

УДК 627.133

DOI: 10.31774/2658-7890-2020-3-73-81

А. А. Чураев, Л. В. Юченко, А. Е. Шепелев

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

К ВОПРОСУ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УСТРОЙСТВ УЧЕТА ВОДЫ НА ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЙ СЕТИ, ОБЕСПЕЧЕННЫХ СИСТЕМАМИ ТЕЛЕМЕТРИИ

Цель: уточнение предельной относительной ошибки измерения расхода воды на каналах на примере водомерного устройства типа водослива. **Материалы и методы.** В статье приведены требования к водомерным устройствам и приборам, которые будут оснащены системами телеметрии для автоматизации технологического процесса. При технологическом водоучете допускается измерение уровня и расхода воды с допустимой погрешностью измерений до 10 %. При коммерческом водоучете погрешность измерений объема и расхода воды должна гарантироваться средствами измерений, аттестованными ведомственной и государственной метрологической службой, и не должна превышать 2–3 %. **Результаты.** Одним из требований при определении расхода воды является точность водоизмерения, которая складывается из предельной относительной ошибки и средней квадратичной относительной ошибки (с доверительной вероятностью 95 %). На примере водомерного устройства типа водослива приведена формула для определения расхода воды и ее изменение при помощи соответствующих функций переменных с последующим получением уравнения предельной относительной ошибки измерения расхода. В статье также приведена новая формула предельной относительной ошибки измерения, которая будет складываться из погрешности метода измерения (δ_m), погрешности (класса точности) водомерного прибора ($\delta_{пр}$) и погрешности (класса точности) телеизмерения ($\delta_{ти}$). **Выводы.** Одним из требований, предъявляемых к водомерным устройствам и приборам, оснащенным системами телеметрии при автоматизации технологического процесса на гидромелиоративной сети, является точность измерения, которая требует минимальной погрешности при измерении параметров водного потока. При оснащении устройств учета воды системами телеметрии необходимо учитывать, что предельная относительная ошибка измерения расхода воды на каналах будет складываться из погрешности метода измерения, погрешности (класса точности) водомерного устройства (прибора) и погрешности (класса точности) телеизмерения.

Ключевые слова: гидромелиоративная система; устройства учета воды; точность измерения; погрешность; система телеметрии.

A. A. Churayev, L. V. Yuchenko, A. Ye. Shepelev

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

ON ISSUE OF MEASURING ACCURACY OF WATER METERING DEVICES ON A HYDRO LAND RECLAMATION NETWORK PROVIDED BY REMOTE SENSING SYSTEMS

Purpose: to refine the limiting relative error in measuring water flow rate on canals using the example of a water-measuring device such as a weir. **Materials and methods.** The requirements for water measuring devices and tools that will be equipped with telemetry



systems for the technological process automation are given. During technological water metering, the measuring water level and water discharge with a permissible error of up to 10 % are considered acceptable. In commercial water accounting, the error in measuring the volume and water discharge must be guaranteed by measuring instruments certified by the departmental and state metrological service, and must not exceed 2–3 %. **Results.** One of the requirements for determining water discharge is the water measurement accuracy, which is the sum of permissible error and the root mean square relative error (with a confidence coefficient of 95 %). Using the example of a water-measuring device such as a weir, a formula for determining water discharge and its change using the corresponding functions of variables, followed by obtaining an equation for the limiting relative error in measuring water discharge is given. A new formula for ultimate relative error, which will be the sum of the procedural error (δ_m), the error (accuracy class) of the water meter ($\delta_{пр}$) and the error (accuracy class) of telemetry is provided ($\delta_{тн}$). **Conclusions.** One of the requirements for water measuring devices and tools equipped with telemetry systems when automating a technological process on a hydro-reclamation network is the measurement accuracy, which requires a minimum error when measuring the parameters of the water flow. When equipping water metering devices with telemetry systems, it is necessary to take into account that the limiting relative error in measuring water discharge on the canals will be the sum of the error of the measurement method, the error (accuracy class) of the water meter (device) and the error (accuracy class) of telemetry.

Key words: hydro-reclamation system; water metering devices; measurement accuracy; error; remote sensing system.

Введение. Курс на обеспечение автоматизированного оперативного управления мелиоративными системами был взят в нашей стране еще с 20-х гг. прошлого столетия. Таким образом создавались возможности для перехода от обычных способов земледелия к программированию гарантированных урожаев при обязательном условии сохранения земель в хорошем состоянии. Вместе с тем обеспечение автоматизированного оперативного управления является сложной задачей, что определяется специфическими особенностями гидромелиоративных систем как объектов автоматизации. В настоящее время продолжается поэтапное совершенствование автоматизации гидромелиоративных систем. Одна из поставленных задач – это оснащение пунктов водоучета современными информационными системами телеметрии, которые являются составной частью процесса автоматизации гидромелиоративной сети [1, 2].

К точности измерений сооружений и устройств для учета воды, обеспеченных системами телеметрии на гидромелиоративной сети, предъявляются высокие требования. Они объясняются стремлением к получе-

нию качественной и своевременной информации, а также желанием автоматизировать процессы производства.

Материалы и методы. В зависимости от назначения пункта водоучета (технологический или коммерческий) на гидромелиоративной сети метрологические требования к применяемым средствам измерений могут различаться по отдельным показателям. При технологическом водоучете величины погрешностей измерения (определения) параметров водного потока могут определяться условиями эксплуатации мелиоративных систем и сооружений с исключением возможности возникновения аварийных ситуаций [3]. При таком водоучете допускается измерение уровня и расхода воды с допустимой погрешностью измерений до 10 %. При коммерческом водоучете погрешность измерений объема и расхода воды должна гарантироваться средствами измерений, аттестованными ведомственной и государственной метрологической службой, и не должна превышать 2–3 % [4, 5].

При установке водоизмерительных устройств и приборов на гидромелиоративной сети нужно учитывать их сложные эксплуатационные условия работы, такие как:

- содержание в воде донных и взвешенных наносов, различных примесей, плавающих водорослей, мусора и т. п.;
- большой диапазон изменения величин измеряемых параметров (уровней, напоров, перепадов, расходов и т. д.);
- изменение с течением времени морфометрических (площадь и форма водного сечения, гидравлический радиус и т. п.) и гидравлических (шероховатость русла, средняя скорость и т. д.) характеристик водотоков вследствие деформации русла, отложения наносов, появления на стенках каналов и труб растительности, влияния особенностей неравномерного движения (подпора и спада);
- повышенная влажность, запыленность, большие колебания температуры воздуха;
- большое количество и разнообразие объектов учета и контроля.

Несмотря на это, к водомерным устройствам и приборам, которые будут оснащены системами телеметрии для автоматизации технологического процесса, предъявляются высокие требования. Среди них: точность измерения, обеспечение диапазона контролируемых параметров, безотказность работы, несмотря на сложные эксплуатационные условия. Главное требование, которое предъявляется к системе телеизмерения, – минимальная погрешность, под которой понимают степень приближения показаний прибора на приемной стороне к истинному значению измеряемой величины [6].

Результаты и обсуждение. Наиболее распространенный критерий оценки точности для водомерных измерений – предельная относительная ошибка δ и средняя квадратичная относительная ошибка $\delta_{0,95}$ (с доверительной вероятностью 95 %). Из теории ошибок [7] известно, что предельная относительная ошибка функции нескольких переменных δ_{Π} равна дифференциалу натурального логарифма этой функции, соответственно:

$$\delta_{\Pi} = \pm d[\ln f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)],$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – независимые переменные.

Для учета оросительной воды на каналах с малыми расходами давно известны стандартные водомерные устройства типа водосливов. Полный перечень водомерных устройств можно найти в «Правилах измерения расхода жидкости при помощи стандартных водосливов и лотков» [8].

Применительно к случаю измерения расхода водомерными (совершенными) водосливами, общее уравнение которых имеет вид [8, 9]:

$$Q = mb\sqrt{2gH}^{3/2},$$

где Q – расход, проходящий через водомерный водослив, м³/с;

m – коэффициент расхода водослива;

b – ширина водослива, м;

H – напор с учетом скорости течения воды, м,

формула переписывается следующим образом [9]:

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{dm}{m} + \frac{db}{b} + \frac{3}{2} \frac{dH}{H}.$$

Если перейти к ошибкам функции переменных, заменив данные формулы:

$$\delta_Q = \frac{dQ}{Q}, \delta_m = \frac{dm}{m}, \delta_b = \frac{db}{b}, \delta_H = \frac{dH}{H}, \quad (1)$$

то можно получить уравнение предельной относительной ошибки измерения расхода водомерным сооружением:

$$\delta_Q = \delta_m + \delta_b + \frac{3}{2} \delta_H.$$

В формуле (1) слагаемые δ_m и δ_b – погрешности, характеризующие точность гидравлического элемента водомерного устройства (водослива, приставки, сопла и т. д.) или точность метода измерения. Они зависят от качества изготовления и условий работы гидравлического элемента, изученности гидравлических закономерностей, определяющих его работу, от совершенства метода учета и измерения воды. Слагаемое формулы δ_H – погрешность водомерного прибора (датчика, расходомера, самописца и т. д.), определяется классом точности прибора, т. е. его совершенством и качеством изготовления.

При автоматизации учета значения измеряемого параметра передаются на диспетчерский пункт, преобразуются в показания на шкале пульта, записываются. В этом случае добавляется еще погрешность телеизмерения.

Очевидно, что предельная относительная ошибка измерения расхода воды на каналах $\delta_{ир}$ при использовании системы телеметрии будет складываться из погрешности метода измерения δ_m , погрешности (класса точности) водомерного прибора $\delta_{пр}$ и погрешности (класса точности) телеизмерения $\delta_{ти}$, отсюда данная формула:

$$\delta_{ир} = \delta_m + \delta_{пр} + \delta_{ти}.$$

Средняя квадратичная относительная ошибка $\delta_{0,95}$ (с вероятностью 0,95 %) принимается равной половине предельной относительной ошибки δ :

$$\delta_{0,95} = \frac{1}{2} \delta.$$

Проведенный учеными [5, 10] анализ точности работы других водомерных устройств и приборов, которые могут найти применение при автоматизации учета воды на гидромелиоративных системах, показывает, что предельные относительные ошибки измерения расхода порядка $\pm 5 \dots 6$ % и средние квадратичные относительные ошибки ± 3 % являются минимальными. Эти ошибки и приняты в качестве допустимых при измерении расходов на основных пунктах учета воды мелиоративных систем (на головных, балансовых, оперативных и других постах). Погрешность измерения уровней воды и открытия затворов при определении расходов не должна превышать ± 1 см.

Область измерения водомерных устройств при автоматизации и оснащении гидромелиоративной сети системой телеметрии должна обеспечивать определение контролируемых параметров во всем диапазоне их изменения – от минимального до максимального значения. Для гидромелиоративных систем отношение минимального расхода к максимальному для одного и того же канала или трубопровода предусматривается в пределах 1:3 – 1:6, следовательно, область измерения технических средств учета воды должна быть также в этих пределах.

Выводы. К водомерным устройствам и приборам, которые будут оснащены системами телеметрии для автоматизации технологического процесса на гидромелиоративной сети, предъявляются высокие требования. Одним из них является точность измерения, которая требует минимальной погрешности при измерении параметров водного потока. Таким образом, при оснащении устройств учета воды системами телеметрии необходимо учитывать, что предельная относительная ошибка измерения расхода воды

на каналах будет складываться из погрешности метода измерения, погрешности (класса точности) водомерного устройства (прибора) и погрешности (класса точности) телеизмерения.

Список использованных источников

- 1 Коваленко, П. И. Автоматизация мелиоративных систем / П. И. Коваленко. – М.: Колос, 1983. – 304 с.
- 2 Филиппов, Е. Г. Гидравлика гидрометрических сооружений для открытых каналов / Е. Г. Филиппов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 288 с.
- 3 Валентини, К. Л. Водомерное устройство для лотковых каналов / К. Л. Валентини // Гидротехника и мелиорация. – 1975. – № 5. – С. 81–82.
- 4 Щедрин, В. Н. Основные правила и положения эксплуатации мелиоративных систем и сооружений, проведения водоучета и производства эксплуатационных работ: монография. В 2 ч. Ч. 2 / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. В. Слабунов. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 262 с.
- 5 Водомерные устройства для гидромелиоративных систем / М. В. Бутырин, А. Ф. Киенчук, В. Е. Краснов, Н. Н. Кошчев, В. Ф. Мальярчук, В. А. Мельникова; под ред. А. Ф. Киенчука. – М.: Колос, 1982. – 142 с.
- 6 Ганкин, М. З. Автоматизация и телемеханизация мелиоративных систем / М. З. Ганкин. – М.: Колос, 1965. – 230 с.
- 7 Теория ошибок и обработка результатов эксперимента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://agum.spbu.ru/docs/phys_oshib_4.pdf, 2020.
- 8 Правила измерения расхода жидкости при помощи стандартных водосливов и лотков: РДП 99-77: утв. Гос. ком. стандартов Совета Министров 01.01.78: введ. в действие с 01.01.78: актуализация с 01.02.20. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 54 с.
- 9 ГОСТ Р 51657.4-2002. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Измерение расходов воды с использованием водосливов с треугольными порогами. Общие технические требования. – Введ. 2003-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 39 с.
- 10 Бочкарев, Я. В. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов в гидромелиорации / Я. В. Бочкарев, М. З. Ганкин, Е. Е. Овчаров. – М.: Колос, 1969. – 392 с.

References

- 1 Kovalenko P.I., 1983. *Avtomatizatsiya meliorativnykh sistem* [Automation of Reclamation Systems]. Moscow, Kolos Publ., 304 p. (In Russian).
- 2 Filippov E.G., 1990. *Gidravlika gidrometricheskikh sooruzheniy dlya otkrytykh kanalov* [Hydraulics of Hydrometric Structures for Open Canals]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 288 p. (In Russian).
- 3 Valentini K.L., 1975. *Vodomernoe ustroystvo dlya lotkovykh kanalov* [Water-measuring device for chute canals]. *Gidrotekhnika i melioratsiya* [Hydraulic Engineering and Reclamation], no. 5, pp. 81-82. (In Russian).
- 4 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 Operation of Reclamation Systems and Structures, Water Accounting and Maintenance Work: monograph]. In 2 parts, pt. 2. Novocherkassk, Helikon Publ., 262 p. (In Russian).
- 5 Butyrin M.V., Kienchuk A.F., Krasnov V.E., Koshcheev N.N., Malyarchuk V.F.,

Melnikova V.A., 1982. *Vodomernye ustroystva dlya gidromeliorativnykh sistem* [Water Metering Devices for Irrigation and Drainage Systems]. Moscow, Kolos Publ., 142 p. (In Russian).

6 Gankin M.Z., 1965. *Avtomatizatsiya i telemekhanizatsiya meliorativnykh sistem* [Automation and Telemechanization of Reclamation Systems]. Moscow, Kolos Publ., 230 p. (In Russian).

7 *Teoriya oshibok i obrabotka rezul'tatov eksperimenta* [Theory of errors and processing of experimental results], available: https://agym.spbu.ru/docs/phys_oshib_4.pdf [accessed 2020]. (In Russian).

8 *Pravila izmereniya raskhoda zhidkosti pri pomoshchi standartnykh vodoslivov i lotkov* [Rules for measuring liquid flow using standard weirs and flumes]. RDP 99-77: State Standards Committee of the Council of Ministers. Moscow, Publ. of Standards, 1977, 54 p. (In Russian).

9 *GOST R 51657.4-2002. Vodouchet na gidromeliorativnykh i vodokhozyaystvennykh sistemakh. Izmerenie raskhodov vody s ispol'zovaniem vodoslivov s treugol'nymi porogami. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya* [Water flow measurement in hydromelioration and water supply systems. Water discharge measurement in open channels by triangular profile weirs. General technical requirements]. Moscow, Publ. of Standards, 2003, 39 p. (In Russian).

10 Bochkarev Ya.V., Gankin M.Z., Ovcharov E.E., 1969. *Osnovy avtomatiki i avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov v gidromelioratsii* [Bases of Automatic Equipment and Automation of Productions in Land Reclamation]. Moscow, Kolos Publ., 392 p. (In Russian).

Чураев Александр Анатольевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: заместитель директора по внедрению

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Churayev Aleksandr Anatolyevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Deputy Director for Implementation

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novochoerkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Юченко Любовь Васильевна

Должность: научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Yuchenko Lyubov Vasilyevna

Position: Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novochoerkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Шепелев Александр Евгеньевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Shepelev Aleksandr Yevgenyevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.06.2020

После доработки 01.09.2020

Принята к публикации 02.09.2020