + 15,76h - 5,775.$$

3 Данная зависимость позволяет определить фактический расход водного потока по заданной (измеренной) глубине наполнения с относительной погрешностью до 2,2 %.

Список источников

1. 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». Новочеркасск, 2021. С. 210–218.

2. 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: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1270> (дата обращения: 01.08.2022). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-228-244>.

3. Дедова Э. Б., Гольдварг Б. А., Цаган-Манджиев Н. Л. Деградация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления // Аридные экосистемы. 2020. № 2(83). С. 63–71. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10097.

4. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость – площадь»: МИ 1759-87: утв. и введ. в действие ФГУП ВНИИР с 01.01.88. М.: Изд-во стандартов, 1987. 21 с.

5. Масумов Р. Р. Методы измерения расхода воды на реках и каналах, в напорных трубопроводах насосных станций и оросительных систем. Ташкент: Науч.-информ. центр МКБК, 2015. 84 с.

6. Баев О. А., Косиченко Ю. М. Вопросы реконструкции крупных каналов и оценка их эффективности // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 4. С. 287–301. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1250> (дата обращения: 01.08.2022). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-287-301.

7. Эксплуатация оросительных систем / В. И. Ольгаренко, И. А. Чуприн, Н. Ф. Черднichenко, Ю. А. Крылов. М.: Россельхозиздат, 1976. 175 с.

8. Гидромелиоративные каналы с фиксированным руслом. Методика выполнения измерений расхода воды методом «скорость – площадь»: МВИ-05-90: утв. и введ. в действие ПКТИ «Водавтоматика и метрология» с 12.01.90. М.: Водавтоматика и метрология, 1990. 42 с.

References

1. 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 Institution "Volgograd Land Reclamation Department"]. *Aktual'nye napravleniya razvitiya meliorativnogo kompleksa: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu sozdaniya FGBNU "RosNIIPM"* [Actual Directions of Reclamation Complex Development: Proc. of the International Scientific-Practical Conference, Dedicated to the 90th Anniversary of the Creation of the Federal State Budgetary Scientific Institution "RosNIIPM"]. Novocherkassk, pp. 210-218. (In Russian).

2. 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: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1270> [accessed 01.08.2022], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-1-228-244>. (In Russian).

3. Dedova E.B., Goldvarg B.A., Tsagan-Mandzhiev N.L., 2020. *Degradatsiya zemel' Respubliki Kalmykiya: problemy i puti ikh vosstanovleniya* [Land degradation in the Republic of Kalmykia: problems and ways of their restoration]. *Aridnye ekosistemy* [Arid Ecosystems], no. 2(83), pp. 63-71, DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10097. (In Russian).

4. *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 of measurements using the "speed – area" method. MI 1759-87]. Moscow, Publishing House of Standards, 1987, 21 p. (In Russian).

5. Masumov R.R., 2015. *Metody izmereniya raskhoda vody na rekakh i kanalakh, v napornykh truboprovodakh nasosnykh stantsiy i orositel'nykh sistem* [Methods for Measuring Water Flow in Rivers and Canals, in Pressure Pipelines of Pumping Stations and Irrigation Systems]. Tashkent, Scientific Informational Center of ICWC, 84 p. (In Russian).

6. Baev O.A., Kosichenko Yu.M., 2021. [Large canals reconstruction and their efficiency assessment.]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 11, no. 4, pp. 287-301, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1250> [accessed 01.08.2022], DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-287-301. (In Russian).

7. Olgarenko V.I., Chuprin I.A., Cherednichenko N.F., Krylov Yu.A., 1976. *Ekspluatatsiya orositel'nykh sistem* [Irrigation Systems Operation]. Moscow, Rosselkhozizdat Publ., 175 p. (In Russian).

8. *Gidromeliorativnye kanaly s fiksirovannym ruslom. Metodika vypolneniya izmeneniy raskhoda vody metodom “skorost’ – ploshchad’”*: MVI-05-90 [Irrigation canals with a fixed channel. Method for performing water flow measurements using the “velocity – area” method. MVI-05-9], approved of 12.01.1990. Moscow, Water Automation and Metrology, 1990, 42 p. (In Russian).

Информация об авторах

Д. В. Бакланова – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук;

В. Ф. Талалаева – младший научный сотрудник.

Information about the authors

D. V. Baklanova – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences;

V. F. Talalaeva – Junior 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 19.08.2022; одобрена после рецензирования 30.08.2022; принята к публикации 06.09.2022.

The article was submitted 19.08.2022; approved after reviewing 30.08.2022; accepted for publication 06.09.2022.