

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕЛИОРАТИВНО- ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Научная статья

УДК 627.133

Практический опыт градуировки головного регулирующего сооружения Афипской ОС

Герман Александрович Сенчуков¹, Вячеслав Дмитриевич Гостищев²,
Дмитрий Викторович Мартынов³

^{1, 2, 3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹g19752011@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4185-3520>

²nb515@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0868-0712>

³dimas-8901@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4797-8973>

Аннотация. Цель: разработка и обоснование градуировочной зависимости расхода воды от величины открытия затвора головного регулирующего сооружения Афипской оросительной системы (Республика Адыгея) для обеспечения точного и экономически эффективного водоучета. **Материалы и методы.** В апреле 2025 г. на объекте выполнены полевые гидрометрические измерения с использованием акустического профилографа при трех уровнях напора в верхнем бьефе (50, 150 и 250 см) и пошаговых значениях поднятия щита (от 10 до 60 см). Измерения проводились в гидрометрическом створе, расположенном на расстоянии 300 м ниже по течению от регулирующего сооружения. Камеральная обработка включала построение линейных регрессионных зависимостей расхода от открытия затвора для каждого уровня напора, а также экстраполяцию полученных зависимостей за пределы экспериментальных диапазонов – до 100 см по открытию щита и до 350 см по уровню воды в верхнем бьефе. **Результаты.** Максимальная погрешность измерений не превысила 5 %, что соответствует требованиям ГОСТ Р 71113-2023. Установлены линейные функциональные зависимости расхода от гидравлических параметров, на основе которых разработана градуировочная таблица, охватывающая диапазоны открытия щита 5–100 см и уровней воды в верхнем бьефе 50–350 см. **Выводы.** Предложенный подход позволяет надежно прогнозировать расход воды на основе показаний уровня воды и положения затвора без необходимости проведения дополнительных измерений в реальном времени. Полученные результаты подтверждают возможность внедрения точного и экономически эффективного водоучета на оросительных системах и могут быть рекомендованы к применению на аналогичных объектах в Российской Федерации.

Ключевые слова: градуировка, головное сооружение, Афипская оросительная система, профилограф, водоучет, мелиорация, расход воды, оросительная сеть

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения» (г. Новочеркасск, 10 октября 2025 г.).

Для цитирования: Сенчуков Г. А., Гостищев В. Д., Мартынов Д. В. Практический опыт градуировки головного регулирующего сооружения Афипской ОС // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 97, № 3. С. 1–16.

MODERN PROBLEMS OF LAND RECLAMATION AND WATER INDUSTRIAL COMPLEX AND WAYS TO SOLVE THEM

Original article

Practical experience in the regulating headworks calibration of the Afipskaya Irrigation System

German A. Senchukov¹, Vyacheslav D. Gostishchev², Dmitry V. Martynov³

^{1, 2, 3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹g19752011@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4185-3520>

²nb515@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0868-0712>

³dimas-8901@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4797-8973>

Abstract. Purpose: to develop and substantiate a calibration dependence of water discharge on the gate opening angle of the head regulating structure of the Afipskaya irrigation system (Republic of Adygea) to ensure accurate and cost-effective water metering. **Materials and methods.** In April 2025, field hydrometric measurements were performed at the facility using an acoustic profilograph at three head pressure levels in the upper pool (50, 150, and 250 cm) and step values of the screen lift (from 10 to 60 cm). Measurements were carried out at a hydrometric cross-section located 300 m downstream of the headworks. The office analysis included constructing linear regression relationships between flow rate and gate opening for each head level, as well as extrapolating the resulting relationships beyond the experimental ranges – up to 100 cm for gate opening and up to 350 cm for upstream water levels. **Results.** The maximum measured error did not exceed 5 %, which meets the requirements of GOST R 71113-2023. Linear functional relationships between water discharge and hydraulic parameters which were used to develop a calibration table covering gate opening ranges of 5–100 cm and upstream water levels of 50–350 cm were determined. **Conclusions.** The proposed approach enables reliable forecasting of water discharge based on water level and gate position readings without the need for additional real-time measurements. The obtained results confirm the feasibility of implementing accurate and cost-effective water metering in irrigation systems and can be recommended for use at similar facilities in the Russian Federation.

Keywords: calibration, headworks, Afipskaya irrigation system, profilograph, water metering, land reclamation, water consumption, irrigation network

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 10, 2025).

For citation: Senchukov G. A., Gostishchev V. D., Martynov D. V. Practical experience in the regulating headworks calibration of the Afipskaya Irrigation System. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2025;97(3):1–16. (In Russ.).

Введение. В настоящее время существует большое количество технических решений по оптимизации и автоматизации средств водоучета [1–6]. При их помощи измеряют уровни воды и величины открытия (поднятия) регулирующих сооружений. Однако для автоматизированного пересчета этих измеряемых параметров расхода воды необходимо наличие функциональных зависимостей, связывающих гидравлические характеристики сооружения с объемом пропускаемой воды. Процедура установления таких зависимостей называется градуировкой¹ [7–9].

¹ГОСТ Р 51657.5-2002. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Способ измерения расходов воды с использованием ультразвуковых (акустических) измерителей скорости. Общие технические требования. Введ. 2003-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2002. 15 с.

Ввиду значительного разнообразия компоновок мелиоративных систем, включая различия в геометрии магистральных каналов, типах водозаборных и регулирующих сооружений, а также гидрологических условиях, каждая градуировка носит индивидуальный характер. Это обуславливает высокую специфику полевых и камеральных работ, требующих адаптации подходов к условиям конкретного объекта. В таких условиях практический опыт проведения градуировочных работ приобретает особую ценность: он позволяет не только обеспечить точность учета воды, но и сформировать основу для последующих исследований на аналогичных объектах. В связи с этим целью настоящего исследования являлась разработка и обоснование градуировочной зависимости расхода воды от величины открытия затвора головного регулирующего сооружения Афипской оросительной системы (Республика Адыгея) для обеспечения точного и экономически эффективного водоучета.

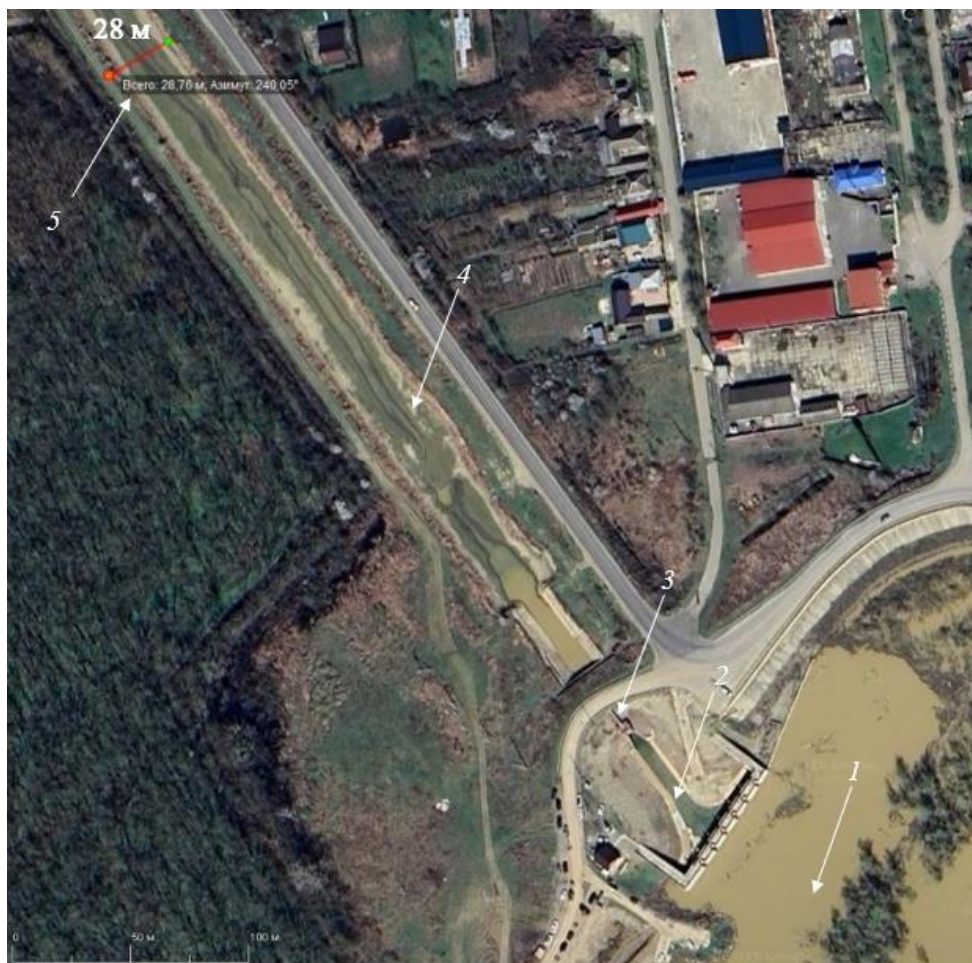
Материалы и методы. Объектом исследования выступает головное регулирующее сооружение магистрального канала Афипской оросительной системы, расположенное в Тахтамукайском районе Республики Адыгея на выходе из аванкамеры после Шапсугского водохранилища (рисунок 1) [2].

Согласно данным информационного портала ФГБНУ ВНИИ «Радуга», фактическая площадь орошения составляет 2 440 га, годовой объем водоподачи – 27 917,6 тыс. м³ ².

С 22 по 24 апреля 2025 г. выполнялись измерения расходных характеристик водного потока на участке Афипского магистрального канала на гидрометрическом створе, расположенном на расстоянии 300 м от градуируемого ГТС³ (рисунок 2) с помощью измерителя скорости водного потока – профилографа (рисунок 3) [10].

²Афипская ОС. Паспорт мелиоративной системы // Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга» [Электронный ресурс]. URL: <https://inform-raduga.ru/gts/4408> (дата обращения: 24.09.2025).

³ГОСТ Р 71854-2024. Системы и сооружения мелиоративные. Водораспределение и водоучет на оросительной сети. Градуировка регулирующих гидротехнических сооружений. Общие требования. Введ. 2025-07-01. М.: Росстандарт, 2024. 40 с.



1 – Шапсугское водохранилище; 2 – аванкамера; 3 – головное гидротехническое сооружение; 4 – магистральный канал Афипской оросительной системы; 5 – гидрометрический створ

1 – Shapsug Reservoir; 2 – intake chamber; 3 – headworks;
 4 – main canal of the Afipskaya irrigation system; 5 – hydrologic section

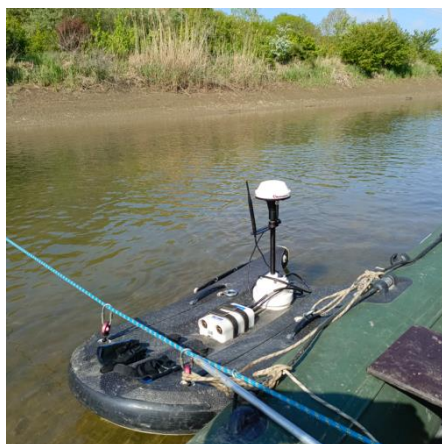
Рисунок 1 – План-схема участка проведения гидрометрических измерений

Figure 1 – Layout of the hydrometric measurement site



Рисунок 2 – Гидрометрический створ (автор фото В. Д. Гостищев)

Figure 2 – Hydrometric cross-section (photo by V. D. Gostishchev)



**Рисунок 3 – Измеритель скорости водного потока
 (автор фото В. Д. Гостищев)**

Figure 3 – Water flow meter (photo by V. D. Gostishchev)

Измерения расходов воды в гидрометрическом створе выполнялись согласно Программе производства работ при трех уровнях воды в верхнем бьефе (ВБ) головного сооружения: 50, 150 и 250 см и 10 диапазонах открытия затвора (от 10 до 60 см).

Результаты и обсуждение. По итогам выполненных измерений были получены следующие результаты расходных характеристик (таблица 1).

**Таблица 1 – Ведомость измеренных расходов оросительной воды
 в Афипском магистральном канале**

Table 1 – Register of measured irrigation water discharge in the Afipskiy Main Canal

Поднятие щита, см	Глубина, макс, см	Расход Q_1 , м ³ /с	Расход Q_2 , м ³ /с	Средний расход $Q_{ср.}$, м ³ /с	Погреш- ность изме- рений, %	Отчет по рей- ке в нижнем бьефе, см
1	2	3	4	5	6	7
Уровень воды в верхнем бьефе головного сооружения – 50 см						
10	1,00	1,989	2,071	2,03	4	153
15	1,01	2,431	2,509	2,47	3,1	154
20	1,02	3,052	3,056	3,054	0,1	155
25	1,04	3,972	4,178	4,075	4,9	158
30	1,06	4,661	4,442	4,551	4,7	159
35	1,10	5,296	5,548	5,422	4,5	164
40	1,13	5,993	6,089	6,041	1,6	168
45	1,20	7,137	7,169	7,153	0,4	176
50	1,27	7,928	7,629	7,778	3,8	182
55	1,34	8,325	8,477	8,401	1,8	190
60	1,42	8,929	8,781	8,855	1,7	198

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

1	2	3	4	5	6	7
Уровень воды в верхнем бьефе головного сооружения – 150 см						
10	0,48	0,819	0,862	0,841	5	108
15	0,58	1,992	1,933	1,962	3	118
20	0,66	2,873	3,015	2,944	4,7	125
25	0,74	3,824	3,714	3,769	2,9	130
30	0,857	5,267	5,234	5,251	0,6	139
35	0,98	6,787	6,63	6,709	2,3	150
40	1,07	7,305	7,635	7,47	4,3	162
45	1,16	8,296	8,006	8,151	3,5	170
50	1,30	9,31	9,086	9,198	2,4	180
55	1,44	10,168	10,04	10,104	1,3	195
60	1,57	10,874	10,869	10,871	0	199
Уровень воды в верхнем бьефе головного сооружения – 250 см						
10	0,41	1,624	1,66	1,642	2,2	103
15	0,54	2,303	2,389	2,346	3,6	116
20	0,68	3,503	3,631	3,567	3,5	125
25	0,82	4,585	4,787	4,686	4,2	138
30	0,96	5,905	6,183	6,044	4,5	152
35	1,09	6,985	7,159	7,072	2,4	164
40	1,23	7,592	7,886	7,739	3,7	173
45	1,37	8,353	8,603	8,478	2,9	187
50	1,51	9,946	10,328	10,137	3,7	196
55	1,65	10,336	10,708	10,522	3,5	211
60	1,78	11,384	11,9	11,642	4,3	221

Максимальная погрешность не превысила 5 %, что соответствует требованиям ГОСТ Р 71113-2023⁴. Минимальная погрешность – 0 % – зафиксирована при ВБ = 150 см и $h = 60$ см.

Для построения батиграфической зависимости расхода (Q расч.) от уровня поднятия щита (h) в диапазоне измеренных значений применен метод интерполяции – продолжение установленной линейной зависимости за пределы экспериментальных данных с использованием уравнения регрессии (рисунки 4–6).

Среднее абсолютное отклонение расчетных значений от измеренных не превышает 0,5 м³/с, что подтверждает адекватность линейной модели.

⁴ГОСТ Р 71113-2023. Системы и сооружения мелиоративные. Водораспределение и водоучет на оросительной сети. Градуировка гидрометрических сооружений «фиксированное русло». Общие требования. Введ. 2024-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2023. 28 с.

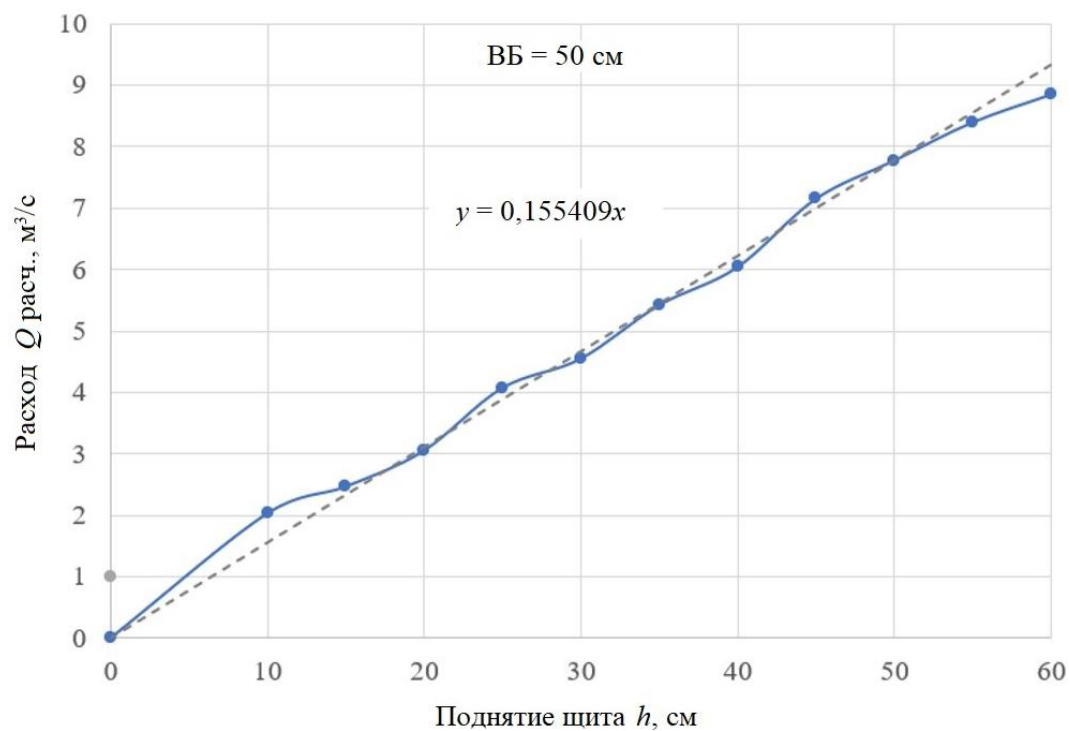


Рисунок 4 – График зависимости Q от h при уровне ВБ = 50 см
Figure 4 – Dependency graph of Q on h at the upstream water level of 50 cm

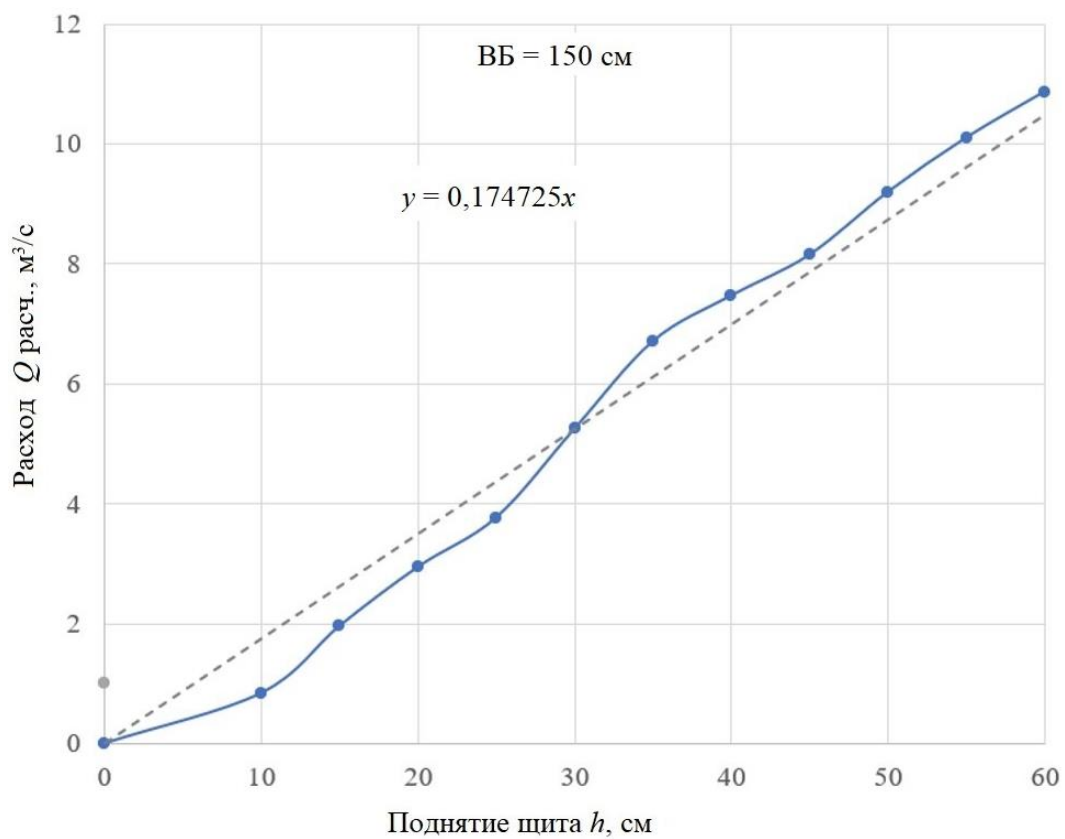


Рисунок 5 – График зависимости Q от h при уровне ВБ = 150 см
Figure 5 – Dependency graph of Q on h at the upstream water level of 150 cm

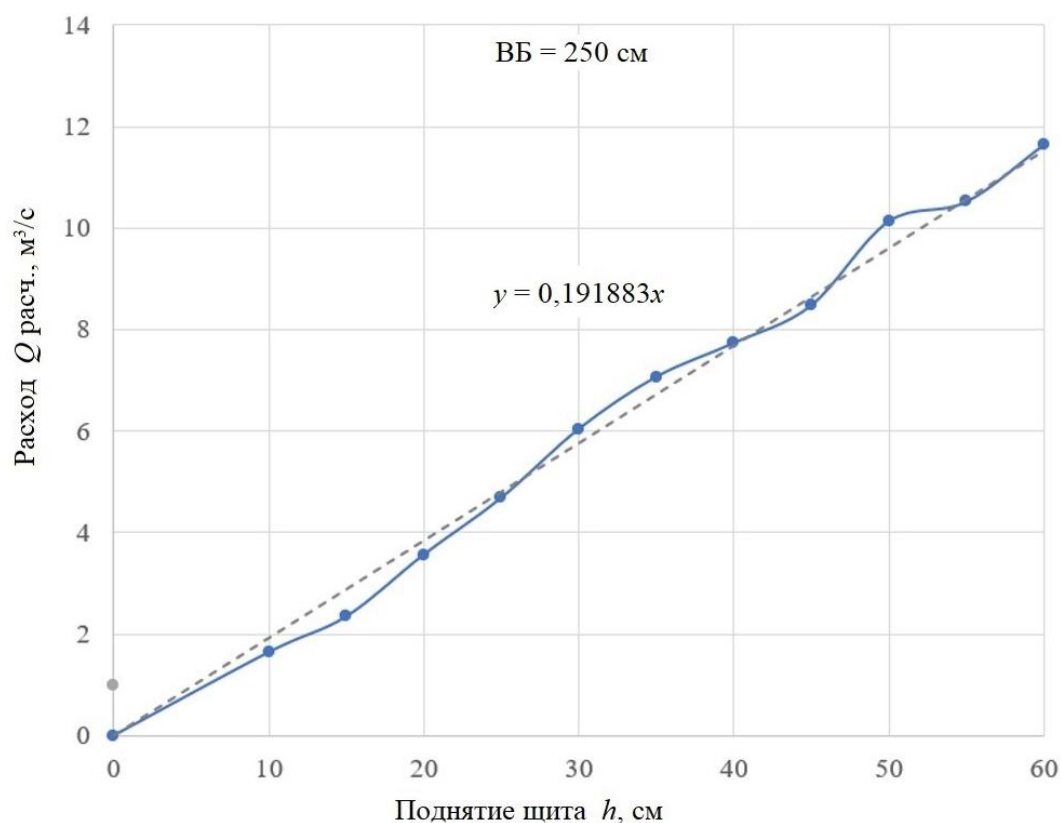


Рисунок 6 – График зависимости Q от h при уровне ВБ = 250 см
Figure 6 – Dependency graph of Q on h at the upstream water level of 250 cm

Для построения батиграфической зависимости расхода (Q расч.) от уровня поднятия щита (h) за пределами диапазона измеренных значений применен метод экстраполяции – продолжение установленной линейной регрессионной зависимости за границы экспериментальных данных (60 см по открытию щита и 250 см по уровню в верхнем бьефе) с использованием уравнения, полученного по результатам полевых измерений (таблица 2, рисунок 7).

Таблица 2 – Экстраполяция расхода воды при поднятии щита на 60 см при уровне воды в верхнем бьефе головного сооружения, соответствующего 350 см

Table 2 – Extrapolation of water discharge when raising the screen by 60 cm with a water level corresponding to 350 cm in upstream of the headworks

Уровень воды в верхнем бьефе головного сооружения, см	Расчетный расход Q расч., м³/с	Метод определения
50	9,325	Интерполяция, рисунок 4
150	10,48	Интерполяция, рисунок 5
250	11,51	Интерполяция, рисунок 6
350	12,61	Экстраполяция, $y = 0,0109x + 8,7997$

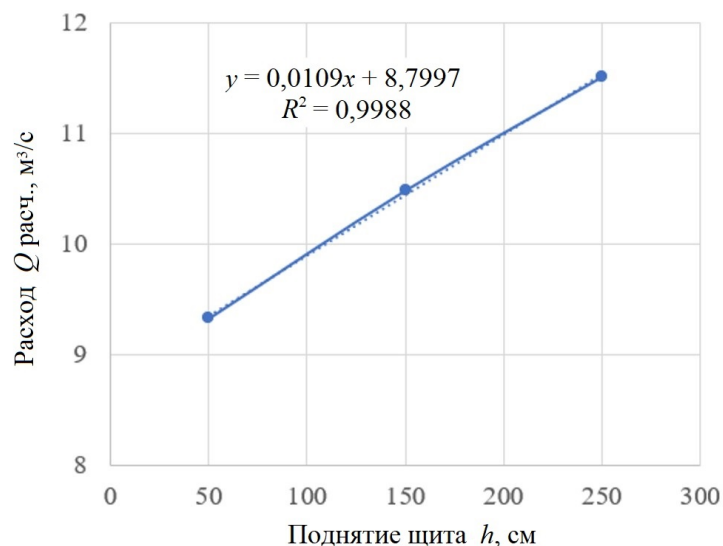


Рисунок 7 – График зависимости Q от h при уровне ВБ = 350 см и поднятии щита на 60 см

Figure 7 – Dependency graph of Q on h at the upstream water level of 350 cm and raising the screen by 60 cm

На основании проэкстраполированного расхода (таблица 2, строка 4) и характера линейной зависимости расхода от уровня (рисунки 4–6) получен график и уравнение для расхода воды при поднятии щита на 60 см при уровне воды в верхнем бьефе головного сооружения, соответствующего 350 см (рисунок 8).

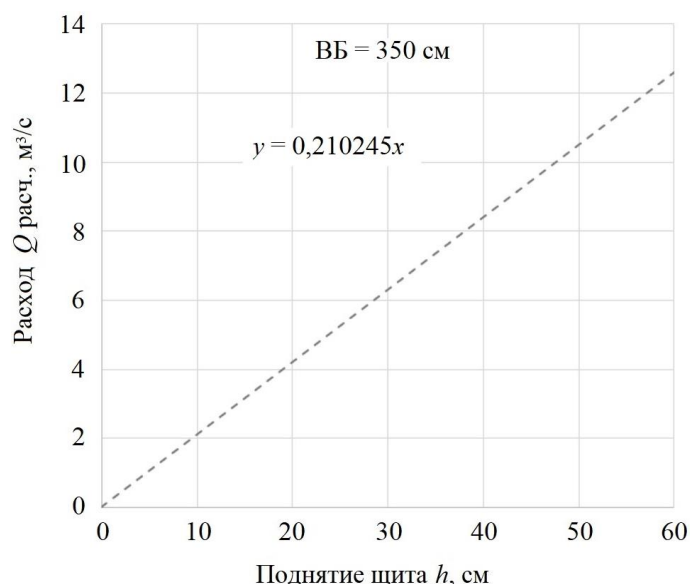


Рисунок 8 – График зависимости Q от h при уровне ВБ = 350 см и различном шаге поднятии щита

Figure 8 Dependency graph of Q on h at the upstream water level of 350 cm and at different steps of raising the screen

Для установления функциональных зависимостей расходов воды от величины поднятия щита (в диапазоне 0–100 см, включая измеренные 0–60 см и экстраполированные 60–100 см), и от уровня воды в верхнем бьефе аванкамеры (в диапазоне 50–350 см, включая измеренные 50–250 см и экстраполированные 250–350 см) промежуточные результаты расчетов сведены в табличную форму (таблица 3).

Таблица 3 – Экстраполяция расхода воды при поднятии щита на 60 см при уровне воды в верхнем бьефе головного сооружения, соответствующего 350 см

Table 3 – Extrapolation of water discharge when raising the screen by 60 cm with a water level corresponding to 350 cm in upstream of the headworks

Поднятие щита h , см	Уровень воды в ВБ головного сооружения, см				Функциональная зависимость расхода u от уровня ВБ x
	50	150	250	350	
5	0,78	0,87	0,959	1,051	$y = 0,0009x + 0,7346$
10	1,55	1,75	1,919	2,102	$y = 0,0018x + 1,4653$
15	2,33	2,62	2,878	3,154	$y = 0,0027x + 2,1995$
20	3,11	3,49	3,838	4,205	$y = 0,0036x + 2,9342$
25	3,89	4,37	4,797	5,256	$y = 0,0045x + 3,6733$
30	4,66	5,24	5,756	6,307	$y = 0,0055x + 4,3994$
35	5,44	6,12	6,716	7,359	$y = 0,0064x + 5,1382$
40	6,22	6,99	7,675	8,41	$y = 0,0073x + 5,8728$
45	6,99	7,86	8,635	9,461	$y = 0,0082x + 6,5989$
50	7,77	8,74	9,594	10,51	$y = 0,0091x + 7,338$
55	8,55	9,61	10,55	11,56	$y = 0,01x + 8,0727$
60	9,32	10,48	11,51	12,62	$y = 0,0109x + 8,7984$
65	10,1	11,36	12,47	13,67	$y = 0,0118x + 9,5375$
70	10,88	12,23	13,43	14,72	$y = 0,0127x + 10,272$
75	11,66	13,1	14,39	15,77	$y = 0,0136x + 11,007$
80	12,43	13,98	15,35	16,82	$y = 0,0145x + 11,737$
85	13,21	14,85	16,31	17,87	$y = 0,0154x + 12,472$
90	13,99	15,73	17,27	18,92	$y = 0,0163x + 13,211$
95	14,76	16,6	18,23	19,97	$y = 0,0173x + 13,937$
100	15,54	17,47	19,19	21,03	$y = 0,0182x + 14,671$

Полученные функциональные зависимости использованы для заполнения градуировочной таблицы в широком диапазоне переменных характеристик работы головного регулирующего сооружения (таблица 4).

Таблица 4 – Таблица расходов воды головного сооружения магистрального канала Афипской оросительной системы (Тахтамукайский филиал ФГБУ «Управление «Адыгеемелиоводхоз»)

Table 4 – Table of water discharge of the headworks of the main canal of the Afipskaya Irrigation System (Takhtamuki branch of the Federal State Budgetary Institution “Adygeyamelovodkhoz Administration”)

ВБ, см	Открытие щита h , см																			
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
50	0,78	1,56	2,33	3,11	3,9	4,67	5,46	6,24	7,01	7,79	8,57	9,34	10,13	10,91	11,69	12,46	13,24	14,03	14,80	15,58
55	0,78	1,56	2,35	3,13	3,92	4,70	5,49	6,27	7,05	7,84	8,62	9,40	10,19	10,97	11,76	12,53	13,32	14,11	14,89	15,67
60	0,79	1,57	2,36	3,15	3,94	4,73	5,52	6,31	7,09	7,88	8,67	9,45	10,25	11,03	11,82	12,61	13,4	14,19	14,98	15,76
65	0,79	1,58	2,38	3,17	3,97	4,76	5,55	6,35	7,13	7,93	8,72	9,51	10,30	11,10	11,89	12,68	13,47	14,27	15,06	15,85
70	0,8	1,59	2,39	3,19	3,99	4,78	5,59	6,38	7,17	7,98	8,77	9,56	10,36	11,16	11,96	12,75	13,55	14,35	15,15	15,95
75	0,80	1,60	2,40	3,20	4,01	4,81	5,62	6,42	7,21	8,02	8,82	9,62	10,42	11,22	12,03	12,82	13,63	14,43	15,23	16,04
80	0,81	1,61	2,42	3,22	4,03	4,84	5,65	6,46	7,25	8,07	8,87	9,67	10,48	11,29	12,10	12,9	13,70	14,52	15,32	16,13
85	0,81	1,62	2,43	3,24	4,06	4,87	5,68	6,49	7,30	8,11	8,92	9,72	10,54	11,35	12,16	12,97	13,78	14,60	15,41	16,22
90	0,82	1,63	2,44	3,26	4,08	4,89	5,71	6,53	7,34	8,16	8,97	9,78	10,60	11,42	12,23	13,04	13,86	14,68	15,49	16,31
95	0,82	1,64	2,46	3,28	4,10	4,92	5,75	6,57	7,38	8,20	9,02	9,83	10,66	11,48	12,30	13,11	13,94	14,76	15,58	16,40
100	0,82	1,65	2,47	3,29	4,12	4,95	5,78	6,60	7,42	8,25	9,07	9,89	10,72	11,54	12,37	13,19	14,01	14,84	15,67	16,49
105	0,83	1,65	2,48	3,31	4,15	4,98	5,81	6,64	7,46	8,29	9,12	9,94	10,78	11,61	12,44	13,26	14,09	14,92	15,75	16,58
110	0,83	1,66	2,50	3,33	4,17	5,00	5,84	6,68	7,50	8,34	9,17	10,00	10,84	11,67	12,5	13,33	14,17	15,00	15,84	16,67
115	0,84	1,67	2,51	3,35	4,19	5,03	5,87	6,71	7,54	8,38	9,22	10,05	10,89	11,73	12,57	13,40	14,24	15,09	15,93	16,76
120	0,84	1,68	2,52	3,37	4,21	5,06	5,91	6,75	7,58	8,43	9,27	10,11	10,95	11,80	12,64	13,48	14,32	15,17	16,01	16,86
125	0,85	1,69	2,54	3,38	4,24	5,09	5,94	6,79	7,62	8,48	9,32	10,16	11,01	11,86	12,71	13,55	14,40	15,25	16,10	16,95
130	0,85	1,70	2,55	3,40	4,26	5,11	5,97	6,82	7,66	8,52	9,37	10,22	11,07	11,92	12,78	13,62	14,47	15,33	16,19	17,04
135	0,86	1,71	2,56	3,42	4,28	5,14	6,00	6,86	7,71	8,57	9,42	10,27	11,13	11,99	12,84	13,69	14,55	15,41	16,27	17,13
140	0,86	1,72	2,58	3,44	4,3	5,17	6,03	6,89	7,75	8,61	9,47	10,32	11,19	12,05	12,91	13,77	14,63	15,49	16,36	17,22
145	0,87	1,73	2,59	3,46	4,33	5,20	6,07	6,93	7,79	8,66	9,52	10,38	11,25	12,11	12,98	13,84	14,71	15,57	16,45	17,31
150	0,87	1,74	2,60	3,47	4,35	5,22	6,10	6,97	7,83	8,70	9,57	10,43	11,31	12,18	13,05	13,91	14,78	15,66	16,53	17,40
155	0,87	1,74	2,62	3,49	4,37	5,25	6,13	7,00	7,87	8,75	9,62	10,49	11,37	12,24	13,12	13,98	14,86	15,74	16,62	17,49
160	0,88	1,75	2,63	3,51	4,39	5,28	6,16	7,04	7,91	8,79	9,67	10,54	11,43	12,30	13,18	14,06	14,94	15,82	16,71	17,58

Продолжение таблицы 4

Table 4 continued

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	15	18	19	20	21
165	0,88	1,76	2,65	3,53	4,42	5,31	6,19	7,08	7,95	8,84	9,72	10,60	11,48	12,37	13,25	14,13	15,01	15,90	16,79	17,67
170	0,89	1,77	2,66	3,55	4,44	5,33	6,23	7,11	7,99	8,89	9,77	10,65	11,54	12,43	13,32	14,20	15,09	15,98	16,88	17,77
175	0,89	1,78	2,67	3,56	4,46	5,36	6,26	7,15	8,03	8,93	9,82	10,71	11,60	12,49	13,39	14,27	15,17	16,06	16,96	17,86
180	0,90	1,79	2,69	3,58	4,48	5,39	6,29	7,19	8,07	8,98	9,87	10,76	11,66	12,56	13,46	14,35	15,24	16,15	17,05	17,95
185	0,90	1,80	2,70	3,60	4,51	5,42	6,32	7,22	8,12	9,02	9,92	10,81	11,72	12,62	13,52	14,42	15,32	16,23	17,14	18,04
190	0,91	1,81	2,71	3,62	4,53	5,44	6,35	7,26	8,16	9,07	9,97	10,87	11,78	12,69	13,59	14,49	15,4	16,31	17,22	18,13
195	0,91	1,82	2,73	3,64	4,55	5,47	6,39	7,30	8,20	9,11	10,02	10,92	11,84	12,75	13,66	14,56	15,48	16,39	17,31	18,22
200	0,91	1,83	2,74	3,65	4,57	5,50	6,42	7,33	8,24	9,16	10,07	10,98	11,90	12,81	13,73	14,64	15,55	16,47	17,40	18,31
205	0,92	1,83	2,75	3,67	4,60	5,53	6,45	7,37	8,28	9,20	10,12	11,03	11,96	12,88	13,80	14,71	15,63	16,55	17,48	18,40
210	0,92	1,84	2,77	3,69	4,62	5,55	6,48	7,41	8,32	9,25	10,17	11,09	12,02	12,94	13,86	14,78	15,71	16,63	17,57	18,49
215	0,93	1,85	2,78	3,71	4,64	5,58	6,51	7,44	8,36	9,29	10,22	11,14	12,07	13,00	13,93	14,85	15,78	16,72	17,66	18,58
220	0,93	1,86	2,79	3,73	4,66	5,61	6,55	7,48	8,40	9,34	10,27	11,20	12,13	13,07	14,00	14,93	15,86	16,8	17,74	18,68
225	0,94	1,87	2,81	3,74	4,69	5,64	6,58	7,52	8,44	9,39	10,32	11,25	12,19	13,13	14,07	15,00	15,94	16,88	17,83	18,77
230	0,94	1,88	2,82	3,76	4,71	5,66	6,61	7,55	8,48	9,43	10,37	11,31	12,25	13,19	14,14	15,07	16,01	16,96	17,92	18,86
235	0,95	1,89	2,83	3,78	4,73	5,69	6,64	7,59	8,53	9,48	10,42	11,36	12,31	13,26	14,20	15,14	16,09	17,04	18,00	18,95
240	0,95	1,90	2,85	3,80	4,75	5,72	6,67	7,62	8,57	9,52	10,47	11,41	12,37	13,32	14,27	15,22	16,17	17,12	18,09	19,04
245	0,96	1,91	2,86	3,82	4,78	5,75	6,71	7,66	8,61	9,57	10,52	11,47	12,43	13,38	14,34	15,29	16,25	17,20	18,18	19,13
250	0,96	1,92	2,87	3,83	4,80	5,77	6,74	7,70	8,65	9,61	10,57	11,52	12,49	13,45	14,41	15,36	16,32	17,29	18,26	19,22
255	0,96	1,92	2,89	3,85	4,82	5,80	6,77	7,73	8,69	9,66	10,62	11,58	12,55	13,51	14,48	15,43	16,40	17,37	18,35	19,31
260	0,97	1,93	2,90	3,87	4,84	5,83	6,8	7,77	8,73	9,70	10,67	11,63	12,61	13,57	14,54	15,51	16,48	17,45	18,44	19,4
265	0,97	1,94	2,92	3,89	4,87	5,86	6,83	7,81	8,77	9,75	10,72	11,69	12,66	13,64	14,61	15,58	16,55	17,53	18,52	19,49
270	0,98	1,95	2,93	3,91	4,89	5,88	6,87	7,84	8,81	9,8	10,77	11,74	12,72	13,70	14,68	15,65	16,63	17,61	18,61	19,59
275	0,98	1,96	2,94	3,92	4,91	5,91	6,90	7,88	8,85	9,84	10,82	11,80	12,78	13,76	14,75	15,72	16,71	17,69	18,69	19,68
280	0,99	1,97	2,96	3,94	4,93	5,94	6,93	7,92	8,89	9,89	10,87	11,85	12,84	13,83	14,82	15,8	16,78	17,78	18,78	19,77
285	0,99	1,98	2,97	3,96	4,96	5,97	6,96	7,95	8,94	9,93	10,92	11,90	12,90	13,89	14,88	15,87	16,86	17,86	18,87	19,86
290	1,00	1,99	2,98	3,98	4,98	5,99	6,99	7,99	8,98	9,98	10,97	11,96	12,96	13,96	14,95	15,94	16,94	17,94	18,95	19,95
295	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,02	7,03	8,03	9,02	10,02	11,02	12,01	13,02	14,02	15,02	16,01	17,02	18,02	19,04	20,04
300	1,00	2,01	3,01	4,01	5,02	6,05	7,06	8,06	9,06	10,07	11,07	12,07	13,08	14,08	15,09	16,09	17,09	18,1	19,13	20,13

Продолжение таблицы 4

Table 4 continued

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
305	1,01	2,01	3,02	4,03	5,05	6,08	7,09	8,10	9,10	10,11	11,12	12,12	13,14	14,15	15,16	16,16	17,17	18,18	19,21	20,22
310	1,01	2,02	3,04	4,05	5,07	6,10	7,12	8,14	9,14	10,16	11,17	12,18	13,2	14,21	15,22	16,23	17,25	18,26	19,3	20,31
315	1,02	2,03	3,05	4,07	5,09	6,13	7,15	8,17	9,18	10,20	11,22	12,23	13,25	14,27	15,29	16,30	17,32	18,35	19,39	20,40
320	1,02	2,04	3,06	4,09	5,11	6,16	7,19	8,21	9,22	10,25	11,27	12,29	13,31	14,34	15,36	16,38	17,40	18,43	19,47	20,50
325	1,03	2,05	3,08	4,10	5,14	6,19	7,22	8,25	9,26	10,30	11,32	12,34	13,37	14,40	15,43	16,45	17,48	18,51	19,56	20,59
330	1,03	2,06	3,09	4,12	5,16	6,21	7,25	8,28	9,30	10,34	11,37	12,4	13,43	14,46	15,50	16,52	17,55	18,59	19,65	20,68
335	1,04	2,07	3,10	4,14	5,18	6,24	7,28	8,32	9,35	10,39	11,42	12,45	13,49	14,53	15,56	16,59	17,63	18,67	19,73	20,77
340	1,04	2,08	3,12	4,16	5,2	6,27	7,31	8,35	9,39	10,43	11,47	12,5	13,55	14,59	15,63	16,67	17,71	18,75	19,82	20,86
345	1,05	2,09	3,13	4,18	5,23	6,30	7,35	8,39	9,43	10,48	11,52	12,56	13,61	14,65	15,70	16,74	17,79	18,83	19,91	20,95
350	1,05	2,10	3,14	4,19	5,25	6,32	7,38	8,43	9,47	10,52	11,57	12,61	13,67	14,72	15,77	16,81	17,86	18,92	19,99	21,04

Выводы

1 Практический опыт градуировки головного сооружения Афипской ОС подтвердил высокую эффективность применения акустического профилографа. Погрешность измерений находилась в пределах 0–5 %, что соответствует нормативным требованиям.

2 Построенные линейные зависимости позволяют с высокой точностью прогнозировать расход воды при различных гидравлических режимах.

3 Разработанная градуировочная таблица может быть использована эксплуатационными службами для оперативного определения расхода воды без проведения дополнительных измерений.

4 Представленный опыт рекомендован к применению на других оросительных системах России.

Список источников

1. Автоматизация водоподачи и учет воды на внутривозвратной оросительной системе: монография / А. С. Овчинников, А. А. Пахомов, Н. А. Колобанова [и др.]. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2012. 188 с. ISBN: 978-5-85536-711-9. EDN: WNATLJ.

2. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. Новочеркасск: Геликон, 2013. В 2 ч. Ч. 1. 283 с. EDN: TRANID.

3. Гидромелиоративные системы нового поколения / Б. Б. Шумаков, С. Я. Безднина, Л. В. Кирейчева [и др.]. М.: ВНИИГиМ, 1997. 109 с. EDN: YIDOEL.

4. Ольгаренко В. И., Ольгаренко Г. В., Ольгаренко И. В. Оптимизация процессов водопользования на основе методологии ландшафтно-экологического подхода: монография / под общ. ред. чл.-кор. РАН В. И. Ольгаренко. Новочеркасск: Лик, 2019. 623 с. EDN: UZWMWT.

5. Коржов В. И. Научная и информационно-технологическая поддержка задач водораспределения на оросительных системах. Новочеркасск: Лик, 2023. 168 с. EDN: QXBZGB.

6. Жезмер В. Б. Автоматизация системы мониторинга ГТС мелиоративного комплекса в вопросах сбора, хранения и обработки полученной информации // Основные результаты научных исследований института за 2017 г.: сб. науч. тр. М.: ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2018. С. 158–169. EDN: UUTCQM.

7. 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. EDN: MKINXR.

8. Чураев А. А., Шепелев А. Е., Юченко Л. В. Оценка работоспособности испытываемого средства водоучета в диапазоне допустимой погрешности измерений // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 1. С. 228–244. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-228-244. EDN: CHNBCZ.

9. Бакланова Д. В., Талалаева В. Ф. Определение зависимости расхода от глубины водного потока в контрольном створе магистрального канала // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2022. № 3(87). С. 12–18. EDN: HXYAPY.

10. Atashi, V. Lim Ye. H., Mahmood T. H. Cold Region River Flood Mapping and Scour Potential Prediction: Insights from Hydraulic Model Using Advanced Autonomous Surface Vehicles // Environmental Processes. 2024. Vol. 11, no. 3. article number. DOI: 10.1007/s40710-024-00721-7. EDN: FWMWPR.

References

1. Ovchinnikov A.S., Pakhomov A.A., Kolobanova N.A. [et al.], 2012. *Avtomatizatsiya vodopodachi i uchet vody na vnutrikhozyaystvennoy orositel'noy sisteme: monografiya* [Automation of Water Supply and Water Metering in the On-Farm Irrigation System: monograph]. Volgograd, Volgograd State Agrarian University, 188 p., ISBN: 978-5-85536-711-9, EDN: WNATLJ. (In Russian).

2. Shchedrin V. N., Kolganov A.V., Vasiliev S.M., Churaev A.A., 2013. *Orositel'nye sistemy Rossii: ot pokoleniya k pokoleniyu: monografiya. V 2 ch. Ch. 1* [Irrigation Systems of Russia: from Generation to Generation: monograph. In 2 parts. Part 1]. Novocherkassk, Helikon Publ., 283 p., EDN: TRAHID. (In Russian).

3. Shumakov B.B., Bezdina S.Ya., Kireycheva L.V. [et al.], 1997. *Gidromeliorativnye sistemy novogo pokoleniya* [New Generation Irrigation Systems]. Moscow, VNIIGiM, 109 p., EDN: YIDOEL. (In Russian).

4. Olgarenko V.I., Olgarenko G.V., Olgarenko I.V., 2019. *Optimizatsiya protsessov vodopol'zovaniya na osnove metodologii landshaftno-ekologicheskogo podkhoda: monografiya* [Optimization of the Water Use Processes Based on the Landscape-Ecological Approach Methodology: monograph]. Novocherkassk, Lik Publ., 623 p., EDN: UZWMWT. (In Russian).

5. Korzhov V.I., 2023. *Nauchnaya i informatsionno-tekhnologicheskaya podderzhka zadach vodoraspredeleniya na orositel'nykh sistemakh* [Scientific and Information Technology Support for Water Distribution in Irrigation Systems]. Novocherkassk, Lik Publ., 168 p., EDN: QXBZGB. (In Russian).

6. Zhezmer V.B., 2018. *Avtomatizatsiya sistemy monitoringa GTS meliorativnogo kompleksa v voprosakh sbora, khraneniya i obrabotki poluchennoy informatsii* [Automation of the system of monitoring the GTS of the reclamation complex in the questions of the collection, storage and handling of the obtained information]. *Osnovnye rezul'taty nauchnykh issledovaniy instituta za 2017 g.: sb. nauch. tr.* [Main Results of Scientific Research of the Institute for 2017: collect. of scientific papers]. Moscow, VNIIGiM named after A. N. Kostyakov, pp. 158-169, EDN: UUTCQM. (In Russian).

7. Shepelev A.E., Yuchenko L.V., 2024. *K voprosu graduirovki reguliruyushchego gidrotekhnicheskogo sooruzheniya (otkrytogo regulatora) na meliorativnom kanale* [On issue of regulating waterworks (open regulator) calibration on a reclamation canal]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], vol. 94, no. 3, pp. 139-150, EDN: MKIHR. (In Russian).

8. Churaev A.A., Shepelev A.E., Yuchenko L.V., 2022. *Otsenka rabotosposobnosti ispytyvaemogo sredstva vodoucheta v diapazone dopustimoy pogreshnosti izmereniy* [Performance assessment of the monitored water metering device within the range of permissible measurement error]. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Reclamation and Hydraulic Engineering], vol. 12, no. 1, pp. 228-244, DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-228-244, EDN: CHHBCZ. (In Russian).

9. Baklanova D.V., Talalaeva V.F., 2022. *Opredelenie zavisimosti raskhoda ot glubiny vodnogo potoka v kontrol'nom stvore magistral'nogo kanala* [Determination of the dependence of the discharge on the depth of the water flow in the control section of the main canal].

Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya [Ways Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 3(87), pp. 12-18, EDN: HXYAPY. (In Russian).

10. Atashi V., Lim Ye.H., Mahmood T.H., 2024. Cold Region River Flood Mapping and Scour Potential Prediction: Insights from Hydraulic Model Using Advanced Autonomous Surface Vehicles. *Environmental Processes*, vol. 11, no. 3, pp. 46, DOI: 10.1007/s40710-024-00721-7, EDN: FWMWPR.

Информация об авторах

Г. А. Сенчуков – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, g19752011@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4185-3520;

В. Д. Гостищев – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, nb515@mail.ru, AuthorID: 302324, ORCID ID: 0000-0002-0868-0712;

Д. В. Мартынов – младший научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, dimas-8901@rambler.ru, AuthorID: 861395, ORCID ID: 0000-0003-4797-8973.

Information about the authors

G. A. Senchukov – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, g19752011@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4185-3520;

V. D. Gostishchev – Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, nb515@mail.ru, AuthorID: 302324, ORCID ID: 0000-0002-0868-0712;

D. V. Martynov – Junior Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, dimas-8901@rambler.ru, AuthorID: 861395, ORCID ID: 0000-0003-4797-8973.

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 29.09.2025; одобрена после рецензирования 13.10.2025; принята к публикации 05.11.2025.

The article was submitted 29.09.2025; approved after reviewing 13.10.2025; accepted for publication 05.11.2025.