

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 626.824

doi: 10.31774/2712-9357-2026-16-2-91-105

Экспериментальное обоснование длины измерительного участка при реализации метода «уклон – площадь» на оросительных каналах

Мария Владимировна Вайнберг¹, Олег Андреевич Баев²

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

¹oamsrosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4794-3458>

²oleg-baev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

Аннотация. Цель: разработка и экспериментальное обоснование алгоритма гидравлического расчета минимально допустимого расстояния между гидрометрическими створами при реализации метода «уклон – площадь» на каналах мелиоративных систем. **Материалы и методы.** В работе применялось конструктивно-техническое решение по авторскому способу определения расхода воды в каналах мелиоративных систем, реализующему метод «уклон – площадь», с использованием разработанного алгоритма гидравлического расчета основных параметров канала. **Натурные исследования** проводились на канале Р-3 (ПК 243 + 80) Райгородской оросительной системы. Оценка результатов экспериментальных исследований проводилась в сравнении с традиционным методом «скорость – площадь». **Результаты.** Проведены серии натурных опытов на участках оросительного канала протяженностью от 100 до 240 м. Выявлена зависимость максимальной относительной погрешности от длины участка канала. Аналитическим методом установлено, что минимально допустимое расстояние между створами для канала в земляном русле составляет 147 м. При данной длине погрешность разработанного способа, реализующего метод «уклон – площадь», не превышает 2,9 %, что значительно ниже погрешности при применении метода «скорость – площадь» (5,5 %). **Выводы.** Разработанный алгоритм, включающий определение гидравлических параметров (площади живого сечения, ширины канала по свободной поверхности воды, смоченного периметра, гидравлического радиуса, коэффициента Шези в створах), открывает перспективы как для проведения научных гидрометрических исследований, так и для практической организации достоверного водоучета и водоизмерения на каналах мелиоративных систем. Установлена теоретическая зависимость для определения расхода воды по отношению к длине измеряемого участка с величиной аппроксимации $R^2 = 0,9916$, которая позволила обосновать минимально допустимое расстояние между створами для открытых каналов, выполненных в земляном русле.

Ключевые слова: открытый канал, водоучет, расход воды, метод «уклон – площадь», гидрометрический створ, погрешность измерения, земляное русло

Источник финансирования: субсидии на выполнение государственного задания № 082-00063-26 ПР за счет средств федерального бюджета.

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации и гидротехники» (г. Новочеркасск, 28 мая 2026 г.).

Для цитирования: Вайнберг М. В., Баев О. А. Экспериментальное обоснование длины измерительного участка при реализации метода «уклон – площадь» на оросительных каналах // Мелиорация и гидротехника. 2026. Т. 16, № 2. С. 91–105. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-91-105>.



LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Experimental justification of the measuring section length when implementing the slope – area method on irrigation canals

Maria V. Vaynberg¹, Oleg A. Baev²

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

¹oamsrosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4794-3458>

²oleg-baev1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0142-4270>

Abstract. Purpose: to develop and substantiate experimentally an algorithm for hydraulic calculation of the minimum permissible distance between hydrometric cross-sections when implementing the slope – area method on the land reclamation canals. **Materials and methods.** The design and engineering solution for the original method of determining water flow in the canals of reclamation systems that implements the slope – area method, using the developed algorithm for hydraulic calculation of the main canal parameters is used. Field studies were conducted on the R-3 canal (PK 243 + 80) of the Raigorod Irrigation System. The experimental results were compared with the traditional velocity – area method. **Results.** A series of field experiments were conducted on sections of the irrigation canal ranging from 100 to 240 m in length. The dependence of the maximum relative error on the canal section length was revealed. An analytical method has established that the minimum permissible distance between cross-sections for an earth canal is 147 m. For this length, the error of the developed method, which implements the slope – area method, does not exceed 2.9 %, which is significantly lower than the error when using the velocity – area method (5.5 %). **Conclusions.** The developed algorithm, including the determination of hydraulic parameters (cross-sectional area, canal width at the open water surface, wetted perimeter, hydraulic radius, and the Chezy velocity coefficient at the cross-sections), opens up prospects for both scientific hydrometric studies and for the practical organization of reliable water metering and water measurement in canals of reclamation systems. A theoretical dependence for determining water flow relative to the length of the measured section with an approximation value of 0.9916, which made it possible to substantiate the minimum permissible distance between cross-sections for open earth canals was established.

Keywords: open canal, water metering, water flow, slope – area method, hydrometric cross-section, measurement error, earth canal

Funding source: subsidies for the implementation of State Assignment No. 082-00063-26 PR are from the federal budget.

Evaluation of the research results: the fundamental principles of the article were reported at the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists “Current Scientific Research in the Field of Land Reclamation and Hydraulic Engineering” (Novocherkassk, May 28, 2026).

For citation: Vaynberg M. V., Baev O. A. Experimental justification of the measuring section length when implementing the slope – area method on irrigation canals. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2026;16(2):91–105. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2026-16-2-91-105>.

Введение. Эффективное использование водных ресурсов в мелиоративном комплексе неразрывно связано с организацией достоверного, непрерывного и автоматизированного водоучета. Точное измерение расхода воды

в открытых оросительных каналах позволяет оптимизировать водораспределение, снижать потери воды на фильтрацию и испарение, а также удовлетворять агротехнические требования полива сельскохозяйственных культур [1, 2].

В настоящее время в Российской Федерации размещение пунктов водоучета на мелиоративных каналах регулируется нормативными документами, ключевыми из которых являются национальные стандарты и своды правил, которые устанавливают требования к их созданию, оснащению и последующей эксплуатации. Так, ГОСТ Р 71925-2025¹ устанавливает нормы технологического проектирования для строящихся и реконструируемых сооружений в составе пунктов водоучета на мелиоративной сети. Однако следует отметить, что данный стандарт распространяется только на строящиеся и реконструируемые системы, это создает серьезное ограничение, так как значительная часть мелиоративных систем в настоящее время находится в неудовлетворительном техническом состоянии, а требования документа¹ носят лишь рекомендательный характер.

Общие требования к оснащению пунктов водоучета, включая их создание, размещение и эксплуатацию, определены в ГОСТ Р 71112-2023². Отметим, что практическая реализация пунктов водоучета осложняется тем, что документ² ориентирован на дорогостоящие средства измерений при отсутствии для мелиоративных систем более доступных методов.

Поскольку настоящие стандарты носят в большей степени рекомендательный характер, выбор конкретного метода измерения проводится в зависимости от гидравлических условий эксплуатации каналов мелиоративных систем, требуемой точности и других факторов.

Традиционные методы гидрометрических наблюдений, такие как метод

¹ГОСТ Р 71925-2025. Системы и сооружения мелиоративные. Водораспределение и водоучет на оросительной сети. Нормы технологического проектирования. Введ. 2025-07-01. М.: РСТ, 2025. 34 с.

²ГОСТ Р 71112-2023. Системы и сооружения мелиоративные. Водораспределение и водоучет на оросительной сети. Общие требования по оснащению. Введ. 2024-07-01. М.: РСТ, 2023. 32 с.

«скорость – площадь», требуют значительных затрат ручного труда, присутствия специалистов на канале и, как правило, не подходят для непрерывного автоматизированного мониторинга. В связи с этим возрастает интерес к косвенным методам измерения расхода, основанным на фиксации уровней воды в каналах [3]. По нашему мнению, одним из таких перспективных подходов является метод «уклон – площадь», позволяющий вычислять расход воды на основе перепада уровней в двух удаленных друг от друга створах и известных гидравлических характеристик русла. Оснащение таких створов датчиками уровня с функцией дистанционной передачи данных открывает широкие возможности для создания автоматизированных систем водоучета на подавляющем большинстве эксплуатируемых мелиоративных систем [4, 5].

Практическое применение метода «уклон – площадь» имеет ряд гидравлических и инструментальных ограничений. Точность вычисления расхода воды данным методом находится в обратной зависимости от величины перепада уровней воды между створами [6]. При слишком малом расстоянии между водомерными постами перепад уровней может оказаться соизмеримым с инструментальной погрешностью датчиков, что приводит к некорректным результатам и многократному увеличению итоговой ошибки расчета расхода [7]. В то же время неоправданное увеличение расстояния между створами экономически нецелесообразно, усложняет эксплуатацию и нарушает условие плавности изменения потоков. В настоящее время недостаточно изученным остается вопрос оптимального расстояния между гидрометрическими створами для каналов с различными характеристиками русла, в частности для каналов в устойчивом земляном русле, при реализации косвенного метода измерения «уклон – площадь» [8].

Целью исследования является разработка и экспериментальное обоснование алгоритма гидравлического расчета минимально допустимого расстояния между гидрометрическими створами при реализации метода «уклон – площадь» на каналах мелиоративных систем.

Материалы и методы. В работе применяется конструктивно-техническое решение по авторскому способу определения расхода воды в открытых каналах, реализующему метод «уклон – площадь»³. Суть способа сводится к установке датчиков уровня воды с модулями телеметрии в уровнемерных колодцах в верхнем и нижнем гидрометрических створах. Система непрерывно фиксирует уровни воды, вычисляет их перепад и рассчитывает расход [9].

Для реализации способа определения расхода воды на открытых каналах оросительных систем по методу «уклон – площадь» разработана конструкция измерительного участка канала, которая состоит из следующих элементов (рисунок 1): измерительного участка канала 1, двух соединительных труб 2, двух успокоительных колодцев 3, оснащенных датчиками уровня воды [9].

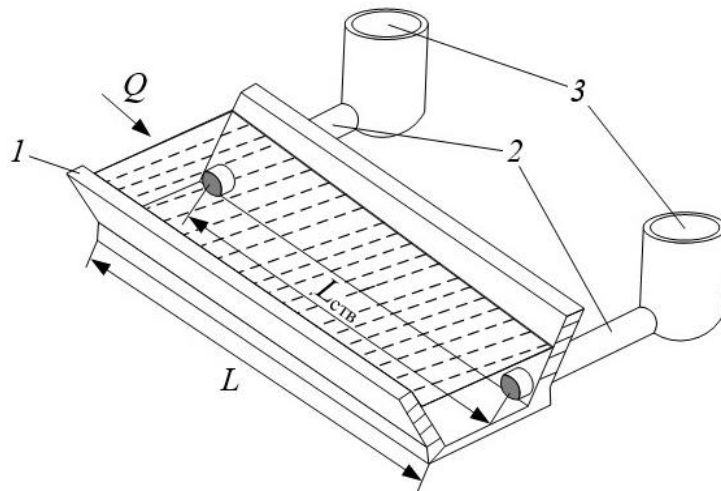
На базе способа разработан алгоритм гидравлического расчета и зарегистрирована программа для ЭВМ⁴, которая состоит из двух вкладок: измеренные (вводимые) и расчетные данные.

К измеренным (вводимым) данным относятся:

- глубина воды в измерительных створах 1 и 2, h_1 и h_2 ;
- ширина канала по дну, b ;
- уклон дна канала, $i_{(1-2)}$;
- расстояние между створами, $L_{\text{ств}}$;
- коэффициент скорости, α .

³Пат. 2572068 Рос. 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.

⁴Определение расхода воды в открытых каналах по методу «уклон – площадь»: свидетельство о гос. регистрации прогр. 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.



1 – измерительный участок канала; *2* – подводящая труба к зоне верхнего гидрометрического створа; *3* – уровнемерный колодец;

$L_{\text{ств}}$ – расстояние между гидрометрическими створами, м;

L – длина облицованного участка канала, м; Q – расход, м³/с

1 – canal measuring section; *2* – inlet pipe to upstream measuring section;

3 – level measuring well; $L_{\text{ств}}$ – distance between hydrometric sections, m;

L – length of lined canal section, m; Q – flow rate, m³/s

Рисунок 1 – Конструкция измерительного участка канала

Figure 1 – Canal measuring section design

Результаты и обсуждение. Датчиками уровня воды в измерительных створах 1 и 2 непрерывно регистрируется глубина воды с заданным интервалом, и с помощью средств дистанционной передачи информация передается на пункт диспетчера, оснащенный разработанной программой для ЭВМ. По полученным данным и при известных параметрах канала в программе производится расчет площади живого сечения (Ω , м), ширины канала по свободной поверхности воды (B , м), смоченного периметра (χ), гидравлического радиуса (R , м), коэффициента Шези (C , м^{0,5}/с) в створах 1 и 2 [10]. Итогом является расчет расхода воды по выведенным авторами выражениям³ применительно к каналам оросительных систем (рисунки 2, 3).

Натурные исследования проводились на оросительном канале Р-3 (ПК 243 + 80) Райгородской оросительной системы, расположенном на границе Республики Калмыкия и Волгоградской области. Выбранный опытный участок канала был прямолинейным, с постоянной формой поперечного сечения, без зарастания водной растительностью и с устойчивым

земляным руслом, участок соответствовал требованиям ГОСТ Р 71112-2023². Движение воды в выбранных створах может быть как установившимся, так и неустановившимся, плавно изменяющимся, равномерным и неравномерным в плане и по вертикали.

В ходе проведения эксперимента выполнялись параллельные измерения расхода воды двумя способами: классическим методом «скорость – площадь», основанным на интегрировании эпюры продольных скоростей по площади живого сечения потока, и разработанным способом, реализующим метод «уклон – площадь», который оценивает расход воды по величине продольного уклона свободной поверхности и геометрическим характеристикам русел. В качестве эталонных (референтных) значений расхода принимались показания, определяемые с помощью тарированного водослива с широким порогом, отличающегося высокой метрологической достоверностью и стабильностью градуировочной зависимости [11].

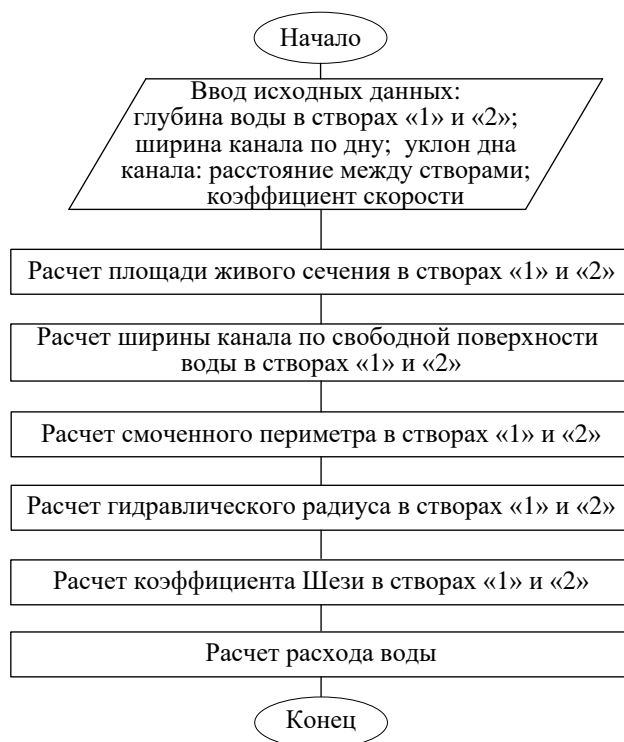


Рисунок 2 – Алгоритм расчета гидравлических параметров в створах каналов оросительных систем

Figure 2 – Algorithm for calculating hydraulic parameters in irrigation system canal sections

Определение расхода воды в открытых каналах по методу "уклон-площадь"																		
																	Расчет	
		- область вводимых данных																
		- область расчетных данных																
h_1, h_2 - глубина воды в створах "1" и "2", м								α - коэффициент скорости										
b - ширина канала по дну, м								ω_1, ω_2 - площадь живого сечения в створах «1» и «2», м ²										
$i_{(1-2)}$ - уклон дна канала								B_1, B_2 - ширина канала по свободной поверхности воды в створах «1» и «2», м										
$L_{ств}$ - расстояние между створами, м								χ_1, χ_2 - смоченный периметр в створах «1» и «2»										
R_1, R_2 - гидравлические радиусы в створах «1» и «2», м								Q - расход воды, м ³ /с										
C_1, C_2 - коэффициент Шези в створах «1» и «2», м ^{0,5} /с																		
h_1	h_2	b	m	$i_{(1-2)}$	$L_{ств}$	α	n	ω_1	ω_2	B_1	B_2	χ_1	χ_2	R_1	R_2	C_1	C_2	Q
1,987	1,978	18,000	2,000	0,00007	100,000	1,1	0,024	43,662	43,429	25,948	25,912	26,886	26,846	1,624	1,618	45,174	45,145	11,145329
1,795	1,786	18,000	2,000	0,00007	100,000	1,1	0,024	38,754	38,528	25,180	25,144	26,027	25,987	1,489	1,483	44,525	44,493	9,322774
1,654	1,645	18,000	2,000	0,00007	100,000	1,1	0,024	35,243	35,022	24,616	24,580	25,397	25,357	1,388	1,381	44,005	43,971	8,078224
1,532	1,523	18,000	2,000	0,00007	100,000	1,1	0,024	32,270	32,053	24,128	24,092	24,851	24,811	1,299	1,292	43,521	43,484	7,065709
1,486	1,478	18,000	2,000	0,00007	100,000	1,1	0,024	31,164	30,973	23,944	23,912	24,646	24,610	1,265	1,259	43,329	43,295	4,709156
1,371	1,363	18,000	2,000	0,00007	100,000	1,1	0,024	28,437	28,250	23,484	23,452	24,131	24,096	1,178	1,172	42,823	42,786	4,087093
1,322	1,314	18,000	2,000	0,00007	100,000	1,1	0,024	27,291	27,105	23,288	23,256	23,912	23,876	1,141	1,135	42,595	42,557	3,833505
1,249	1,240	18,000	2,000	0,00007	100,000	1,1	0,024	25,602	25,395	22,996	22,960	23,586	23,545	1,085	1,079	42,240	42,195	4,948384

Рисунок 3 – Результаты определения расхода воды в открытом канале по методу «уклон – площадь»

Figure 3 – Results of determining water flow in an open canal using the slope – area method

На первом этапе экспериментов исходная длина участка была принята равной 100 м. Результаты гидрометрических замеров и последующих вычислений систематизированы в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Гидравлические параметры, полученные по результатам эксперимента

Table 1 – Hydraulic parameters obtained from the experimental results

$Q_{\text{водослив}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{\text{ск.-пл.}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{\text{укл.-пл.}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$h_1, \text{ м}$	$h_2, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	$R, \text{ м}$	$C, \text{ м}^{0,5}/\text{с}$	n
16,13	16,97	16,51	2,169	2,164	43,15	1,57	38,67	0,027
11,57	12,37	11,98	1,742	1,737	34,86	1,34	37,45	0,027
9,72	10,27	10,14	1,707	1,703	31,68	1,24	37,12	0,027
7,78	8,39	8,17	1,527	1,524	27,54	1,11	36,13	0,027
6,98	7,42	7,17	1,454	1,450	25,35	1,09	35,68	0,027
6,02	6,53	6,33	1,292	1,288	23,19	1,01	35,14	0,027
9,12	10,00	9,46	1,631	1,626	30,06	1,27	36,64	0,027
12,72	13,70	13,05	1,789	1,784	37,08	1,45	37,78	0,027
13,64	14,48	14,02	1,849	1,843	38,84	1,49	38,04	0,027
14,45	15,63	15,13	1,901	1,898	40,53	1,58	38,27	0,027

Таблица 2 – Результаты оценки погрешностей двух методов измерения расхода воды в канале

Table 2 – Results of accuracy assessment of two methods for measuring water flow in a canal

$Q_{\text{ск.-пл.}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{\text{укл.-пл.}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$\delta Q_{\text{ск.-пл.}}, \%$	$\delta Q_{\text{укл.-пл.}}, \%$
16,97	16,51	5,2	2,4
12,37	11,98	6,9	3,5
10,27	10,14	5,7	4,3
8,39	8,17	7,8	5,0
7,42	7,17	6,3	2,7
6,53	6,33	8,5	5,1
10,00	9,46	9,6	3,7
13,70	13,05	7,7	2,6
14,48	14,02	6,2	2,8
15,63	15,13	8,2	4,7

По результатам выполненных расчетов был построен график погрешностей измерения расхода воды двумя методами: «скорость – площадь» и «уклон – площадь», на примере участка оросительного канала длиной 100 м (рисунок 4).

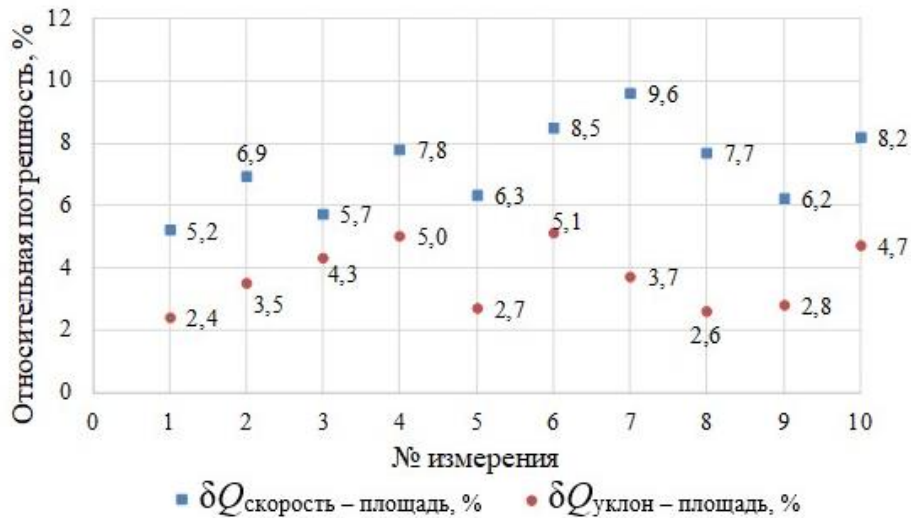


Рисунок 4 – График погрешностей измерения расхода воды
Figure 4 – Graph of water flow measurement errors

Анализ полученных данных показывает, что при длине участка 100 м максимальная относительная погрешность предлагаемого способа, реализующего метод «уклон – площадь», относительно данных, полученных с помощью эталонного водослива, составила $\delta Q_{\text{max}} = 5,3 \%$, тогда как для метода «скорость – площадь» этот показатель достиг $\delta Q_{\text{max}} = 9,6 \%$. Для поиска оптимальных параметров длину участка последовательно наращивали с шагом 20 м до момента стабилизации погрешности в пределах допустимых значений².

Сводные данные о влиянии длины участка на точность измерений обобщены в таблице 3 и проиллюстрированы рисунком 5.

Таблица 3 – Показатели влияния длины измеряемого участка на точность определения расхода воды
Table 3 – Indicators of the influence of the length of the measured section on the accuracy of water flow determination

Длина участка L , м	100	120	140	160	180	200	220	240
$\delta Q_{\text{ск.-пл., \%}}$	9,6	8,5	7,0	4,8	5,0	4,8	4,8	4,9
$\delta Q_{\text{укл.-пл., \%}}$	5,3	3,6	2,9	2,8	3,0	2,9	2,8	2,8

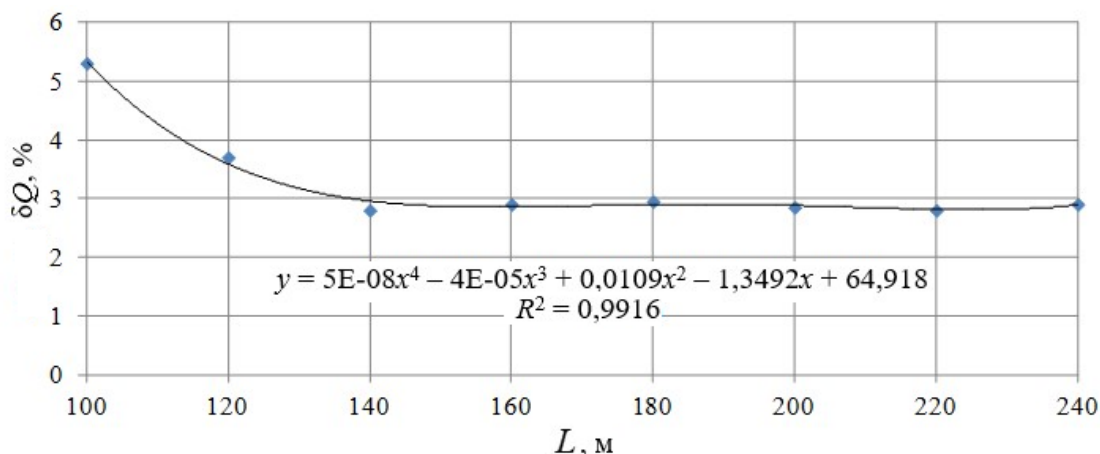


Рисунок 5 – Зависимость максимальной погрешности расчетов от длины измеряемого участка

Figure 5 – Dependence of the calculation maximum error on the length of the measured section

Аппроксимация эмпирических данных (см. рисунок 4) позволила выявить, что минимальная длина измерительного участка для определения расхода воды разработанным способом, реализующим метод «уклон – площадь», с учетом гидравлического расчета составляет $L = 147$ м при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,9916$. Аналитическое обоснование найденного в результате экспериментов значения базируется на следующей полученной зависимости:

$$\delta Q = 0,8L^4 \cdot 10^{-5} - 0,5L^3 \cdot 10^{-4} - 0,0109L^2 - 1,3492L + 64,918, \quad (1)$$

где δQ – максимальная относительная погрешность определения расхода, %;

L – расстояние между измерительными створами, м.

Оптимизационная задача формулировалась как поиск $L \rightarrow L_{\min}$ в диапазоне 100–240 м при условии $\delta Q_{\max} \rightarrow \min$ ($0 \% < \delta Q_{\max} < 6 \%$). Итоговое решение: $L_{\min} = 147$ м, при котором погрешность $\delta Q_{\max} = 2,9 \%$.

Таким образом, при оптимальной длине участка 147 м максимальная относительная погрешность измерения расхода воды предложенным способом составила $\delta Q_{\max} = 2,9 \%$, тогда как при применении метода «скорость – площадь» этот показатель достигал 5,5 %.

Выводы

1 По результатам проведенных исследований экспериментально обосновано, что при длине участка 147 м разработанный способ, реализующий метод «уклон – площадь», обеспечивает максимальную относительную погрешность до 2,9 %, это снижает погрешность измерения и тем самым повышает точность определения расхода воды на 2,6 % по сравнению с эталонным способом определения объемного расхода воды «скорость – площадь».

2 Разработанный алгоритм, включающий определение гидравлических параметров (площади живого сечения, ширины канала по свободной поверхности воды, смоченного периметра, гидравлического радиуса, коэффициента Шези) в заданных створах, позволяет определять расходы воды с максимальной относительной погрешностью $\delta Q_{\text{max}} = 5,3 \%$, что существенно превышает точность классического метода «скорость – площадь» ($\delta Q_{\text{max}} = 9,6 \%$). Полученные результаты открывают перспективы как для проведения научных гидравлических исследований, так и для практической организации достоверного водоучета на оросительных каналах мелиоративных систем.

3 Установлена теоретическая зависимость относительной погрешности определения расхода воды от длины измерительного участка канала, позволяющая обосновывать минимально допустимое расстояние между гидрометрическими створами для открытых каналов, выполненных в земляном русле. Данное расстояние составляет 147 м при величине коэффициента детерминации $R^2 = 0,9916$, что также подтверждает высокую точность аппроксимации.

Список источников

1. Масный Р. С., Сенчуков Г. А., Абраменко И. П. Актуальные вопросы эффективности водопользования в мелиоративном комплексе современной России // Экология и водное хозяйство. 2023. Т. 5, № 2. С. 1–13. DOI: 10.31774/2658-7890-2023-5-2-1-13. EDN: ZPPDFK.

2. Бочкарев В. Я. Новые технологии и средства измерений, методы организации водоучета на оросительных системах / ФГБНУ «РосНИИППМ». Новочеркасск, 2012. 227 с. Деп. в ВИНТИ 27.04.12, № 196-B2012. EDN: RLWCJD.

3. Ахмедходжаева И. А., Жураев Б. Б. Методы определения расхода воды в каналах // Мелиорация и водное хозяйство – основа продовольственной и экологической безопасности: материалы Юбилейн. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию образования ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова. М., 2024. С. 290–296. DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.57.28.048. EDN: LKYUBK.

4. Ивахненко А. Е. Метод «уклон – площадь» как альтернатива методу измерения расхода воды «скорость – площадь» в открытых каналах оросительных систем / А. Е. Ивахненко // Вопросы мелиорации. 2006. № 5–6. С. 63–68.

5. Васильченко А. П., Кореновский А. М. Телеметрия пунктов водоучета мелиоративной системы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021. № 1(81). С. 12–16. EDN: СТJMQA.

6. 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. Новочеркасск: Геликон, 2013. 657 с. EDN: TOSPRB.

7. Fatxulloev A., Gafarova A., Hamroqulov J. Improvement of water accounting for irrigation systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1030. 012145. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012145. EDN: VJKKSH.

8. Чураев А. А., Юченко Л. В., Шепелев А. Е. Принципы подхода к расчету основных параметров трапецеидального водослива при оснащении его современным прибором измерения уровня // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. 2023. № 192. С. 158–168. URL: <http://ej.kubagro.ru/2023/08/pdf/13.pdf> (дата обращения: 01.06.2026). DOI: 10.21515/1990-4665-192-013. EDN: GHFUZP.

9. Щедрин В. Н., Вайнберг М. В., Чураев А. А. Совершенствование способов определения расхода воды в открытых мелиоративных каналах // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2016. № 1(21). С. 1–20. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1059> (дата обращения: 01.06.2026). EDN: VQUGER.

10. Вайнберг М. В. Результаты исследования измерительного комплекса для определения расхода воды по методу «уклон – площадь» на открытом канале оросительной сети // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 3(43). С. 271–277. EDN: WWHGKR.

11. 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: НХУАРУ.

References

1. Masnyi R.S., Senchukov G.A., Abramenko I.P., 2023. *Aktual'nye voprosy effektivnosti vodopol'zovaniya v meliorativnom komplekse sovremennoy Rossii* [Current issues of water use efficiency in the reclamation complex of contemporary Russia]. *Ekologiya i vodnoye khozyaystvo* [Ecology and Water Management], vol. 5, no. 2, pp. 1-13, DOI: 10.31774/2658-7890-2023-5-2-1-13, EDN: ZPPDFK. (In Russian).

2. Bochkarev V.Ya., 2012. *Novye tekhnologii i sredstva izmereniy, metody organizatsii vodoucheta na orositel'nykh sistemakh* [New Technologies and Measuring Instruments, Methods of Water Metering at Irrigation Systems]. Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, 227 p., deposited to VINITI on 04.27.2012, no. 196-B2012, EDN: RLWCJD. (In Russian).

3. Akhmedkhodzhaeva I.A., Zhuraev B.B., 2024. *Metody opredeleniya raskhoda vody v kanalakh* [Methods for determining water flow in canals]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo – osnova prodovol'stvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti: materialy Yubileynoy mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashch. 100-letiyu obrazovaniya VNIIGiM im. A. N. Kostyakova* [Land Reclamation and Water Management – the Basis of Food and Environmental Security: Proc. of the Jubilee International Scientific and Practical Conf., Dedicated to the 100th Anniversary of the All-Russian Research Institute of Hydrometeorology and Metrology named after A. N. Kostyakov]. Moscow, pp. 290-296, DOI: 10.37738/VNIIGIM.2024.57.28.048, EDN: LKYUBK. (In Russian).
4. Ivakhnenko A.E., 2006. *Metod «uklon – ploshchad'» kak al'ternativa metodu izmereniya raskhoda vody «skorost' – ploshchad'» v otkrytykh kanalakh orositel'nykh sistem* [The slope – area method as an alternative to the velocity – area method of measuring water flow in open canals of irrigation systems]. *Voprosy melioratsii* [Issues of Land Reclamation], no. 5-6, pp. 63-68. (In Russian).
5. Vasilchenko A.P., Korenovsky A.M., 2021. *Telemetriya punktov vodoucheta meliorativnoy sistemy* [Telemetry of water metering points of the reclamation system]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 1(81), pp. 12-16, EDN: CTJMQA. (In Russian).
6. 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 Work: monograph]. Novocherkassk, Gelikon Publ., 657 p., EDN: TOSPRB. (In Russian).
7. Fatxulloev A., Gafarova A., Hamroqulov J., 2021. Improvement of water accounting for irrigation systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 1030, 012145, DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012145, EDN: VJKKSH.
8. Churaev A.A., Yuchenko L.V., Shepelev A.E., 2023. *Printsiipy podkhoda k raschetu osnovnykh parametrov trapetseidal'nogo vodosliva pri osnashchenii yego sovremennym priborom izmereniya urovnya* [Principles of the approach to the calculation of the main parameters of a trapezoidal spillway when equipping it with a modern level measuring device]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University], no. 192, pp. 158-168, available: <http://ej.kubagro.ru/2023/08/pdf/13.pdf> (accessed 01.06.2026), DOI: 10.21515/1990-4665-192-013, EDN: GHFUZP. (In Russian).
9. Shchedrin V.N., Vaynberg M.V., Churaev A.A., 2016. *Sovershenstvovanie sposobov opredeleniya raskhoda vody v otkrytykh meliorativnykh kanalakh* [Improving the methods for determination of water discharge in open irrigation canals]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 1(21), pp. 1-20, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1059> (accessed 01.06.2026), EDN: VQUGER. (In Russian).
10. Vaynberg M.V., 2016. *Rezultaty issledovaniya izmeritel'nogo kompleksa dlya opredeleniya raskhoda vody po metodu «uklon – ploshchad'» na otkrytom kanale orositel'noy seti* [Results of research on the open canal irrigation system of the measuring complex for determining water flow by slope – area method]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], no. 3(43), pp. 271-277, EDN: WWHGKR. (In Russian).
11. 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 discharge on the water flow depth in the control section of the main canal]. *Puti*

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

Информация об авторах

М. В. Вайнберг – научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации (346421, Ростовская обл., г. Новочеркасск, пр-т Баклановский, д. 190), oamsrosniipm@yandex.ru, AuthorID: 786548, ORCID: 0000-0002-4794-3458;

О. А. Баев – ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации (346421, Ростовская обл., г. Новочеркасск, пр-т Баклановский, д. 190), oleg-baev1@yandex.ru, AuthorID: 699695, ORCID: 0000-0003-0142-4270.

Information about the authors

M. V. Vaynberg – Researcher, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (346421, Rostov region, Novocherkassk, Baklanovsky ave., 190), oamsrosniipm@yandex.ru, AuthorID: 786548, ORCID: 0000-0002-4794-3458;

O. A. Baev – Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems (346421, Rostov region, Novocherkassk, Baklanovsky ave., 190), oleg-baev1@ya.ru, AuthorID: 699695, ORCID: 0000-0003-0142-4270.

Вклад авторов: М. В. Вайнберг разработала алгоритм проведения расчетов по методу «уклон – площадь», построила графики, выполнила апробацию методики, сформулировала выводы; О. А. Баев выполнил тестовые расчеты, обработал результаты исследований.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: M. V. Vaynberg developed the algorithm for performing calculations using the slope – area method, constructed the graphs, tested the methodology and formulated the conclusions; O. A. Baev performed the test calculations and processed the research results.

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 20.03.2026; одобрена после рецензирования 23.06.2026; принята к публикации 26.06.2026.

The article was submitted 20.03.2026; approved after reviewing 23.06.2026; accepted for publication 26.06.2026.