

Выводы

1 Для повышения безопасности и устойчивой эксплуатации НС рекомендуется разработать нормативные документы, которые определяли бы условия подвода воды, не приводящие к износу оборудования и разрушению материалов; методику комплексной оценки степени риска при воздействии ресурса эксплуатации.

2 Современный этап развития машинного водоподъема в орошении характеризуется специалистами как период старения сооружений и оборудования, в связи с этим система надзора за безопасностью этих объектов должна быть официально оформлена в виде самостоятельного направления сохранения работоспособности и технического состояния основного оборудования и сооружений НС.

Список использованных источников

1 Гловацкий, О. Я. Методы управления безопасностью сопрягающих сооружений насосных станций с переходными процессами / О. Я. Гловацкий, Ш. Р. Рустамов, Ш. М. Шарипов // Научное обеспечение как фактор устойчивого развития водного хозяйства: сб. докл. II Междунар. науч.-практ. конф. – Казахстан, 2016. – С. 143–146.

2 Energetic, hydraulic and economic efficiency of axial flow and centrifugal pumps for surface water irrigation / T. J. Krupnik, O. Ya. Glovatsky, Sh. R. Rustamov, N. R. Nasirova, Sh. M. Sharipov // The USA Journal of Applied Sciences. – Cibunet, ORT Publishing, 2016. – № 2. – P. 101–108.

УДК 681.12:626.82

М. В. Вайнберг, А. А. Чураев

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

**ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ (ПЕРЕПАДА УРОВНЕЙ)
НА ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

В статье приведен обзор существующих средств измерения уровня воды на открытых каналах оросительных систем. Описаны средства измерения, выпускаемые как отечественной, так и зарубежной промышленностью, от простейших до датчиков, позволяющих организовать полную автоматизацию процесса измерения. Выполненный анализ средств измерения показал, что при решении технических вопросов кроме достоверности измерения необходимо также учитывать удобство обслуживания, стоимость того или иного датчика и возможность использования датчиков уровня на пунктах водоучета при отсутствии электроснабжения.

Ключевые слова: уровень воды, водомерная рейка, буйковый уровнемер, гидростатический датчик уровня, ультразвуковой датчик.

M. V. Vaynberg, A. A. Churaev

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

**REVIEW AND ANALYSIS OF EXISTING MEANS OF WATER
LEVEL MEASUREMENT (LEVEL DIFFERENCES)
IN OPEN CANALS OF IRRIGATION SYSTEMS**

The article provides an overview of the existing means of water level measurement in open canals of irrigation systems. Measuring instruments from the simplest ones to sensors that allow to organize a complete automation of measurement process produced by both do-

mestic and foreign industry are described. The analysis of the measuring instruments showed that while solving technical problems besides reliability of the measurement, it is also necessary to take into account the convenience of maintenance, the costs of sensors, and the possibility of using water level gauges at water accounting points in the absence of electricity.

Key words: water level, water level scale, displacer level gauge, hydrostatic level sensor, ultrasonic device.

Для водоучета в открытых каналах оросительных систем уровень воды (перепад уровней) является основополагающим параметром при определении расхода воды. Современный арсенал средств измерения уровня воды включает как простейшие уровнемерные устройства, например гидрометрические рейки, так и высокоточные автоматизированные измерительные приборы и датчики.

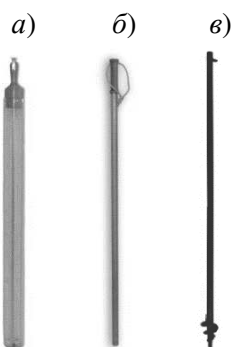
Методы измерения уровней воды достаточно отработаны. Отечественная и зарубежная практика применения уровнемерных устройств предполагает два основных метода измерения. В первом случае уровнемерное устройство размещается в водном потоке. Второй метод является основным и предполагает размещение уровнемерных устройств в успокоительном колодце, соединенном с открытым каналом при помощи водовода [1].

Для измерения уровня воды (перепада уровней) в основном применяют следующие средства измерения:

- водомерные переносные рейки;
- поплавковые, в которых для измерения уровня используется поплавки или другое тело, находящееся на поверхности жидкости;
- буйковые, в которых для измерения уровня используется массивное тело (бук), частично погружаемое в жидкость;
- гидростатические, основанные на измерении гидростатического давления столба жидкости;
- емкостные, основанные на преобразовании измеряемой величины в емкостное сопротивление;
- ультразвуковые и акустические, основанные на принципе отражения от поверхности звуковых волн.

Выбор методов средств измерения уровней регламентируется требованиями к точности и достоверности результата измерения, а также возможностями его осуществления. Проблема выбора осложняется необходимостью энергоснабжения электронных уровнемеров, датчиков и сигнализаторов уровня [2, 3]. Рассмотрим устройства для измерения уровня воды (перепада уровней) на открытых каналах оросительных систем, выпускаемые отечественной и зарубежной промышленностью.

Простейшие измерители уровня воды, выпускаемые отечественной промышленностью, – это водомерные переносные рейки ГР-23 и ГР-104 (диапазон измерения 0–100 см), рейка максимальная ГР-45 (диапазон измерения 0–150 см) (рисунок 1). Данные средства дешевы, просты в производстве, эксплуатации и метрологическом обеспечении. Средняя погрешность измерения уровня воды рейками $\pm 0,01$ м [4].



а – рейка водомерная переносная с успокоителем ГР-23;
 б – рейка водомерная ГР-104;
 в – рейка максимальная ГР-45

Рисунок 1 – Водомерные переносные рейки

Более сложные – это поплавковые уровнемеры. Представитель данного класса приборов – уровнемер цифровой УПЦ со сменным регистратором (рисунок 2) [5]. Он обеспечивает измерение и индикацию уровня воды, передачу в сменный регистратор-накопитель информации об уровне, передачу информации на внешние устройства через последовательный коммуникационный порт. Основные технические данные – диапазон измерений от 0 до 8 м при относительной погрешности измерения $\pm 0,01$ м. Уровнемер обеспечивает возможность работы как автономно, так и в составе дистанционных и автоматизированных систем сбора информации совместно со сменным регистратором, модемом, ПК и пр.



Рисунок 2 – Уровнемер цифровой УПЦ со сменным регистратором

Представителем буйковых уровнемеров является буйковый электрический уровнемер УБ-Э (рисунок 3). Его действие основано на принципе электросиловой компенсации усилия, развиваемого чувствительным элементом (буйком) измерительного блока уровнемера. Блок погружен в жидкость, уровень которой измеряется. В уровнемерах типа УБ-Э используется линейный преобразователь с электросиловой компенсацией. Диапазон измерения расширен до 16 м при относительной погрешности измерения $\pm 0,01$ м [6].



Рисунок 3 – Буйковый электрический уровнемер УБ-Э

Следующий класс уровнемеров – гидростатические датчики уровня. К этому классу датчиков можно отнести «Сапфир-22-ДГ» (рисунок 4), который состоит из двух основных компонентов – тензорезистивного датчика с мембраной и электронного устройства обработки данных. Принцип действия датчика «Сапфир-22-ДГ» состоит в измерении поверхности воды, датчик преобразует данный параметр в значение уровня. Относительная погрешность измерения от $\pm 0,25$ до $\pm 0,50$ % при температурах от минус 10 до плюс 70 °С, постоянное напряжение 24 В [7].



Рисунок 4 – Гидростатический датчик уровня «Сапфир-22-ДГ»

Другой интересный класс уровнемеров – емкостные приборы. Принцип их действия основан на зависимости электрической емкости между двумя частично погруженными в воду проводниками от уровня воды. В этом классе приборов следует отметить емкостные уровнемеры типа РУС, модифицированный вариант – ДУЕ-1 (рисунок 5), которые включают в себя широкий набор первичных и вторичных преобразователей, обеспечивающих измерение уровней от 0 до 20 м с погрешностью до $\pm 0,5$ %. Отличительная особенность ДУЕ-1 – достаточно низкое рабочее напряжение (24 и 36 В), что позволяет использовать его на объектах, не обеспеченных электропитанием [8].



Рисунок 5 – Емкостный уровнемер ДУЕ-1

Следующий класс приборов – бесконтактные уровнемеры, использующие принцип акустического зондирования. Одним из представителей данного класса является акустический уровнемер ЭХО-5 (рисунок 6). Он представляет собой систему, состоящую из двух первичных и одного вторичного преобразователей, которые обеспечивают бесконтактное измерение и цифровую индикацию уровня воды. Диапазон измерений – 0–30 м при относительной погрешности измерения $\pm 1,5$ %, переменное напряжение 220 В [9].



Рисунок 6 – Акустический уровнемер ЭХО-5

Не менее интересный класс приборов – ультразвуковые датчики уровня. Их применяют для бесконтактного непрерывного измерения предельного уровня жидкости. Ультразвуковой датчик работает по принципу радара. Излучаемый ультразвуковой импульс от датчика отражается от поверхности жидкости или сыпучего материала и попадает обратно в датчик. По времени распространения прямого и отраженного сигнала судят об уровне жидкости. Одним из представителей данного класса является ультразвуковой датчик уровня «Взлет-УР» (рисунок 7), который применяется для прямого измерения параметра уровня воды. Диапазон измерения 0–8 м, погрешность измерения не более $\pm 0,2$ % [10].

Наиболее известными приборами для измерения уровня воды зарубежного производства, которые могут применяться на открытых каналах оросительных систем, являются поплавковые уровнемеры, гидростатические датчики, акустические и ультразвуковые.



Рисунок 7 – Ультразвуковой датчик уровня «Взлет-УР»

Одним из представителей поплавковых уровнемеров является уровнемер OTT SE 200 (Германия) (рисунок 8) [11]. Принцип действия основан на том, что через трос, прикрепленный к поплавку, усилие передается на шкив и он начинает вращаться. Возникающее при этом вращательное движение преобразуется в электрический сигнал. Полученная величина обрабатывается встроенным контроллером и передается через интерфейс или аналоговый выход 4–20 мА. Диапазон измерения 0–30 м, напряжение питания 12–36 В, погрешность измерения $\pm 0,01$ м.



Рисунок 8 – Поплавковый уровнемер OTT SE 200

К классу гидростатических уровнемеров можно отнести датчик уровня Hydrobar-cable-FR (Нидерланды) (рисунок 9) [12]. Принцип действия датчика основан на использовании зависимости между измеряемым давлением и упругой деформацией чувствительного элемента первичного измерительного преобразователя датчика. Используется для непрерывного измерения уровня. Данный уровнемер имеет погрешность измерения $\pm 0,25$ %, постоянное напряжение 24 В, рабочую температуру от минус 10 до плюс 70 °С.



Рисунок 9 – Гидростатический датчик уровня Hydrobar-cable-FR

Одним из представителей бесконтактных уровнемеров является акустический датчик Kalesto (Германия) (рисунок 10) [13]. Измерение уровня воды производится че-

рез воздух. От датчика посылаются электромагнитные волны в СВЧ-диапазоне перпендикулярно поверхности воды. Эти волны смешиваются с отраженными от поверхности. Интеллектуальный сигнальный процессор (DSP) вычисляет точное расстояние x между датчиком и поверхностью воды. Его отличительная особенность – низкое рабочее напряжение (12 В) при относительной погрешности измерения $\pm 0,01$ м, что позволяет осуществлять электропитание от солнечной батареи. Кроме того, возможна дистанционная передача результатов измерения на удаленное устройство по радиоканалу.



Рисунок 10 – Акустический датчик Kalesto

К представителям класса ультразвуковых датчиков можно отнести малогабаритный датчик уровня воды EasyTREK (рисунок 11) (Венгрия) [14]. Он предназначен для бесконтактного автоматического дистанционного измерения уровня различных жидких сред и имеет следующие технические характеристики: рабочая область сканирования 0,2–15 м, погрешность измерения $\pm 0,01$ м.



Рисунок 11 – Ультразвуковой датчик уровня EasyTREK

Разумеется, весь спектр технических средств водоучета, предлагаемый отечественными и зарубежными производителями, далеко не исчерпывается рассмотренными устройствами. Однако уже на примере вышеописанных приборов отчетливо прослеживается тенденция создания универсальных комплексов, позволяющих организовать автоматизированный сбор и обработку измерительных данных и при необходимости осуществлять управление исполнительными устройствами по стандартным каналам телемеханики.

Анализ технических характеристик уровнемерных устройств и оборудования показывает следующее:

- средняя погрешность измерения уровня рейками, поплавковыми и буйковыми уровнемерами составляет $\pm 0,01$ м;
- высокая точность измерения от $\pm 0,25$ до $\pm 0,50$ % при температурах от минус 10 до плюс 70 °С обеспечивается гидростатическими датчиками уровня воды, несмотря на их простоту и надежность;
- емкостные уровнемеры обладают низким рабочим напряжением;
- наиболее простыми и надежными в эксплуатации конструкциями являются гидрометрические рейки и акустические датчики уровня. При правильной эксплуатации они не требуют периодической поверки;

- ультразвуковые датчики уровня воды имеют высокую точность измерения (погрешность не более $\pm 0,2$ %) и не влияют на измеряемый поток жидкости. Но они имеют и недостатки: так как расстояние определяется датчиком по времени отражения сигнала, а скорость распространения ультразвука зависит от состава воздуха, например содержания в нем углекислого газа, влажности, то колебания этих параметров приводят к погрешностям в измерении;

- в настоящее время имеются как отечественные, так и зарубежные датчики уровня воды, которые обладают низким рабочим напряжением (12–24 В) и могут применяться для удаленных пунктов водоучета, не обеспеченных сетевым электропитанием.

В заключение можно сделать вывод о том, что при решении технических вопросов кроме достоверности измерения необходимо также учитывать удобство обслуживания и, конечно, стоимость того или иного датчика, а при использовании зарубежных водоизмерительных приборов – наличие сертификата утвержденного типа и внесение в государственный реестр средств измерений.

Список использованных источников

1 Руководство по обработке результатов измерений параметров учета воды на оросительных, осушительных и обводнительных системах: ВТР-М-2-80. – М.: Союзводоавтоматика, 1980. – 70 с.

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

3 Юченко, Л. В. Рекомендуемые средства измерения для проведения градуировки на открытых каналах с фиксированным руслом / Л. В. Юченко // Современные тенденции развития аграрного комплекса: материалы междунар. науч.-практ. конф. / ФГБНУ «ПНИИАЗ», Регион. фонд «Аграр. унив. комплекс». – Соленое Займище: ПНИИАЗ, 2016. – С. 136–141.

4 Технические характеристики водомерных реек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gidrometpribors.ru/GR-104.html>, 2017.

5 Уровнемер цифровой УПЦ со сменным регистратором [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://old.hydrology.ru/depart/dep/hi/prs.html>, 2017.

6 Поплавковые и буйковые уровнемеры. Устройство, принцип действия, расчет, типы и виды поплавковых и буйковых уровнемеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_520.html, 2017.

7 Датчик гидростатического давления САПФИР 22 ДГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://teploavtomatika.by/katalog/davlenie/datchiki-s-unifirovannym-vykhodom/datchik-gidrostaticheskogo-davleniya-sapfir-22-dg/>, 2017.

8 Датчик уровня емкостный ДУЕ-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://td-urovnemer.ru/emkostnye-urovnemery/duе-1-datchiki-urovnya-emkostnye>, 2017.

9 Акустические датчики уровня ЭХО-5 и ЭХО-5В [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://teplolider.ru/?id=2&cat=3&cat_cat=9&cat_itm=2211, 2017.

10 Уровнемеры ультразвуковые Взлет УР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://all-pribors.ru/opisanie/22590-12-vzlet-ur-19292>, 2017.

11 Датчики уровня поплавковые ОТТ SE 200 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://all-pribors.ru/opisanie/41338-09-ott-se-200-43177>, 2017.

12 Гидростатический датчик уровня серии Hydrobar-cable-FR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://klaysensor.ru/datchik.html>, 2017.

13 Бесконтактный радарный уровнемер Kalesto [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://asutp.ru/?p=400214>, 2017.

14 Ультразвуковой компактный уровнемер EasyTREK [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://9602832.ru/product/urovnemerm/11-easytrekm.html>, 2017.