

Гидравлика и инженерная гидрология

Оригинальная статья

УДК 627.83:627.88

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-99-105



АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТЬ РАСХОДОВ С СУЖАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ НА КАНАЛАХ ГОЛОВНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Али Мунзер Сулейман , канд. техн. наук, доцент

WoS ResearcherID: AAE-5905-2022; Scopus AuthorID: 57183440800; ORCID: 0000-0003-2295-8140; SPIN-код: 1390-6101; AuthorID: 709443; munzer@yandex.ru

Бегляров Давид Суренович , д-р техн. наук, профессор

viv@rgau-msha.ru

Наумова Анна Анатольевна, старший преподаватель

SPIN-код: 9108-7416; AuthorID: 1010469; orcid: 0000-0002-0373-8655; koshevaya81@mail.ru

Назаркин Эдуард Евгеньевич, старший преподаватель

WoS ResearcherID: AAE-5123-2022; Scopus AuthorID: 57224938329; ORCID: 0000-0002-5933-6989; SPIN:7867-1127; AuthorID: 939300; ednazarkin@mail.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

Аннотация. В условиях возрастающего дефицита водных ресурсов проблема их экономии и рационального использования имеет первостепенное значение. Перестройка сложившейся системы учета воды должна осуществляться комплексно и поэтапно. При учете воды наибольшую сложность представляет проблема измерений расхода воды. В статье обобщены и представлены методики оценки погрешности, позволяющие объективно оценить соответствие расходомеров техническим условиям на стадиях изготовления, монтажа и эксплуатации. Эффективность учета воды во многом определяется и уровнем эксплуатации средств измерений. В связи с этим важную роль должна играть унификация процесса сбора, обработки и представления информации. Цель исследований – обоснование математической модели погрешности расходомеров с сужающимися устройствами по аналогии с методиками, регламентированных в действующих нормативных документах.

Ключевые слова: гидромелиоративная система, канал, расходомер, сужающие устройства, давление, расход, плотность жидкости, скорость потока, результирующая погрешность

Формат цитирования: Али М.С., Бегляров Д.С., Наумова А.А., Назаркин Э.Е. Анализ факторов, определяющих погрешность расходов с сужающими устройствами на каналах головных насосных станций // Природообустройство. 2023. № 2. С. 99-105. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-99-105.

«Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030»»

© Али М.С., Бегляров Д.С., Наумова А.А., Назаркин Э.Е., 2023

Scientific article

ANALYSIS OF THE FACTORS DETERMINING THE ERROR OF FLOW WITH CONSTRICTING DEVICES ON CHANNELS OF HEAD PUMPING STATIONS

Ali Munzer Suleiman , candidate of technical sciences, associate professor

WoS ResearcherID: AAE-5905-2022; Scopus AuthorID: 57183440800; ORCID: 0000-0003-2295-8140; SPIN-код: 1390-6101; AuthorID: 709443; munzer@yandex.ru

Beglyarov David Surenovich , doctor of technical sciences, professor

db4171@mail.ru

Naumova Anna Anatolyevna, senior lecturer

SPIN-код: 9108-7416; AuthorID: 1010469; orcid: 0000-0002-0373-8655; koshevaya81@mail.ru

Nazarkin Eduard Eugenievich, senior lecturer

WoS ResearcherID: AAE-5123-2022; Scopus AuthorID: 57224938329; ORCID: 0000-0002-5933-6989; SPIN:7867-1127; AuthorID: 939300; ednazarkin@mail.ru

Russian State Agrarian University – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49, Russia

Annotation. In the conditions of increasing scarcity of water resources, the problem of their economy and rational use is of paramount importance. The restructuring of the existing water metering system should be carried out in a comprehensive and step-by-step manner. When accounting for water, the greatest difficulty is the problem of measuring water flow. The paper summarizes and presents the methods of error estimation that allow us to objectively assess the compliance of flow meters with technical conditions at the stages of manufacture, installation and operation. The efficiency of water metering is largely determined by the level of operation of measuring instruments. In this regard, the unification of the process of collecting, processing and presenting information should play an important role. The purpose of the research is to substantiate a mathematical model of the error of flow meters with tapering devices by analogy with the methods regulated in the current regulatory documents.

Keywords: Hydraulic reclamation system, channel, flow meter, constricting devices, pressure, flow rate, liquid density, flow velocity, resulting error

Format of citation: Ali M.S., Beglyarov D.S., Naumova A.A., Nazarkin E.E. Analysis of the factors determining the error of flow with constricting devices on channels of head pumping stations // Prirodoobustrojstvo. 2023. No. 2. S. 99-105. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-2-99-105.

The work was carried out at the expense of the University Development Program within the framework of the Strategic Academic Leadership Program "Priority-2030"

Введение. В последние годы с принятием двух федеральных целевых программ «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации» и «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы» наметился хотя и не кардинальный, но существенный прогресс в мелиоративных комплексах страны.

Следует отметить, что мелиорация земель является мощным фактором, влияющим на развитие агропромышленных комплексов в различных регионах и экономики в целом. Одной из наиболее острых проблем является по-прежнему высокий физический и моральный износ технологического оборудования (насосные агрегаты, запорная арматура и пр.) [1], а также системы учета воды на гидромелиоративных каналах [2]. К числу негативных примеров можно отнести недостаточную оснащенность объектов средствами измерений, отсутствие продуманной системы в их размещении, неудовлетворительное качество изготавления и монтажа средств измерений, нарушения в технологиях измерительных операций, представлении и использовании информации и др. [3].

Характерными особенностями расходометров для потоков, определяющими специфику их изготовления, являются значительные габариты

и материалоемкость, а также наличие разнородных составных частей и комплектующих.

В состав почти каждого расходомера, кроме измерительных преобразователей, входят измерительный участок с нормированными допусками на геометрические размеры, устройства для выравнивания поля скорости, успокоительные колодцы и пр.

Ввиду больших габаритов гидромелиоративных каналов для оросительных насосных станций и сооружений, а также с учетом высокой потребностям в средствах измерений массовое изготовление составных частей расходометров может быть осуществлено только из дешевых и недефицитных материалов, прежде всего – монолитного бетона и сборного железобетона с незначительной долей проката черных металлов и пластмасс [4].

В течение ближайших 10 лет преобладающую роль будут играть традиционные методы измерений, наиболее полно соответствующие техническому уровню современных гидромелиоративных систем (ГМС), квалификации обслуживающего персонала и в то же время позволяющие обеспечить массовое изготовление расходометров и внедрение элементов автоматизированного дистанционного контроля, используя средства локальной автоматики без внесения существенных измерений. В отличие от ряда других способов

измерения расходов для расходомеров с сужающим устройством еще требуется обоснование условий применения точности воспроизведения конфигурации косвенных методов градуировки и поверки.

Цель исследований: комплексная оценка состава факторов, влияющих на погрешность расходомеров с сужающими устройствами, а также получение уравнения, связывающего составляющие погрешности измерений с условиями окружающей среды с точностью воспроизведения конфигурации расходомеров и качеством строительства оросительных каналов.

Материалы и методы исследований. Базируясь на фундаментальных постулатах гидромеханики, современные представления о закономерности истечения жидкости через местные гидравлические сопротивления сформировались благодаря многочисленным теоретическим и экспериментальным исследованиям, результаты которых обобщены в научной литературе и в справочных пособиях [5-7, 9].

Если рассматривать сужающие устройства как элементы средств измерений (рис. 1) [8], то всякого рода допущения, принятые для инженерных расчетов, уже не отвечают метрологическим требованиям и нуждаются в дополнительном обосновании. Для решения вопросов гидравлического обоснования погрешности сужающих устройств наиболее приемлемой представляется следующая схема:

а) анализ структуры градировочной характеристики сужающих устройств;

б) оценки влияния:

– допущений, использованных при выводе градировочной характеристики;

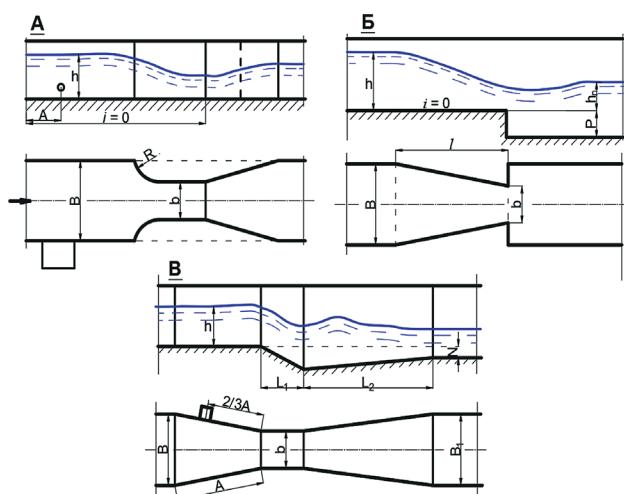


Рис. 1. Схемы расходомерных лотков:
А – Вентури; Б – Паршала; В – САНИРИ

Fig. 1. Flowmeters trays diagrams:
A-Venturi; B-Parshala; C-SANIRI

– параметров окружающей среды и измеряемой среды на погрешность определения расхода;

– отклонений от заданных геометрических параметров сужающих устройств на погрешность измерений;

– характеристик комплектующих приборов на погрешность измерений;

в) определение структуры и значений составляющих суммарной погрешности измерений расхода.

Воспользуемся простейшей схемой, изображенной на рисунке 2, и рассмотрим случай плавного изменяющегося движения реальной жидкости на участке открытого русла конечных размеров с горизонтальным дном, где установлено сужающее устройство произвольной формы. Выделим на этом участке два произвольных вертикальных сечения: I-I и II-II, расположенных в верхнем и нижнем бьефах сужающего устройства, и составим для них уравнение Бернулли в общем виде [10]:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 g_1^2}{2g} + \eta_1 \frac{U^2 n_1}{2g} + \theta_1 \frac{U^2 b_1}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 g_2^2}{2g} + \eta_2 \frac{U^2 n_2}{2g} + \theta_2 \frac{U^2 b_2}{2g} + \sum \xi \frac{g_2^2}{2g}, \quad (1)$$

где P_1 и P_2 – пьезометрическое давление в обоих сечениях, $\text{кг}/\text{м}^2$; ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; g_1 и g_2 – продольные скорости потока, определенные по сечениям I-I и II-II, $\text{м}/\text{с}$; α_1 и α_2 – коэффициенты кинетической энергии; U_{n_1} и U_{n_2} – осредненные продольные составляющие пульсационных скоростей потока в обоих сечениях, $\text{м}/\text{с}$; η_1 и η_2 – безразмерные коэффициенты, учитывающие неравномерность распределения продольных пульсационных скоростей в обоих сечениях; θ_1 и θ_2 – безразмерные коэффициенты, учитывающие неравномерность распределения вертикальных пульсационных скоростей в обоих сечениях; $\sum \xi$ – сумма потерь энергии потока между сечениями I-I и II-II, м.

Обозначим:

$$-\frac{U^2}{g^2} = k_U^n; \quad \frac{U^2}{g^2} = k_U^b,$$

где k_U^n и k_U^b – соответствующие постоянные Т. Кармака:

$$-\frac{P_1}{\rho g} = H \text{ и } \frac{P_2}{\rho g} = h.$$

Используя уравнение неразрывности как $\vartheta_1 \omega_1 = \vartheta_2 \omega_2$ (где ω_1 и ω_2 – площади живого сечения в I-I и II-II, м^2), решаем уравнение Бернулли относительно скорости потока в сечении II-II:

$$\vartheta_2 = \frac{\sqrt{2g(H-h)}}{\sqrt{\alpha_2 + \eta_2 K_{U_2}^n + \theta_2 K_{U_2}^b + \sum \xi - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 (\alpha_1 + \eta_1 K_{U_1}^n + \theta_1 K_{U_1}^b)}}. \quad (2)$$

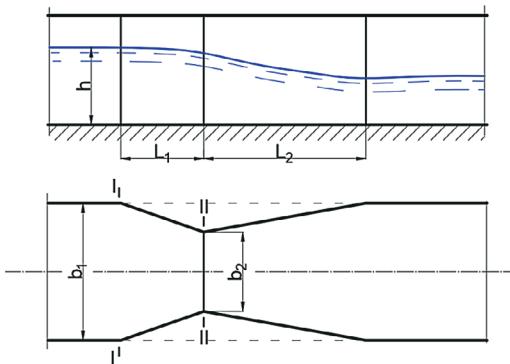


Рис. 2. Схема расходомерного лотка
Fig. 2. Flow meter tray diagram

Рассмотрим вертикальное сечение О-О с гидравлическими параметрами H_0 , ϑ_0 и ω_0 , проходящее через плоскость максимального сжатия потока сужающим устройством.

Обозначим:

$$\frac{\omega_0}{\vartheta_1} = m \text{ (относительная площадь отверстия}$$

или модуль сжатия), $\frac{\omega_0}{\vartheta_2} = \varepsilon$ (коэффициент сжатия струи). С учетом этого получим:

$$\vartheta_0 \omega_0 = \frac{\varepsilon \omega_0 \sqrt{2g(H-h)}}{\sqrt{\alpha_2 + \eta_2 K_{U_2}^n + \theta_2 K_{U_2}^b + \sum \xi - \varepsilon^2 m^2 (\alpha_1 + \eta_1 K_{U_1}^n + \theta_1 K_{U_1}^b)}}. \quad (3)$$

Обозначим далее:

$$-(\alpha_2 + \eta_2 K_{U_2}^n + \theta_2 K_{U_2}^b) = \tau_2; \quad (4)$$

$$-(\alpha_1 + \eta_1 K_{U_1}^n + \theta_1 K_{U_1}^b) = \tau_1. \quad (5)$$

Тогда

$$Q = \frac{\varepsilon \omega_0 \sqrt{2g(H-h)}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\tau_1}{\tau_2} \varepsilon^2 m^2\right) \tau_2 + \sum \xi}}. \quad (6)$$

Анализ структуры уравнения (6) позволяет сделать следующие выводы.

Для сужающих устройств, работающих в режиме свободного истечения, в том числе водослива с тонкой стенкой, с порогом прямоугольного, треугольного и трапецидального профиля, щелевых водосливов, лотков и др., изменение структуры потока в нижнем бьефе не влияет на градуировочную характеристику, то есть $\tau_2 \rightarrow 1$.

Для сужающихся устройств, работающих в режиме затопленного истечения, например, насадков и труб Вентури, градуировочная характеристика зависит от изменения уровней воды в нижнем бьефе, то есть, но поскольку отбор нижнего давления производится непосредственно в сжатом сечении, трансформацию поля скоростей потока от сечения 0-0 до сечения II-II

можно не учитывать. Следовательно, в этом случае можно принять $\tau_2 \rightarrow 1$.

Градуировочная характеристика в аналитической форме может быть представлена следующим образом:

$$Q = \frac{\varepsilon \omega_0 \sqrt{2g(H-h)}}{\sqrt{1 + \frac{\lambda l_0}{4k_0} + \frac{\chi_n l_n \sqrt{m}}{4k_0} + \xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{сж}} + \xi_{\text{вых}} - \tau_1 m_2 \varepsilon^2}}, \quad (7)$$

где λ и χ_n – соответственно коэффициенты гидравлического трения (коэффициенты Дарси) на участке отводящего канала от сечения I-I до 0-0 и в пределах сужающего устройства; l_0 и l_n – соответственно протяженность участка подводящего канала от сечения I-I до 0-0 и протяженность сужающего устройства в продольном направлении, м; k_0 и k_n – соответственно гидравлические радиусы подводящего участка канала и сужающего устройства в сжатом сечении, м; $\xi_{\text{вх}}$, $\xi_{\text{сж}}$, $\xi_{\text{вых}}$ – соответственно коэффициенты потерь энергии потока на вход при истечении через сжатое сечение и при выходе из сужающего устройства.

Из формулы (8) следует, что ввиду косвенного характера определения расхода результирующая погрешность зависит от частных составляющих, связанных с изменением каждого параметра, входящего в уравнение. Поэтому погрешность определения расхода для каждого стандартного сужающего устройства будет зависеть от метрологических характеристик образцовых средств измерений, показателей точности их изготовления и монтажа, а также от степени отклонения условий эксплуатации по сравнению с нормальными условиями первичных испытаний.

Результаты и их обсуждение. Из числа стандартных показателей, характеризующих нормальные условия испытаний, в данном случае важны следующие: атмосферное давление – 101,3 кПа (760 мм рт.ст.); относительная влажность воздуха – 60%; ускорение силы тяжести, соответствующее географической широте 45°32'33" и средней высотной отметке уровня моря 9,80665 м по ГОСТ 4401-81.

Значения исходного коэффициента расхода при испытаниях могут быть определены по формуле:

$$C_0 = \frac{Q_{\text{обр}}^n}{\omega_0 \sqrt{2g(H_{\text{обр}} - h_{\text{обр}})}}, \quad (8)$$

где C_0 – величина исходного коэффициента расхода; $Q_{\text{обр}}^n$ – показание образцовой расходомерной установки, м³/с; $H_{\text{обр}}$, $h_{\text{обр}}$ – показания образцовых уровнемеров, контролирующих соответственно положение уровней жидкости в верхнем и нижнем бьефах сужающего устройства, м.

С учетом этого и предположения того, что ошибки, вызванные определением площади сечения сужающего устройства и ускорения силы тяжести, могут быть приведены к минимуму

ввиду систематического характера, погрешность определения исходного коэффициента расхода будет выражаться функцией:

$$\delta_C^0 = f(\delta_Q^{\text{обр}}; \delta_n^{\text{обр}}; \sigma) \%, \quad (9)$$

где δ_C^0 – погрешность определения исходного коэффициента расхода, %; $\delta_Q^{\text{обр}}, \delta_n^{\text{обр}}$ – погрешности образцовых расходомерных установок и уровнемера, %; σ – среднеквадратическое относительное отклонение исходного коэффициента расхода, %.

Допустимая погрешность образцовых расходомерных установок должна находиться в пределах от 0,1 (0,25) до 1,5% (1,0%). Допустимая абсолютная погрешность современных образцовых уровнемерных установок составляет от 0,3 до 1,0 мм.

Влияние величин ускорения силы тяжести, плотности, сил поверхностного натяжения и вязкости жидкости на основную погрешность неоднозначно и не только зависит от изменений условий среды, но и связано с геометрией сужающих устройств.

Для зоны орошаемого земледелия, расположенной на высотных отметках от уровня моря до 1500 м и между географическими широтами от 35 до 50 град., максимальная погрешность в случае пренебрежения величиной, корректирующей влияние ускорения силы тяжести, составляет порядка 0,15%.

При истечении жидкости через сужающее устройство силы поверхностного натяжения оказывают тормозящее воздействие на поток, относительное влияние возрастает с уменьшением габаритов сжатого сечения. Оценку влияния этих сил можно произвести с помощью формулы [6]:

$$H_S = \frac{2\sigma_n}{4R\rho g}, \quad (10)$$

где H_S – дефицит действующего напора вследствие влияния сил поверхностного натяжения жидкости, м; σ_n – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, н/м; R – гидравлический радиус сужающего устройства, м.

С учетом (10) градуировочную характеристику расходомеров с сужающим устройством можно преобразовать в виде:

$$Q = C \omega \sqrt{2g [(H_1 - h_{S_1}) - (H_2 - h_{S_2})]}. \quad (11)$$

После преобразования уравнений (7), (10) и (11) выражение погрешности, обусловленной влиянием сил поверхностного натяжения жидкости, может быть получено в виде:

$$\delta_\sigma = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\sigma_n}{2\rho g R H}} \right) 100, \quad (12)$$

где δ_σ – составляющая погрешности, обусловленная воздействием сил поверхностного натяжения, %

Для расходомеров с затопленным истечением вместо H в формуле (12) следует включить перепад уровней $z = (H - h)$. Анализ формулы и анализ предельных величин, например, для треугольного водослива с тонкой стенкой $\delta_\sigma = 0,1\%$, а для лотка Вентури $\delta_\sigma = 0,02\%$, подтверждает, что при увеличении габаритов сужающих устройств и напора величина δ_σ уменьшается и при $R > 0,30$ м, $H > 0,30$ м становится пренебрежимо малой.

Погрешность измерений расхода может зависеть от температуры среды, степени аэрации и концентрации примесей, а также сжимаемости жидкости под воздействием гидростатического давления.

Изменение плотности воды вследствие колебаний ее температуры можно оценить по формуле:

$$\rho_z = \rho_0 [1 - \beta_t (t_0 - t_1)], \quad (13)$$

где ρ_z – плотность воды при произвольной температуре t_1 , кг/м³; ρ_0 – плотность воды при температуре, соответствующей нормальным условиям испытаний, при $t_0 = 293 K$, кг/м³; β_t – коэффициент объемного расширения воды в интервале температур от t_0 до t_1 , град.⁻¹

Влияние этого процесса на погрешность измерений расхода характеризуется отклонением температуры воды в рабочих условиях от нормальной и выражается формулой:

$$\delta_\rho^t = \frac{\rho^t - \rho_0}{\rho_0} 100, \quad (14)$$

где δ_ρ^t – составляющая погрешности измерений вследствие пренебрежения температурным изменениям плотности жидкости, %.

Изменение плотности воды при различной концентрации механических примесей может быть учтено по формуле:

$$\rho_{cm} = \rho_0 + S_0 (\rho_{tb} - \rho), \quad (15)$$

где ρ_{cm} – суммарная плотность воды с учетом механических примесей, кг/м³; S_0 – относительная концентрация примесей, равная отношению объемов твердых частиц к объему гидросмеси; ρ_{tb} – средняя плотность твердых частиц, кг/м³.

Погрешность измерений вследствие пренебрежения этим фактором может быть рассчитана по формуле:

$$\delta_\rho^{cm} = \frac{\rho_{cm} - \rho_0}{\rho_0} 100, \quad (16)$$

где δ_ρ^{cm} – составляющая погрешности измерений вследствие пренебрежения наличием в жидкости механических примесей, %.

Аэрация жидкости также изменяет ее физические свойства. Однако допускаемая максимальная скорость потока для сужающих устройств значительно меньше, чем критическая скорость, соответствующая началу аэрации.

Поэтому влиянием аэрации на показания расходомеров с сужающимися устройствами заводом можно пренебречь.

Изменение объема или массы жидкости может происходить и при воздействии избыточного давления, причем в работе достаточно учитывать только гидравлическое давление, поскольку воздействие изменения атмосферного давления заводом мало.

Изменение единицы объема воды вследствие гидростатического сжатия можно рассчитать по формуле:

$$W_p = W_0 (1 - \beta_w \Delta P), \quad (17)$$

где W_p , W_0 – объемы воды, соответствующие значениям избыточного давления P_α и P_0 , м³; $\Delta P = P_\alpha - P_0$ – градиент избыточного давления в процессе эксплуатации расходомера, кг с/см²; β_w – коэффициент сжимаемости воды, равный $491 \cdot 10^{-7}$ см³/кг при 293К.

Из формулы (17) можно определить, что в диапазоне глубин воды в каналах, соответствующих условиям применения сужающих устройств, влияние сжимаемости воды под воздействием гидростатического давления может вызвать ошибку при измерении расхода, не превышающую 0,02%.

Поскольку в состав расходомеров с сужающими устройствами входят уровнемеры, то необходимо учитывать и ошибки, возникающие в процессе контроля уровня жидкости. К ним относятся [11, 13]:

- основная погрешность уровнемеров, определенная в нормативных условиях δ_s . Диапазон ее изменения для уровнемеров общепромышленного назначения составляет от 0,4 до 4,5%;

- погрешность привязки шкалы средства измерений к условным отметкам сужающего устройства – δ_Δ . Абсолютная погрешность для нивелиров I и II классов составляет 0,2 мм, для нивелиров III и IV классов – не более 2,0 мм;

- погрешность, вызванная влиянием неинформативных параметров (пульсации поверхности жидкости), – δ_H . Погрешность может не учитываться, если $\delta_{H_x} < 0,5\delta_s$. Если же $\delta_{H_x} > 0,5\delta_s$, то следует принимать меры по снижению уровня пульсации в успокоительных устройствах;

- дополнительная погрешность, вызванная смещением условной отметки сужающего устройства $\delta_{\Delta_{cy}}$. Величина должна учитываться только в случае применения сужающих устройств со свободным истечением, имеющих замкнутую прямоугольную, квадратную или трапецидальную форму отверстия, у которых после монтажа

наблюдается отклонение оси симметрии от вертикали на определенный угол θ .

Таким образом, основным резервом повышения точности является применение более совершенных уровнемеров, а также геодезического оборудования для привязки их шкал.

В процессе серийного изготовления отклонения от заданных линейно-угловых размеров носят характер, обусловленный технологией производства. Изменение геометрических размеров сужающих устройств может происходить и в период эксплуатации вследствие деформаций, истирания насосами и др.

Действительное значение площади сечения может быть определено по формуле:

$$\omega_0 = \omega_p (1 \mp \Delta\omega), \quad (18)$$

где ω_0 и ω_p – действующее и расчетное значение площадей сечения сужающих устройств, м²; $\Delta\omega$ – относительное отклонение от расчетной площади сечения (в долях от единицы).

Величина поправки $\Delta\omega$ зависит от формы отверстия сужающего устройства и вида измеряемого параметра. Систематические ошибки при определении площади сечения могут возникать и ввиду наклона оси симметрии или порога при монтаже сужающих устройств.

Выводы

Результаты исследований, изложенные в статье, позволяют констатировать следующее:

1. Метод переменного перепада уровней с сужающими устройствами имеет преимущества по сравнению с другими. Главными из них являются простота изготовления и монтажа составных частей и возможность использования косвенных методов градуировки, значительно облегчающих метрологическое обслуживание.

2. Теоретическими исследованиями и данными натуральных наблюдений ряда ученых установлено, что точность измерений расхода с помощью сужающих устройств зависит от изменения условий окружающей среды и жидкости, точности воспроизведения проектных размеров при изготовлении, монтаже, эксплуатации, точности определения исходных градуировочных характеристик, от метрологических показателей комплектующих приборов, а также от качества строительства прилегающих к расходомерам участков каналов.

3. Основная погрешность расходомеров зависит и от метрологических характеристик образцовых средств измерений, предназначенных для определения исходных коэффициентов расхода и поверки уровнемеров.

Список использованных источников

1. Кирейчева Л.В., Юрченко И.Ф., Яшин В.М. Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России: монография / под науч. ред. Л.В. Кирейчевой. М.: ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2017. С. 296.
2. Пахомов А.А. Устройство для измерения расходов воды в открытых каналах / А.А. Пахомов, СВ. Тропин К.М. Мелихов, Н.А. Колобанова // Мелиорация и водное хозяйство. 2009, № 4. С. 29-33.
3. Али М.С., Бегляров Д.С., Чебаевский В.Ф. Насосы и насосные станции: учебник. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. С. 330.
4. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель: 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. С. 371.
5. Бегляров Д.С., Агарков И.П., Рыбкин В.Н. Средства измерения расхода и давления на оросительных сетях мелиоративных систем: учебное пособие. М.: МГМИ, 1995. С. 79.
6. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления трубопроводов: 2-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, 1982. С. 224.
7. Гидротехнические сооружения: Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1983. С. 543.
8. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник. В 2 кн. 5-е изд., перераб. и доп. СПб.: Политехника, 2002.
9. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1987. С. 440.
10. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 2004. С. 656.
11. Валентини К.А., Лобачев П.В. Оценка погрешности коэффициента расхода некоторых сужающих устройств в следствие отклонения их от стандартной формы // Измерительная техника систем водного хозяйства: Труды ВНИИ ВОДГЕО. М., 1983.
12. ОСТ-33-27-80. Расходомеры для гидромелиоративных систем. Общие технические условия. URL: <https://www.standards.ru/print.aspx?control=27&id=3600214&print=yes>.
13. ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Использование значений точности на практике. Введ. 2002-04-23. М.: Изд-во стандартов, 2002. С. 43.

Критерии авторства

Али М.С., Бегляров Д.С., Наумова А.А., Назаркин Э.Е. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 25.01.2023

Одобрена после рецензирования 03.02.2023

Принята к публикации 08.02.2023

References

1. Kireycheva L.V., Yurchenko I.F., Yashin V.M. Scientific foundations for the creation and management of reclamation systems in Russia: monograph / Under the scientific editorship of Kireycheva L.V. M.: FSBNU «VNII agrochemistry», 2017. S. 296.
2. Pakhomov A.A. Device for measuring water flow in open channels / A.A. Pakhomov, SV. Tronev K.M. Melikhov, N.A. Kolobanova // Melioration and water management, M., 2009, No. 4 P. 29-33.
3. Ali M.S., Beglyarov D.S., Chebaevsky V.F. Pumps and pumping stations: a textbook. M.: Publishing House of RGAU-MSHA, 2015. S. 330.
4. Kharchenko S.I. Hydrology of irrigated lands. 2nd ed., reprint. and add. L.: Hydrometeoizdat, 1975. S. 371.
5. Beglyarov D.S., Agarkov I.P., Rybkin V.N. Means of measuring flow and pressure on irrigation networks of reclamation systems: Textbook: Moscow Hydromelioration Institute. M.: MGMI, 1995. S. 79.
6. Altschul A.D. Hydraulic resistances of pipelines. 2nd ed., reprint. and add. M. Nedra, 1982. – S. 224.
7. Hydraulic structures. Designer's Handbook. – M.: Stroyizdat, 1983. S. 543.
8. Kremlevsky P.P. Flowmeters and counters of the amount of substances: a reference book. In 2 books. 5th ed., revised. and additional. St. Petersburg: Polytechnic, 2002.
9. Yemtsev B.T. Technical hydromechanics: textbook for universities. M.: Mechanical Engineering, 1987. S. 440.
10. Sterenlicht D.V. Hydraulics: a textbook for universities. – 3rd ed., Rev. And additional. M.: Kolos, 2004. S. 656.
11. Valentini K.A., Lobachev P.V. Estimation of the error of the flow coefficient of some narrowing devices as a result of their deviation from the standard form. / Digest: Measuring equipment of water management systems. Proceedings of VNII VODGEO. M.: 1983
12. OST-33-27-80. Flow meters for water reclamation systems. General specifications. URL: <https://www.standards.ru/print.aspx?control=27&id=3600214&print=yes>.
13. GOST R ISO 5725-6-2002. Accuracy (correctness and precision) of measurement methods and results. Using precision values in practice. Introduced 2002-04-23. M.: Publishing house of Standards, 2002. S. 43.

Criteria of authorship:

Ali M.S., Beglyarov D.S., Naumova A.A., Nazarkin E.E. conducted practical and theoretical research, based on which they summarized the results. Ali M.S., Beglyarov D.S., Naumova A.A., Nazarkin E.E. have the copyright for the article and are responsible for the plagiarism.

Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication

The article was submitted to the editorial board 25.01.2023

Approved after peer review 03.02.2023

Accepted for publication 08.02.2023