

Гидравлика и инженерная гидрология

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-88-95>

УДК 556.53:626.8:631.6

**КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЗОР КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ РАСХОДОМЕРОВ С СУЖАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ВОДОТОКОВ**А.А. Наумова^{1✉}, Т.В. Пилипенко,² К.Р. Пономарчук³¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия² Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, Россия³ Министерство Сельского Хозяйства РФ (Минсельхоз России) Департамент Научно-технологической Политики и Образования; 107139, Москва, Орликов пер., 1/11, Россия

Аннотация. В условиях возвращающегося дефицита водных ресурсов проблема их экономии и рационального водопользования имеет первостепенное значение, чем обусловлена необходимость совершенствования системы учета воды в гидромелиорации. При учете воды наибольшую сложность представляет проблема расхода воды на каналах с равномерным режимом потока. Традиционные методы измерений «Скорость-площадь» и переменного перепада уровней с сужающими устройствами в целом отвечают современным требованиям и в ближайшей перспективе останутся наиболее распространенными. Исследования были направлены на систематизацию и классификацию конструктивных особенностей расходомеров с сужающими устройствами, а также на обоснование принципов их размещения на открытых гидромелиоративных системах. Для этого были поставлены и успешно решены следующие задачи: обоснование принципов размещения средств измерения на открытых ГМС; выбор оптимальных конструкций расходомеров и определение факторов, влияющих на погрешность измерений при использовании расходомеров с сужающими устройствами. Проведен анализ, свидетельствующий о том, что погрешность коэффициента расхода увеличивается при уменьшении наклона боковых граней водосливов с тонкой стенкой. Распределение погрешности имеет несимметричный характер ввиду нелинейных изменений коэффициентов расхода при изменениях формы сжатого сечения. В результате исследований выявлено, что метод переменного перепада уровней с сужающими устройствами обладает рядом преимуществ включая простоту изготовления и монтажа, а также возможность применения косвенных методов градуировки.

Ключевые слова: гидромелиоративная система, расходомер с сужающим устройством, каналы, гидротехнические сооружения, расход, уровни воды, взвешенные и влекомые наносы

Формат цитирования: Наумова А.А., Пилипенко Т.В., Пономарчук К.Р. Классификация и обзор конструктивных схем расходомеров с сужающими устройствами для открытых водотоков // Природообустройство. 2024. № 5. С. 88-95. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-88-95>

Original article

CLASSIFICATION AND REVIEW OF FLOWMETER DESIGN SCHEMES WITH CONSTRICTION DEVICES FOR OPEN WATERCOURSESА.А. Naumova^{1✉}, Т.В. Pilipenko², К.Р. Ponomarchuk³¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Moscow, 49, Timiryazevskaya St., Russia.² Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk region, Novosibirsk, Shchetyinkin str. 33, Russia³ Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Department of Scientific and Technological Policy and Education; 107139, Moscow, Orlikov per. 1/11, Russia

Abstract. In the context of a returning shortage of water resources, the problem of their conservation and rational use of water is of paramount importance. This necessitates the improvement of the water accounting system in hydro-reclamation. In water metering, the problem of water discharge in canals

with a uniform flow regime is the most difficult: traditional methods of measurement: “velocity – area” and variable level difference with constriction devices, in general, meet modern requirements and in the near future will remain the most common. The study was aimed at systematizing and classifying the design features of flow meters with constricting devices, as well as substantiating the principles of their placement on open irrigation and drainage systems. For this purpose, the following tasks were set and successfully solved: substantiation of the principles of placement of measuring instruments on open HMS, selection of optimal flow meter designs and determination of factors affecting the measurement error when using flow meters with constricting devices. Analyses have been carried out that indicate that the error of the flow coefficient increases with a decrease in the inclination of the side faces of spillways with a thin wall. The distribution of error is asymmetrical due to nonlinear changes in the flow coefficients during changes in the shape of the compressed cross-section. As a result of the study, it was revealed that the method of variable level difference with constriction devices has a number of advantages, including ease of manufacture and installation, as well as the possibility of using indirect calibration methods.

Keywords: hydro reclamation system, flow meter with a constricting device, canals, hydraulic structures, flow rate, water levels, suspended and drifting sediments

Format of citation: Naumova A.A., Pilipenko T.V., Ponomarchuk K.R. Classification and review on flowmeter design schemes with constrictors for open watercourses // Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 5. P. 88-95. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-5-88-95>

Введение. Правительство РФ уделяет повышенное внимание роли мелиорации земель в увеличении производства сельскохозяйственной продукции, что отражено в содержании комплексных долгосрочных программ. Реализация этих планов предусматривает дополнительное использование для орошения миллионов кубометров воды. В настоящее время все более актуальной становится проблема экономии и рационального использования водных ресурсов в пределах гидромелиоративных систем (ГМС) и орошаемых массивов.

Любые меры по экономии воды будут неэффективными без четко налаженной системы ее учета во всех звеньях ГМС. Даже успешное осуществление какого-либо мероприятия не обеспечит решение всей проблемы.

К числу негативных примеров можно отнести недостаточную оснащенность объектов средствами измерений, отсутствие продуманной системы в их размещении, неудовлетворительное качество изготовления и монтажа средств измерений, и как следствие – низкую точность измерений, нарушения технологии измерительных операций, неоперативность обработки, предоставления и использования информации.

Таким образом, не вызывает сомнений актуальность проблемы дальнейшего совершенствования учета и рационального использования оросительной воды в сельском хозяйстве и промышленности.

Цель исследований: систематизация и классификация конструктивных особенностей расходомеров с сужающими устройствами, обоснование принципов их размещения на открытых гидромелиоративных системах.

Для достижения поставленной цели определены и решены следующие задачи:

- обоснование принципов размещения средств измерения на открытых ГМС;
- выбор оптимальных конструкций расходомеров исходя из технических требований к средствам учета воды на открытых ГМС;
- определение состава факторов, влияющих на погрешность расходомеров с сужающими устройствами.

Материалы и методы исследований.

Для водотоков с малыми уклонами применяются сужающие устройства, работающие в затопленном режиме, с контролем положения уровней в обоих бьефах. К простейшим из них относятся диафрагма с круглым отверстием в перегородивающей стенке и «переносной мерный щит Игнатова». В СССР и США диафрагмы с прямоугольной формой отверстия применялись в основном для измерения малых расходов на временной оросительной сети. В послевоенный период в гидромелиоративную систему страны на смену диафрагмам пришли транзитные сужающие устройства типа насадков, имеющих более устойчивые градуировочные характеристики. Самыми распространенными из них являются сходящиеся насадки НПО «САНИИРИ» (М.В. Бутырина), в том числе круглой, прямоугольной и квадратной форм сечения (рис. 1).

В связи с широким распространением на ГМС трубчатых водовыпусков в открытые каналы появилась возможность размещения сужающих устройств на участке низконапорного водотока.

Поскольку типовые трубчатые водовыпуски зачастую используются в качестве переездов

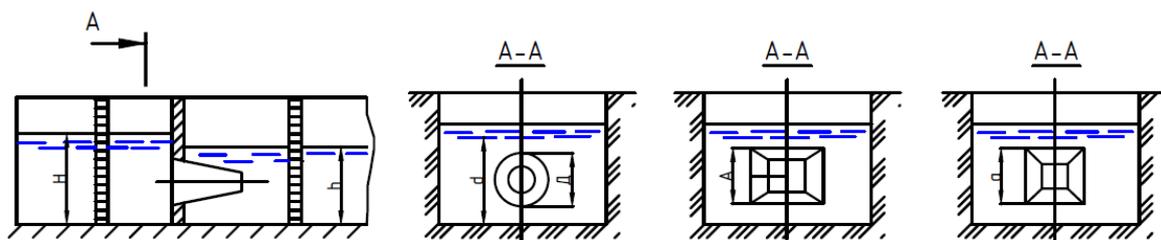


Рис. 1. Конструктивные схемы сужающих устройств, работающих в затопленном режиме истечения

Fig. 1. Design schemes of constricting devices operating in the flooded flow regime

на эксплуатационных автодорогах, а истечение в нижний бьеф сопровождается волновыми явлениями, то в этих случаях размещение сужающих устройств на участках напорных водоводов нежелательно с точки зрения удобства обслуживания или низкой точности измерений. По этой причине закономерно появилась идея размещения сужающих устройств в верхнем бьефе регулирующих сооружений, непосредственно вблизи затворов. Однако область применения сужающих устройств, расположенных в верхнем бьефе регулирующих сооружений, ограничена взаимным влиянием положений затворов на многопролетных сооружениях, допустимыми пределами подходной скорости, необходимостью симметричного распределения скоростей потока на подходном участке и др.

Поскольку сами затворы регулирующих гидротехнических сооружений являются сужающими устройствами, естественным представляется их использование для целей измерения расхода. Разработки в этой области весьма разнообразны и впоследствии образовали целое направление, развивающееся по схеме: регулирующее устройство – средство измерений – гидравлический стабилизатор расхода.

Отсутствие проектно-сметной документации и оценки технико-экономических показателей вынуждает отдавать предпочтение какой-либо конструкции на основании сравнительного анализа технических характеристик (табл.) и увязке с особенностями применения на водохозяйственных объектах.

Унификация расходомеров для ГМС имеет смысл только в стыковке с типовыми проектными решениями каналов и гидротехнических сооружений. Но так как действующие отраслевые нормативы [1] предусматривают применение стандартных типоразмеров на каналах с максимальной пропускной способностью до $10,0 \text{ м}^3/\text{с}$, то следует ограничить верхние пределы измерений серийно выпускаемых расходомеров этим показателем, хотя для некоторых сужающих устройств даны и более расширенные

диапазоны (табл. 2.1). Этот вывод подкрепляется отечественным и зарубежным опытом, показывающим, что применение сужающих устройств на крупных каналах является неэффективным по сравнению с другими средствами измерений ввиду излишней материалоемкости и потери пропускной способности водотоков. Кроме того, существующие нормативы регламентируют допустимые пределы погрешности измерений расхода жидкости также в диапазоне до $10,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

К погрешности, обусловленной влиянием окружающей и водной среды, следует отнести величины ускорения силы тяжести, плотности или объемного расширения, сил поверхностного натяжения и вязкости жидкости. Их влияние на основную погрешность неоднозначно и не только зависит от изменений условий среды, но и связано с геометрией сужающих устройств. Поэтому прежде чем перейти к их анализу, следует установить возможные пределы изменения габаритов сужающих устройств и диапазоны гидравлических режимов, в том числе критериев Фруда и Рейнольдса.

Результаты и их обсуждение. Величины ускорения силы тяжести, если не считать крайне незначительных временных флуктуаций, зависят от широтного расположения объекта и превышения его высотных отметок над уровнем моря, то есть имеют систематический характер. Эта величина для любых объектов в России может быть определена по формуле [7]:

$$g_i = 9.80616 \times (1 - 0.0026373 \cdot \cos 2\varphi_i + 0.0000059 \cdot \cos^2 2\varphi_i) \times \left(\frac{r}{2 + h_g} \right), \quad (1)$$

где g_i – ускорение силы тяжести в зоне расположения расходомера, $\text{м}/\text{с}^2$; r – условный радиус Земли, при котором ускорение силы тяжести и вертикальный градиент ускорения соответствуют нормальным условиям, привязанным к широте $45^\circ 32' 33''$, м, для этих условий $g_0 = 9,80665 \text{ м}/\text{с}^2$; φ_i – географическая широта в зоне расположения объекта, град.; h_g – высота расположения объекта относительно уровня моря, м.

Ввиду систематического характера изменений величины ускорения она может быть исключена введением корректирующего множителя в градуировочную характеристику:

$$K_g = \left(\frac{g_i}{g_0} \right)^{0.5}. \quad (2)$$

Из формул (1, 2) следует, что для зоны орошаемого земледелия, расположенной на высотных отметках от уровня моря до 1500 м и между географическими широтами от 35 до 50 градусов, величина корректирующего коэффициента изменяется в пределах $K_g = 0,9965 \dots 1,0004$, то есть дает максимальную погрешность в случае пренебрежения этим фактором порядка 0,15%. Расчеты величины корректирующего коэффициента K_g для различных регионов страны приведены в источниках [8, 9].

Поверхность жидкости на границе раздела с воздухом благодаря силам взаимного притяжения частиц в этом слое находится в состоянии равномерного натяжения. При истечении жидкости через сужающее устройство эти силы оказывают тормозящее воздействие на поток, относительное влияние которого возрастает с уменьшением габаритов сжатого сечения. Оценку влияния этих сил можно произвести при сопоставлении напора жидкости над условной плоскостью сужающего устройства и дефицита напора, обусловленного влиянием поверхностного натяжения и определенного по формуле:

$$H_s = \frac{2\sigma_H}{4R\gamma}, \quad (3)$$

где H_s – дефицит действующего напора вследствие влияния сил поверхностного натяжения жидкости, м; σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Н/м; γ – удельный вес жидкости, Н/м³; R – гидравлический радиус сужающего устройства, м.

Анализ формулы (3) и результаты расчета подтверждают, что при увеличении габаритов сужающих устройств и напора величина σ уменьшается и при $R > 0.30$ м, $H > 0.30$ м становится пренебрежимо малой. Отметим, что для водосливов с тонкой стенкой в градуировочные характеристики расходомеров заложена стандартная поправка на влияние сил поверхностного натяжения жидкости, поэтому дополнительно составляющую погрешность учитывать не следует.

В структуре исходных коэффициентов расхода сужающих устройств уже учтен диапазон измерений режима потока для нормированных условий испытаний.

При истечении через сужающее устройство поток жидкости под действием сил инерции и гравитации постепенно уменьшается в сечении до некоторого минимального значения, после чего происходит его трансформация до режима, обусловленного характеристиками канала в нижнем бьефе.

Для сужающих устройств, работающих по схеме водосливов полигонального профиля – порогов Крампа, НПО «САНИИРИ» и др., процесс истечения аналогичен водосливам с тонкой стенкой, но в зависимости от конфигурации продольного профиля форма струи может быть или свободной, или прилипшей. Поскольку у них конструкция входного участка создает более плавные условия подхода жидкости к сжатому сечению, величина коэффициента сжатия струи, а следовательно, и коэффициента расхода, превышает соответствующие значения по сравнению с водосливами с тонкой стенкой. У лотков Паршалла, Вентури, САНИИРИ водослив с широким порогом, работающим по схеме донного или бокового сжатия потока, также образуется в верхнем бьефе кривая спада с перепадами глубин от H до H_0 , причем соблюдается условие ($H_0 > 0,40 \dots 0,60 H$). У сужающих устройств, работающих при переменном перепаде уровней жидкости, величина коэффициента сжатия струи спада обусловлена иными причинами, так как в этом случае отсутствует кривая спада свободной поверхности в верхнем бьефе. Подробный анализ факторов, влияющих на величину коэффициента сжатия струи, со ссылками на результаты экспериментов приведен В.Д. Альтшулем и С.М. Слисским [10]. В частности, ими доказано, что экспериментальные данные показывают близкую сходимость с отклонениями порядка $\pm 3\%$.

Изменение коэффициента расхода от наклона напорной плоскости с широким порогом исследовано Д.И. Куминым. Обобщенные результаты приведены на рисунке 2.

Для таких сужающих устройств, как порог НПО «САНИИРИ», у которого наклон напорной грани составляет $18,4^\circ$, влиянием допусков в пределах $\pm (2 \dots 3)$ на величину коэффициента расхода можно пренебречь.

Специальная серия опытов была посвящена исследованиям влияния наклона порога треугольного профиля на величину коэффициента расхода. Опыты проводились К.Л. Валентини в диапазоне изменения уклона порога от $21,3^\circ$ до $33,5^\circ$, при изменении расходов воды от $0,004$ до $0,06$ м³/с и уровней воды от $0,05$ до $0,16$ м, при постоянной высоте порога

$P = 0,20$ м. Результаты опытов позволили установить связь вида $C_\alpha = f(\alpha)$, показанную на рисунке 3.

По результатам анализа всех рассматриваемых опытов ряда авторов построены графики, представленные на рисунке 4.

Для сужающих устройств с параболической формой отверстия коэффициенты расхода зависят от изменения величины фокусного параметра P_Φ . Водосливы с тонкой стенкой параболической формы в диапазоне изменения P_Φ от 0,005 до 0,10

подробно исследованы Ф. Греев, а в пределах P_Φ от 0,01 до 0,035 – К.Л. Валентини.

Различные эмпирические формулы вида $C = f(P_\Phi)$ дают весьма близкую сходимость. В связи с этим для расчетов погрешности коэффициента расхода была использована эмпирическая формула [11], справедливая для диапазона изменения P_Φ от 0,05 до 0,35 м:

$$C_0 = 0,343 + \frac{0,0002 + 0,08P_\Phi^{2,5}}{H}. \quad (4)$$

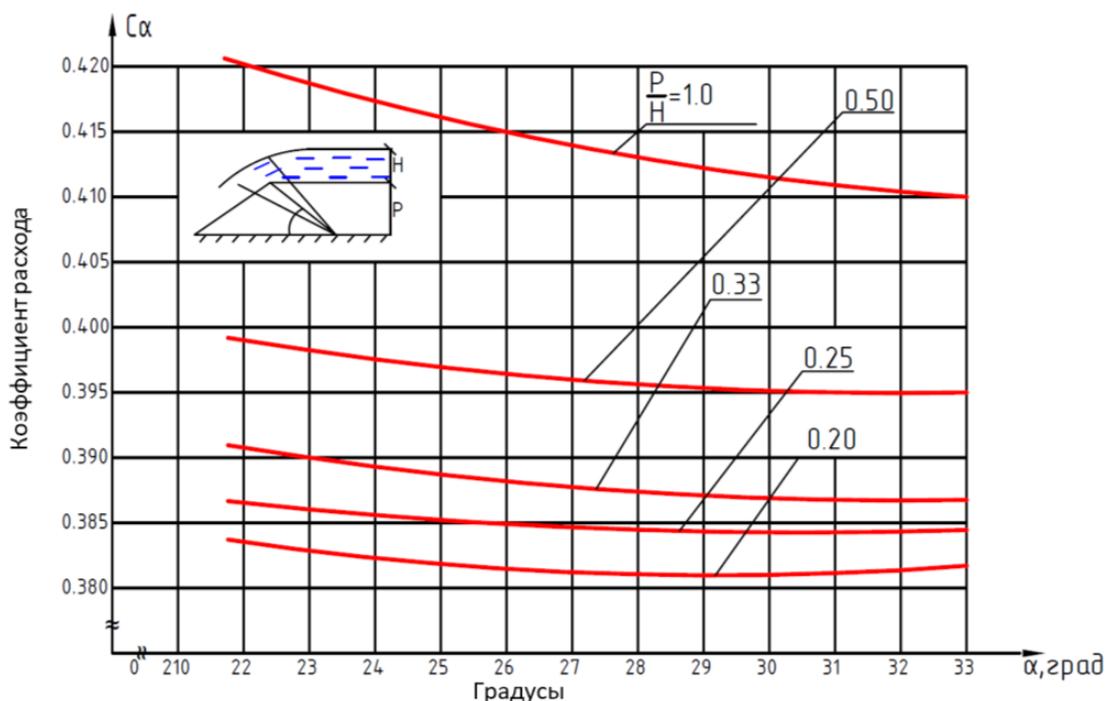


Рис. 2. Зависимость коэффициента расхода водосливов с широким порогом от изменения угла наклона напорной грани (по данным Д.И. Кумина)

Fig. 2. Dependence of the spillway flow coefficient with a wide threshold on the change in the inclination angle of the pressure face (based on the data by D.I. Kumin)

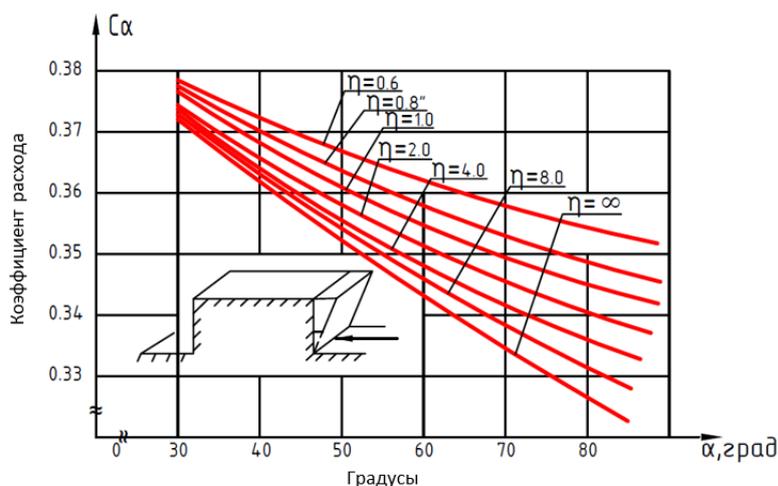


Рис. 3. Зависимость коэффициента расхода водослива треугольного профиля изменения углов наклона напорной грани при различных значениях P/H

Fig. 3. Dependence of the flow coefficient of the spillway of a triangular profile on the change in the inclination angles of the pressure face at different P/H values

Результаты расчетов, проведенных по указанной выше методике в диапазоне изменения $\Delta P_{\phi} \leq \pm 0.02$, представлены на рисунке 5.

Для водосливов с широким порогом, лотков и других сужающих устройств, работающих в безнапорном режиме, изменение формы сжатого сечения характеризуется отклонениями от вертикального положения боковых стенок. В 1987 г. проводились специальные исследования на макетах водосливов с широким порогом из органического стекла шириной по дну 0,20 м и длиной 0,70 м для изучения зависимости коэффициента расхода от наклона боковых стенок в диапазоне изменения углов от 85 до 95° относительно дна водосливов при изменении уровней воды от 0,07 до 0,18 м. Это позволило установить функцию влияния погрешности коэффициента расхода δC_3 от угла наклона боковых стенок от вертикали в диапазоне $\Delta \alpha = \pm 5, 0^\circ$.

Для различных типов сужающих устройств форма продольного профиля характеризуется

различными параметрами: углом наклона полки для насадок, углами сходимости конформно-диффузорного перехода для труб Вентури и др.

Наиболее полно изучено влияние на коэффициент расхода конфигурации выхода из сужающего устройства, работающего по схеме напорного диффузора. В ряде источников упоминается, что данный вопрос исследовали, в частности, Г.А. Гуржиенко, И.Е. Альтшуль, К.Л. Валентини [12-15]. Это позволяет заключить, что в развитии турбулентном режиме при неизменных условиях сжатия потока и распределения скоростей перед диффузором коэффициенты сопротивления, а следовательно, и расхода, весьма незначительно меняются в диапазоне углов конусности $\alpha \leq 12^\circ$, при котором соблюдается безотрывная форма истечения. Этот вывод, справедливый для напорных сужающих устройств типа труб Вентури, подтвердился и при лабораторных исследованиях безнапорных несимметричных диффузоров.

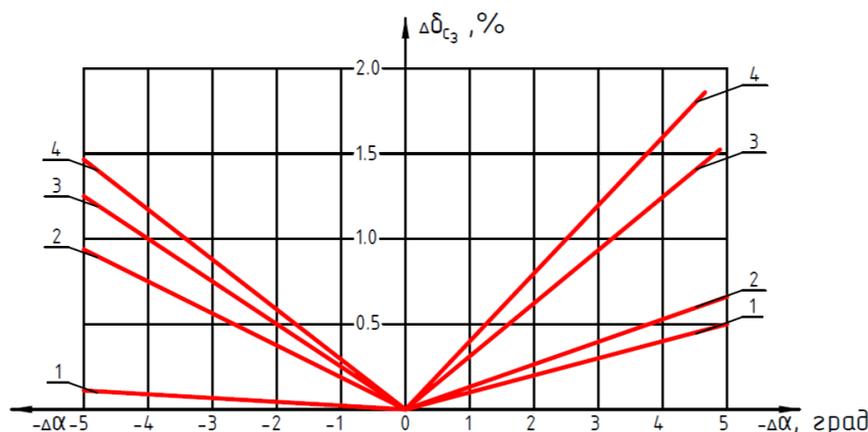


Рис. 4. Зависимость погрешности коэффициента расхода от изменения углов наклона боковых граней водосливов с тонкой стенкой

Fig. 4. Dependence of the error of the flow coefficient on the change in the inclination angles of lateral spillway faces with a thin wall

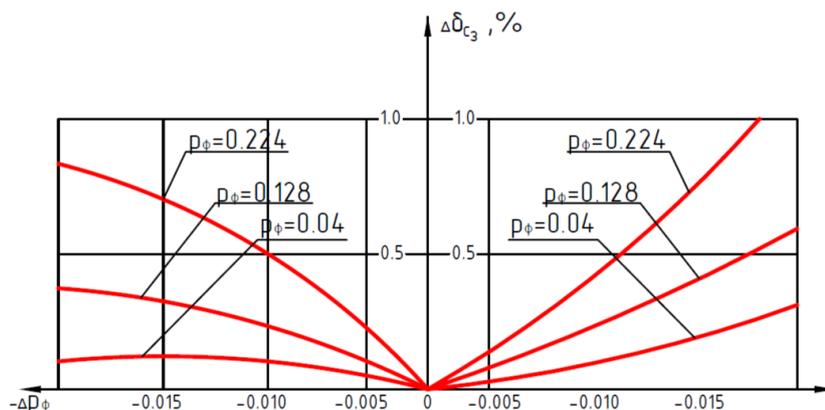


Рис. 5. Зависимость погрешности коэффициента расхода от изменения фокусного параметра сужающих устройств с параболической формой отверстия

Fig. 5. Dependence of the error of the flow coefficient on the change in the focal parameter of constricting devices with a parabolic hole shape

Выводы

Результаты исследований позволяют констатировать следующее:

– погрешность коэффициента расхода устойчиво возрастает с уменьшением наклона боковых граней водосливов с тонкой стенкой;

– для всех видов водосливов распределение погрешности с разными знаками имеет несимметричный характер ввиду нелинейного закона изменений коэффициентов расхода при изменениях формы сжатого сечения;

– поскольку значения погрешности δC_3 достаточно велики, рассматриваемая составляющая погрешности должна учитываться при оценке основной погрешности измерений расходомеров с водосливами с тонкой стенкой;

– эффективность учета воды во многом определяется и уровнем эксплуатации средств измерений. В связи с этим важную роль должна играть унификация процесса сбора, обработки и предоставления информации.

Список использованных источников

- ГОСТ-33-27-80. Расходомеры для гидромелиоративных систем. Общие технические условия. URL: <https://www.standards.ru/print.aspx?control=27&id=3600214&print=yes>.
- Виноградов Б.А.** Формирование стока на грунтовых участках транспортных сооружений // Проблемы экспертизы в автомобильно-дорожной отрасли. 2022. № 2 (3). С. 47-53.
- Chaube U.C., Pandey A., Singh V.P.** Measurement of Flow and Sediment in Canals // Canal Irrigation Systems in India: Operation, Maintenance, and Management. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. Pp. 223-251.
- Пикалов Ф.И., Попова В.Я.** Ирригационные водомеры-регуляторы / Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1943. 59 с.
- Мухаммадиев М.М., Клычев Ш.И., Жанкабылов С.У.** Особенности расчета регулирования расхода воды // Innovatsion texnologiyalar № 1 (29). 2018 у. 2018. С. 31-35.
- Хамадов И.Б., Гартунг А.А.** Автоматические затворы с постоянным расходом воды для водовыпусков оросительных каналов // Гидротехника и мелиорация. 1966. № 8.
- ГОСТ 4401-81. Атмосфера стандартная. Параметры = Standart atmosphere. Parameners: Межгосударственный стандарт: взамен ГОСТ 4401-73, май 2004 г., с изм. № 1, утв. в феврале 1987 г. (ИУС 5-87), введ. 1 июля 1982 г. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 180 с. <https://docs.cntd.ru/document/1200009588?ysclid=m2sssx93qet798838382>
- Разработать нормативы на точность и технические требования на средства учета воды в условиях автоматизации водораспределения на оросительных каналах Средней Азии: Отчет (заключительный этап) по теме ГИ 02-233 ПКТИ «Бодавтоматика и метрология». Фрунзе, 1982.
- Пахомов А.А.** Устройство для измерения расходов воды в открытых каналах / Тронеv С.В., Мелихов К.М., Колобанова Н.А. // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 4. С. 29-33. EDN: MUTSEB.
- Альтшуль А.Д.** Гидравлические сопротивления трубопроводов 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1982. С. 224.
- Али М.С., Бегляров Д.С., Чебаевский В.Ф.** Насосы и насосные станции: учебник. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. С. 330. EDN: ZFNYCZ.
- Валентини К.А., Лобачев П.В.** Оценка погрешности коэффициента расхода некоторых

References

- GOST-33-27-80. Flowmeters for irrigation and drainage systems. General technical conditions. URL: <https://www.standards.ru/print.aspx?control=27&id=3600214&print=yes>.
- Vinogradov B.A.** Runoff formation on the ground areas of transport structures // Problems of expertise in the automobile and road industry. 2022. № 2 (3). P. 47-53.
- Chaube U.C., Pandey A., Singh V.P.** Measurement of Flow and Sediment in Canals // Canal Irrigation Systems in India: Operation, Maintenance, and Management. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. P. 223-251.
- Pikalov F.I.** Irrigation water-meters-regulators [Text] / Ing. F.I. Pikalov, Ing. V.Ya. Popova; All-Union Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation. Moscow: Selkhozgiz, 1943. 59 p.
- Mukhammadiev M.M., Klychev Sh.I., Zhankabyllov, S.U.Y.** Features of calculation of water flow regulation // Innovatsion texnologiyalar № 1 (29) 2018 у. 2018. С. 31-35.
- Hamadov I.B., Gartung A.A.** Automatic gates with constant water flow rate for outlets of irrigation canals. Hydrotechnics and Melioration, 1966, No. 8.
- GOST 4401-81. Standard atmosphere. Parameters = Standard atmosphere. Parameners: interstate standard. – Replacing GOST 4401-73: Ed. (May 2004) with Modification No. 1, approved in Febr. 1987 (IUS5-87) / Introduced 01.07.82. Moscow: ИПК Изд во Standards, 2004. 180 p.
- Report (final stage) on the project GI 02-233 'To develop standards for accuracy and technical requirements for water accounting means under conditions of water distribution automation on irrigation canals in Central Asia'. PKTI Bodavtomatika and Metrology', Frunze, 1982.
- Pakhomov A.A.** Device for measuring water discharge in open canals / A.A. Pakhomov, SV. Tronev K.M. Melikhov, N.A. Kolobanova // Reclamation and Water Management. 2009, № 4. P. 29-33. EDN: MUTSEB
- Altshul A.D.** Hydraulic resistance of pipelines: 2nd ed. revised and supplemented. M.: Nedra, 1982. P. 224.
- Ali M.S., Beglyarov D.S., Chebaevskiy V.F.** Pumps and pumping stations: textbook. Moscow: Izd-vo RGAU-MSKHA, 2015. P. 330. EDN: ZFNYCZ
- Valentini K.A., Lobachev P.V.** Estimation of the error of the flow coefficient of some constricting devices due to their deviation from the standard shape // Measuring technology of water management systems: Proceedings of VNII VODGEO. M.: VODGEO Research Institute, 1983. P. 112
- Arkharov I.A., Kakorin I.D.** Calculation methodology of the cryogenic two-phase flow rate

сужающих устройств вследствие отклонения их от стандартной формы // Измерительная техника систем водного хозяйства: Труды ВНИИ ВОДГЕО. М.: ВНИИ «ВОДГЕО», 1983. 112 с.

13. **Архаров И.А., Какорин И.Д.** Методика расчета расхода криогенных двухфазных потоков в бесепарационных расходомерах на базе сужающего устройства // Измерительная техника. 2020. № 7. С. 34-42.

14. **Али М.С., Бегляр Д.С., Наумова А.А., Назаркин Э.Е.** Анализ факторов, определяющих погрешность расходов с сужающими устройствами на каналах головных насосных станции // Природообустройство. 2023. № 2. С. 99-105.

15. **Некоз К.С.** Анализ метода расчета производительности по гидросмеси расходомером переменного перепада давления с сужающим устройством // Сборник трудов конференции «Молодые – наукам о Земле». Старый Оскол: Российский геологоразведочный университет, 2020. С. 138-141.

Об авторах

Анна Анатольевна Наумова, соискатель кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами; SPIN-код: 9108-7416; AuthorID: 1010469; orcid: 0000-0002-0373-8655; koshevaya81@mail.ru

Татьяна Викторовна Пилипенко, канд. техн. наук, доцент кафедры ВИП и ГТС Сибирского государственного университета водного транспорта; SPIN-код: 1801-6810; AuthorID: 408544, <https://orcid.org/0000-0001-5080-6588>; t.v.pilipenko@nsawt.ru

Карина Рюрикевна Пономарчук, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами, ведущий советник Департамента научно-технологической политики и образования Минсельхоза России, AuthorID: 412883; k.ponomarchyk@polit.mcx.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Наумова А.А., Пилипенко Т.В., Пономарчук К.Р., провели теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых выполнили обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interests

Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 28.05.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 19.08.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 19.08.2024

in the segregationless flowmeters based on the constricting device // Measuring technique. 2020. № 7. P. 34-42.

14. **Ali M.S., Beglyarov D.S., Naumova A.A., Nazarkin E.E.** Analysis of the factors determining the error of flow rates with constricting devices on the channels of the head pumping stations // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 2. P. 99-105.

15. **Nekoz K.S.** Analysis of the method of calculation of the hydro-mix productivity by the flow meter of variable pressure drop with a constricting device // Young Earth Scientists. 2020. P. 138-141.

Author information

Anna A. Naumova, candidate of the department of hydraulics, hydrology and management of water resources; SPIN-код: 9108-7416; AuthorID: 1010469; orcid: 0000-0002-0373-8655; koshevaya81@mail.ru

Tatyana V. Pilipenko, CSc (Eng), associate professor of the department; SPIN-код: 1801-6810; AuthorID: 408544, <https://orcid.org/0000-0001-5080-6588> t.v.pilipenko@nsawt.ru

Karina R. Ponomarchuk, Cs (Eng), associate professor of the department of hydraulics, hydrology and management of water resources; Senior Advisor to the Department of Scientific and Technological Policy and Education of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, AuthorID: 412883; k.ponomarchyk@polit.mcx.ru

Naumova A.A., Pilipenko T.V., Ponomarchuk K.P., conducted theoretical and experimental studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.