

УДК 627.133

**А. Е. Шепелев, А. П. Васильченко**

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

### **К РАСЧЕТАМ ТОЧНОСТИ ВОДОИЗМЕРЕНИЯ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ**

*Целью исследования являлся расчет точности измерения средств водоучета и водоизмерения, которые могут найти применение при оснащении мелиоративных систем. В процессе анализа установлено одно из важнейших организационно-технических мероприятий эксплуатационной службы мелиоративных систем, на основе которого выполняется диспетчерское управление водозабором и водораспределением, регулирование водного режима, а также наблюдение и контроль за технической эксплуатацией. Раскрыт процесс получения первичных данных водоучета. Установлены требования к условиям работы водоизмерительных устройств и приборов, а также критерии оценки их точности измерений.*

*Ключевые слова: водоизмерение; водоучет; мелиоративный процесс; объект; система; переменная; погрешность.*

\*\*\*\*\*

**A. E. Shepelev, A. P. Vasilchenko**

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

### **ON ACCURACY CALCULATION OF WATER MEASUREMENT ON RECLAMATION SYSTEMS**

*The aim of the study was to calculate the accuracy of measuring water metering and water metering devices that can be used when equipping reclamation systems. In the course of the analysis, one of the most important organizational and technical measures of the operational service of reclamation systems was determined, on the basis of which dispatching control of water intake and water distribution, regulation of water regime, as well as monitoring and control over operation are carried out. The process of obtaining primary water metering data is released. Requirements for the operating conditions of water metering devices and tools, as well as criteria for assessing their measurement accuracy, have been specified.*

*Key words: water measurement; water metering; reclamation process; object; system; variable; inaccuracy.*

**Введение.** На мелиоративных системах при мониторинге и диспетчеризации гидротехнических сооружений и объектов качественные изменения в эксплуатацию вносит процесс водоучета и водоизмерения от забора воды из источников орошения до распределения и использования воды на орошаемых площадях с учетом составленных планов водопользования и водораспределения [1, 2].

Учет воды – это важнейшее организационно-техническое мероприятие эксплуатационной службы мелиоративных систем. На его основе выполняется диспетчерское управление водозабором и водораспределением на оросительных системах, регулирование водного режима на осушительных системах, а также наблюдение и контроль за технической эксплуатацией отдельных сооружений и систем в целом [3]. Кроме того, учет воды необходим и для изучения мелиоративного состояния земель, совершенствования систем и повышения их эффективности [4].

**Материалы и методы.** Методологическую основу исследования составили положения научных трудов и разработок отечественных авторов, посвященных вопросам

процесса водоучета и водоизмерения на гидротехнических сооружениях и объектах мелиоративных систем. Исследование проводится с применением теоретического анализа научной литературы, описательного метода, методов сопоставления, аналогии и систематизации [5, 6].

**Результаты и обсуждение.** При выборе и использовании методов и технических средств измерения водного потока (типа водоизмерительного устройства, прибора и пр.) на любом объекте водоучета мелиоративной системы необходимо учитывать метеорологические условия измерения, технологические и эксплуатационные условия, конструктивно-строительные требования, специфические особенности производства, техническую целесообразность и экономическую эффективность [7].

Процесс получения первичных данных водоучета на системе включает три основных способа технологических операций. В первый входит преобразование потока к виду, при котором требуется минимальное количество показаний приборов. Во второй входит формирование устойчивой структуры потока в точке измерения (применяются способы естественной стабилизации потока). Третий предусматривает получение первичных данных с использованием показаний измерительных приборов. Для этого необходимо обеспечить соответствие измеряемого значения параметра водного потока его действительному значению.

Однако следует отметить, что водоизмерительные устройства и приборы на мелиоративных системах работают в сложных эксплуатационных условиях, таких 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.);
- пульсационный характер процесса стабилизации измеряемого параметра (уровня, расхода и т. п.) при его регулировании;
- 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 и запыленность;
- значительные колебания температуры воздуха;
- большое количество и разнообразие объектов учета и контроля.

Несмотря на это, к водоизмерительным устройствам и приборам, которыми оснащаются мелиоративные системы, предъявляются высокие требования, включающие в себя точность измерения во всем диапазоне контролируемых параметров [8].

Существует несколько критериев оценки точности измерений [9]:

- предельная относительная погрешность  $\delta_Q$ ;
- средняя квадратичная относительная погрешность  $\delta_{0,95}$  (с доверительной вероятностью 95 %).

Из теории ошибок известно, что предельная относительная ошибка функции нескольких переменных равна дифференциалу натурального логарифма этой функции, т. е. [10]:

$$\delta_y = \pm d[\ln f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)], \quad (1)$$

где  $d$  – дифференциал;

$\ln f$  – натуральный логарифм функции;

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

Рассмотрим случай измерения расхода  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, водомерными водосливами, общее уравнение которых имеет вид [6]:

$$Q = m_0 b \sqrt{2gH^{3/2}}, \quad (2)$$

где  $m_0$  – коэффициента расхода;

$b$  – ширина водосливного гребня, м;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$H$  – напор, м.

Тогда уравнение (1) приобретает следующий вид:

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{dm_0}{m_0} + \frac{db}{b} + \frac{3}{2} \frac{dH}{H},$$

где  $dQ$  – дифференциал расхода;

$dm_0$  – дифференциал коэффициента расхода;

$db$  – дифференциал ширины водосливного гребня;

$dH$  – дифференциал напора.

Переходя к погрешностям, т. е. обозначая:

$$\delta_Q = \frac{dQ}{Q}, \quad \delta_{m_0} = \frac{dm_0}{m_0}, \quad \delta_b = \frac{db}{b}, \quad \delta_H = \frac{dH}{H},$$

где  $\delta_Q$  – относительная погрешность расхода, %;

$\delta_{m_0}$  – относительная погрешность коэффициента расхода, %;

$\delta_b$  – относительная погрешность ширины водосливного гребня, %;

$\delta_H$  – относительная погрешность напора на водосливе, %,

получаем вид:

$$\delta_Q = \delta_{m_0} + \delta_b + \frac{3}{2} \delta_H. \quad (3)$$

В уравнении (3) первые два слагаемых – это погрешности, характеризующие точность гидравлического элемента водоизмерительного устройства, или точность метода измерения. Они зависят от качества изготовления и условий работы, изученности гидравлических закономерностей, определяющих его работу, от совершенства метода учета и измерения воды.

При водоучете и водоизмерении значения измеряемого параметра передаются на диспетчерский пункт и преобразуются в показания. В этом случае добавляется еще погрешность телеметрии.

Таким образом, предельная относительная погрешность измерения расхода складывается из относительной погрешности метода измерения, относительной погрешности водоизмерительного устройства и относительной погрешности телеизмерения:

$$\delta_Q = \delta_M + \delta_{пр} + \delta_{ти},$$

где  $\delta_M$  – относительная погрешность метода измерения, %;

$\delta_{пр}$  – относительная погрешность водоизмерительного устройства, %;

$\delta_{ти}$  – относительная погрешность телеизмерения, %.

Средняя квадратичная относительная погрешность (с доверительной вероятностью 0,95) принимается равной половине предельной относительной ошибки:

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

Исходя из вышесказанного, проведем расчет точности измерения расхода воды.

Для мерных водосливов (уравнение (2)) предельная относительная погрешность будет равна:

$$\delta_Q = \delta_{m_0} + \delta_b + \frac{3}{2} \delta_H + \delta_{тн}, \quad (4)$$

В нормальных условиях работы со свободным истечением в нижний бьеф погрешность метода измерения будет:

$$\delta_m = \delta_{m_0} + \delta_b = 1 + 1 = 2 \% .$$

Если в качестве водоизмерительного устройства используется датчик гидростатического давления, погрешность измерения которого не более 1 %, а класс точности телеизмерительного устройства 1,5 %, то в соответствии с формулой (4) предельная относительная погрешность измерения расхода мерным водосливом равна:

$$\delta_Q = 1 + 1 + \frac{3}{2} 1 + 1,5 = \pm 5 \% .$$

Средняя квадратичная относительная погрешность (с вероятностью 0,95) в этом случае будет равна:

$$\delta_{0,95} = \frac{1}{2} 5 = 2,5 \% .$$

Анализ точности работы других водомерных устройств и приборов, которые могут найти применение при водоучете и водоизмерении на мелиоративных системах [8], показывает, что предельные относительные погрешности измерения расхода составляют около 4–6 % и средние квадратичные относительные погрешности  $\pm 3$  %. Эти погрешности и приняты в качестве допустимых при измерении расходов на водомерных постах мелиоративных систем [6].

#### **Выводы**

1 Учет воды на мелиоративной системе необходим для рациональной и эффективной организации водопользования и водораспределения. Правильно организованный водоучет обеспечивает своевременную и достоверную информацию об объемах и распределении оросительных и дренажно-сбросных вод, проходящих по системе.

2 Область измерения водомерных устройств должна обеспечивать определение контролируемых параметров во всем диапазоне их изменения – от минимального до максимального значения.

3 Водоизмерительные устройства и приборы должны работать при напорах и перепадах, не вызывая больших дополнительных потерь напора и не нарушая нормальный режим работы водотока, беспрепятственно пропускать наносы и плавающий мусор, безотказно работать в сложных эксплуатационных условиях. Конструкции водоизмерительных устройств должны быть достаточно просты и универсальны в применении.

4 Использование расчетов по водоизмерению позволит повысить точность и достоверность водоучета и водоизмерения на мелиоративных системах, тем самым увеличить их эффективность.

5 Точность измерения средств водоучета и водоизмерения, которые могут найти применение при оснащении мелиоративных систем, должна отвечать предельным относительным погрешностям измерения до 3,0 %.

#### **Список использованных источников**

1 Городничев, В. И. Автоматизация на стационарных насосных станциях мелиоративно-водохозяйственного комплекса / В. И. Городничев // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 9. – С. 37–39.

2 Поколения оросительных систем: прошлое, настоящее, будущее: монография / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов, А. А. Чураев, А. Н. Бабичев; под общ. ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск, 2012. – 122 с.

3 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография. В 2 ч.

Ч. 1 / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 283 с.

4 Ольгаренко, Г. В. Концепция государственной программы «Восстановление и развитие мелиоративного комплекса Российской Федерации на период 2020–2030 годов» / Г. В. Ольгаренко, С. М. Васильев, Г. Т. Балакай. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2019. – 128 с.

5 ГОСТ 34100.1-2017/ISO/IEC Guide 98-1:2009. Неопределенность измерения. Ч. 1. Введение в руководства по выражению неопределенности измерения. – Введ. 2018-09-01. – М.: Стандартиформ, 2018. – 28 с.

6 ГОСТ Р 51657.4-2002. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Измерение расходов воды с использованием водосливов. Общие технические требования. – Введ. 2003-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 23 с.

7 Щедрин, В. Н. Основные правила и положения эксплуатации мелиоративных систем и сооружений, проведения водоучета и производства эксплуатационных работ: монография. В 2 ч. Ч. 1 / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. В. Слабунов. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 395 с.

8 Чураев, А. А. Точность измерения расходов при учете воды на мелиоративных системах / А. А. Чураев, М. В. Вайнберг // Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2017. – С. 190–195.

9 РМГ 29-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. – Введ. 2015-01-01. – М.: Стандартиформ, 2014. – 60 с.

10 Гулин, И. А. Численные методы / И. А. Гулин, А. А. Самарский. – М.: Наука, 1989. – 408 с.

УДК 551.579:681.5

**Ф. А. Каракулов**

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация

### **ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ВОДОСБОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ**

*Расчет речного стока является крайне трудоемким процессом, особенно это касается крупных водотоков. На режим стока оказывают влияние климатические (осадки, испарение, влажность и температура воздуха), топографические (рельеф местности, форма и размеры речных бассейнов), а также почвенно-геологические факторы. Предлагаемый метод автоматизации мониторинга речного стока облегчит работу гидрологам и может стать ключевым для своевременного анализа и принятия грамотных решений при эксплуатации гидротехнических сооружений.*

*Ключевые слова: речной сток; гидрологический прогноз; автоматизированный мониторинг; автоматизированная система.*

\*\*\*\*\*

**F. A. Karakulov**

All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

### **ORGANIZATION OF AN AUTOMATED MONITORING SYSTEM OF HYDROMETEOROLOGICAL PARAMETERS IN THE WATERSHED AREA**