

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.672.4:621.3.087.47:681.586.48

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-6-14

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА УРОВНЕВОГО РЕЖИМА КАНАЛОВ И ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ

СНЕЖКО ВЕРА ЛЕОНИДОВНА , д-р техн.наук, профессор
vlsnejko@rgau-msha.ru

БЕНИН ДМИТРИЙ МИХАЙЛОВИЧ, канд.техн. наук, доцент
dbenin@rgau-msha.ru

ГАВРИЛОВСКАЯ НАДЕЖДА ВЛАДИМИРОВНА, канд.техн.наук, доцент
gavrilovskayanv@rgau-msha.ru

ПЕТУХОВА МАРИЯ ВЛАДИСЛАВОВНА, канд.пед.наук, доцент
petukhova@rgau-msha.ru

ПОДОБНЫЙ АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ, преподаватель
a.podobnyi@rgau-msha.ru

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

Современная концепция развития орошения в Российской Федерации базируется на проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию новой техники и технологий ирригации. Особый акцент делается на широком внедрении автоматизации, энергосбережения, возможностей применения современных цифровых решений. Внедрение автоматизации на мелиоративных системах в России сдерживается не только низким уровнем их технического состояния, но и значительной удаленностью объектов автоматизации от источников энергоснабжения. Цель исследований – разработка автоматизированного измерительного комплекса, способного производить мониторинг уровневого режима открытой мелиоративной сети, атмосферного давления и температуры с передачей данных на сервер и последующим анализом данных мониторинга для условий, задаваемых пользователем. Разработанный автоматический измерительный комплекс может работать как от аккумуляторных батарей, так и от возобновляемого источника энергии – солнечных батарей. Приведены принципиальная схема комплекса и результаты экспериментальных испытаний опытного образца в лабораторных и полевых условиях. Описаны возможности специальной компьютерной программы, анализирующей данные мониторинга. Точность измерения атмосферного давления при температуре 25°C составляет $\pm 0,12$ гПа. Точность измерения температуры атмосферного воздуха составляет $\pm 1^\circ\text{C}$, диапазон измерения лежит в пределах $-40...+85^\circ\text{C}$. При наличии волновых явлений и отсутствии успокоительного колодца основная абсолютная погрешность измерения уровня – 0,02 м. В испытаниях при высоте установки от 0,4 до 2,0 м над статичным уровнем воды основная абсолютная погрешность составляет 0,01 м.

Ключевые слова: мелиорация, канал, уровень воды, контроль, автоматическое измерение, автоматизация, датчики

Формат цитирования: Снежко В.Л., Бенин Д.М., Гавриловская Н.В., Петухова М.В., Подобный А.В. Автоматизированный измерительный комплекс для мониторинга уровневого режима каналов и параметров атмосферы // Природообустройство. – 2022. – № 5. – С. 6-14. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-6-14.

© Снежко В.Л., Бенин Д.М., Гавриловская Н.В., Петухова М.В., Подобный А.В., 2022

Original article

AUTOMATED MEASURING COMPLEX FOR MONITORING THE LEVEL MODE OF CHANNELS AND ATMOSPHERIC PARAMETERS

SNEZHKO VERA LEONIDOVNA , doctor of technical sciences, professor

vlsnejko@rgau-msha.ru

BENIN DMITRY MIKHAILOVICH, candidate of technical sciences, associate professor

dbenin@rgau-msha.ru

GAVRILOVSKAYA NADEZHDA VLADIMIROVNA, candidate of technical sciences, associate professor

gavrilovskayanv@rgau-msha.ru

PETUKHOVA MARIA VLADISLAVOVNA, candidate of pedagogical sciences, associate professor

petukhova@rgau-msha.ru

PODOBNYJ ALEXANDER VICTOROVICH, lecturer

a.podobnyj@rgau-msha.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev»; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49, Russia

The modern concept of irrigation development in the Russian Federation is based on research and development works on the creation of new irrigation equipment and technologies. Particular emphasis is placed on the widespread introduction of automation, energy saving, the possibility of using modern digital solutions. The introduction of automation on reclamation systems in Russia is constrained not only by the low level of their technical condition, but also by the significant remoteness of automation facilities from power supply sources. The purpose of the research is to develop an automated measuring complex capable of monitoring the level mode of an open reclamation network, atmospheric pressure and temperature with data transmission to the server and subsequent analysis of monitoring data for user-defined conditions. The developed automatic measuring complex can work both from batteries and from a renewable energy source – solar panels. The schematic diagram of the complex and the results of experimental tests of the prototype in laboratory and field conditions are given. The capabilities of a special computer program that analyzes monitoring data are described. The accuracy of measuring atmospheric pressure at a temperature of 25°C is ± 0.12 hPa. The accuracy of measuring the temperature of atmospheric air $\pm 1^\circ\text{C}$, measuring range lies within $-40..+85^\circ\text{C}$. In the presence of wave phenomena and the absence of a float well, the main absolute error in measuring the level is 0.02 m. In tests at a height of the installation from 0.4 to 2.0 m above the static water level, the main absolute error is 0.01 m.

Keywords: land reclamation, channel, water level, monitoring, automated measurement, automation, sensors

Format of citation: Snezhko V.L., Benin D.M., Gavrilovskaya N.V., Petukhova M.V., Podobnyj A.V. Automated measuring complex for monitoring the level mode of channels and atmospheric parameters // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 5. – P. 6-14. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-6-14.

Введение. В государственном мелиоративном фонде России насчитывается более 470 источников орошения, из которых 14% требуют восстановления; 20,9 тыс. км каналов, из которых 43% требуют восстановления; 284 водохранилища, из которых в восстановлении нуждаются 20% [1]. Реконструкцию и восстановление мелиоративных объектов необходимо производить с учетом последующего применения современных средств и технологий их эксплуатации. К требованиям Национального стандарта по эксплуатации мелиоративных систем [2] относится обязательное наблюдение за водным режимом водоисточников, водоприемников и режимом работы каналов. Информация

по характерным гидрологическим параметрам водного потока должна предоставляться и анализироваться за любой период времени. Стандарт регламентирует организацию мониторинга параметров водного потока с обеспечением заданной точности измерений, дистанционного контроля и оперативной передачи информации.

Одним из признаков технического совершенства мелиоративной системы является степень автоматизации, которая в настоящее время в России осуществляется недостаточными темпами. Это связано с особенностью мелиоративных систем, для которых характерны большое количество одиночных или рассредоточенных объектов контроля; медленная скорость протекания

процессов и редкое изменение параметров; отсутствие источников электроэнергии вблизи объектов; работа объектов в условиях повышенной температуры, влажности и запыленности.

Номенклатура средств водоизмерения, имеющихся на пунктах водоучета открытой и закрытой сети мелиоративных систем, приведена в работе [3]. Наиболее негативная ситуация наблюдается на открытой сети. Из всей номенклатуры средств водоизмерения, имеющихся на пунктах водоучета открытых каналов мелиоративных систем, преобладают гидрометрические рейки (1316 ед.), и лишь 80 ед. – это приборы, причем приборы устаревшего образца. Стандартные гидротехнические уровнемерные рейки размещаются, как правило, в береговых успокоительных нишах или колодцах (рис. 1). Измерение уровня является дискретным, выходная информация исключительно визуальная и сложно поддается автоматическому мониторингу.



Рис. 1. Успокоительный колодец с уровнемерной рейкой [4]

Fig. 1. Float well with a level-measuring rail [4]

Для измерения уровня и расхода воды на оросительных системах может использоваться ряд отечественных контрольно-измерительных приборов. Ультразвуковые расходомеры ЭХО-Р-03 могут быть установлены на трубопроводах. Фазоёмкостные уровнемеры ФЕУ-1 способны производить измерения уровня до 10 м с погрешностью от 2,5 до 5%. Ультразвуковые сигнализаторы уровня РИЗУР-900 имеют погрешность 2% и напряжение питания 24В. Датчик-реле уровня РО-1 имеет диапазон измерения уровней до 10 м. Перспективность использования ультразвуковых уровнемеров на гидрометрических постах мелиоративной сети напрямую зависит от наличия источников электроэнергии [5]. Ограниченное применение приборов с ультразвуковым зондированием потока для измерения уровней воды на открытых каналах мелиоративных систем отмечено в работе [6]. Это связано со сложностью электроснабжения

на удаленных постах и достаточно высокой стоимостью измерительного оборудования.

Использование конечными пользователями в России и за рубежом автоматических уровнемеров (поплавковых, напорных, ультразвуковых, радиолокационных) сдерживают высокая стоимость оборудования и проблемы обеспечения регулярного технического обслуживания. Для снижения затрат создаются недорогие автономные устройства мониторинга – например, простейшая система контроля, включающая в себя датчик давления и регистратор данных [7]. Испытания новых средств водоучета, включающих датчики давления и передачу данных на сервер в условиях юга России, приведены в работе [8]. Существуют технические решения для мониторинга метеорологических данных и параметров систем водоснабжения [9, 10].

Информационное обслуживание мелиоративных каналов как объектов контроля должно включать в себя не только автоматический сбор, передачу, хранение и отображение данных, но и автоматизированный анализ информации, получаемой посредством измерений, для любых временных интервалов.

Целью исследований стала разработка автоматизированного измерительного комплекса, способного производить мониторинг уровневого режима открытой мелиоративной сети, атмосферного давления и температуры с передачей данных на сервер и последующим анализом данных мониторинга для условий, задаваемых пользователем. Комплекс способен работать как от аккумуляторных батарей, так и от возобновляемого источника энергии – солнечных батарей.

Для достижения поставленной цели был решен ряд задач: программирование контроллера, сборка экспериментального образца, испытания комплекса в гидравлической лаборатории, на акватории пруда и на действующей оросительной системе, разработка/тестирование программного обеспечения для анализа данных измерений и Государственная регистрация программы для ЭВМ.

Материалы и методы исследований. Для выбора конструкции измерительного комплекса и программирования его элементов выполнен анализ условий эксплуатации, диапазонов и требуемой точности измеряемых величин, использованы методы теории программирования логических контроллеров, методы декомпозиции и формализации алгоритмов, структурного программирования. При испытаниях опытного образца устройства использованы методы теории планирования эксперимента, математической статистики, а также методы теории ошибок.

Предварительно испытания опытного образца комплекса производились в гидравлической лаборатории при измерении статичного уровня воды в бассейне и измерении уровня при течении потока в гидравлическом лотке. Питание устройства осуществлялось с помощью аккумуляторной батареи.

Основная особенность комплекса – возможность работы от солнечных батарей. При работе от солнечных батарей испытания комплекса производились в солнечную безветренную погоду на акватории Фермского пруда (территория кампуса РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва) при отсутствии выраженного волнения зеркала воды. Последующие полевые испытания проводились в Алтайском крае, для которого характерен высокий уровень инсоляции (270-280 дней в году или более 2000 часов в год). В качестве действующего мелиоративного объекта выбрана Лосихинская оросительная система, расположенная на территории Первомайского района Алтайского края.

Водохранилище гидроузла на р. Большая Лосиха при нормальном подпорном уровне НПУ=144,4 имеет объем 123 тыс.м³; при уровне мертвого объема УМО=143,6 м объем составляет 90 тыс.м³. Средняя глубина составляет 3,65 м. В состав гидроузла входят бетонная водоподъемная переливная плотина, водосбросное сооружение, насосная станция, водозаборное сооружение и шлюз-регулятор с максимальной пропускной способностью 8,6 м³/с. Береговое водозаборное сооружение расположено в верхнем бьефе. Вода к насосной станции поступает из бетонного подводящего канала прямоугольного сечения. Максимальная глубина воды в канале перед плоским затвором шлюза-регулятора – 1 м, размер затвора составляет 2 × 1,5 м (рис. 2). Все сооружения гидроузла относятся к IV классу опасности, для которого установка контрольно-измерительной аппаратуры исходно не предусмотрена проектом. На гидроузле нет оборудования для автоматического контроля уровней воды. Служба эксплуатации фиксирует отметки уровней по уровнемерной рейке с последующей записью в журнале наблюдений.

Выбор гидрометрического створа для установки экспериментального образца измерительного комплекса на подводящем канале соответствовал рекомендациям для гидропостов. При расходе подводящего канала до 10 м³/с длина прямолинейного участка канала в 4 раза превышала его ширину, то есть составляла более 8 м.

Оценка точности наблюдений за уровнем воды является неотъемлемой частью использования любых средств измерений [11].

В исследовании [12] отмечено, что систематические ошибки определения уровня воды по датчикам гидрометрических станций составляли от ±0,005 до ±0,068 м, что привело к погрешности среднесуточного стока от 4 до 12%. Для выявления погрешностей измерений в России, Канаде, США, Франции результаты показаний датчиков сопоставляются с эталонным измерением по гидрометрическим (водомерным) рейкам.

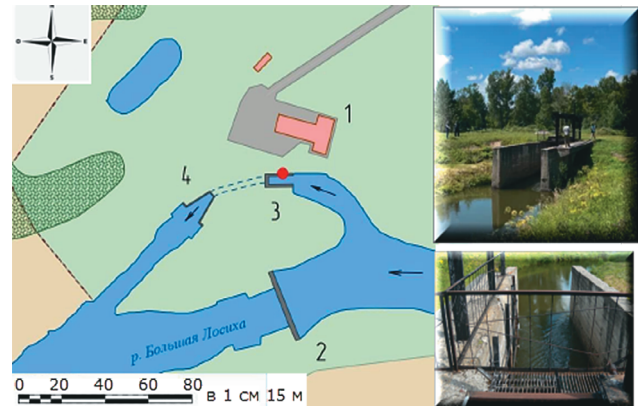


Рис. 2. Схема гидроузла на р. Большая Лосиха и место установки измерительного комплекса:

- 1 – насосная станция; 2 – бетонная водоподъемная переливная плотина; 3 – подводящий канал и водозаборное сооружение; 4 – отводящий канал туннельного типа

Fig. 2. Scheme of the hydraulic complex on the Bolshaya Losikha River and the place of installation of the measuring complex:

- 1 – pumping station; 2 – concrete water-lifting overflow dam; 3 – supply channel and intake structure; 4 – outlet channel of tunnel type

В испытаниях основной измеряемой величиной являлось расстояние от плоскости установки датчика до уровня воды, которое необходимо сопоставить с результатами визуальных замеров по водомерным рейкам. Абсолютная погрешность на каждой проверяемой отметке вычислялась как разность между показанием датчика и соответствующим отсчетом по рейке:

$$\Delta h_{\text{о.п.}} = h_{\text{н.у.}} - h_{\text{с.п.}}, \quad (1)$$

где $h_{\text{н.у.}}$ – показания проверяемого устройства; $h_{\text{с.п.}}$ – расстояние по рейке как по средству проверки.

За основную абсолютную погрешность принималась максимальная по модулю абсолютная погрешность. Вариация показаний, равная наибольшей абсолютной погрешности $\Delta h_{\text{о.п.}}$ на одной и той же отметке при росте уровня воды и при его снижении, не должна превышать абсолютного значения основной погрешности. Отметка установки датчика (отметка начала шкалы измерений) соответствовала

нулевой отметке отсчета по водомерным рейкам. Параллельный контроль измерений комплексом температуры атмосферного воздуха и давления не проводился. Измерение температуры среды одновременно с измерением уровня ультразвуковым датчиком было необходимо для последующей коррекции температурной погрешности последнего [13].

Результаты и их обсуждение. Экспериментальный образец измерительного комплекса был разработан и собран в лаборатории кафедры систем автоматизированного проектирования и инженерных расчетов РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. На рисунке 3 приведен пример размещения элементов комплекса на штанге (общий защитный корпус не показан) и детализации основного элемента – уникального датчика. В состав измерительного комплекса входят также аккумулятор и солнечная панель. Микроконтроллер запрограммирован для считывания данных с сенсоров и модулей, их обработки, записи на карту памяти и/или отправки по каналам сотовой связи на удаленный сервер. Часы реального времени являются энергозависимым модулем для привязки результатов измерений к реальным временным меткам. Ультразвуковой сенсор служит для приема и передачи сигналов в ультразвуковом диапазоне частот. В используемом ультразвуковом дальномере в отличие от инфракрасных датчиков измерения не искажаются от бликов или цвета (прозрачности) воды. Выбор ультразвукового датчика обусловлен его относительно низкой стоимостью по сравнению с датчиками других типов [14]. Прецизионный датчик атмосферного давления и температуры воздуха работает в диапазоне давления от -500 до $+9000$ м над уровнем моря, обеспечивает точность измерения давления при температуре $25^{\circ}\text{C} \pm 0,12$ гПа (что эквивалентно разности высот ± 1 м), абсолютная точность составляет ± 1 гПа. Диапазон измерения температур датчика лежит в пределах $40...+85^{\circ}\text{C}$ с точностью измерений температуры $\pm 1^{\circ}\text{C}$. После проведения серии измерений данные могут отправляться на сервер с помощью GSM-модуля и/или сохраняться на карте памяти.

Волнение водной поверхности в створе измерения может негативно сказываться на точности измерений, поэтому в отечественной и зарубежной практике при амплитуде колебаний более $0,05$ м на водомерных постах обязательно на установка успокоительных устройств, снижающих высокочастотные колебания уровня воды. В автоматических пневматических уровнемерах при использовании аналоговых фильтров нижних частот «бегущей волны»,

которые отфильтровывают шумы от ветровых волн и зыби на воде, не требуется устройство успокоительного колодца, так как ошибки измерений минимизируются [15]. На подводящем канале водозабора Лосихинской оросительной системы успокоительная ниша не предусмотрена проектом. Для устранения возможных колебаний измеряемых уровней при их фиксации измерительным комплексом предусмотрено последовательное использование двух фильтров данных: медианного фильтра третьего порядка и рекурсивного фильтра скользящего среднего.

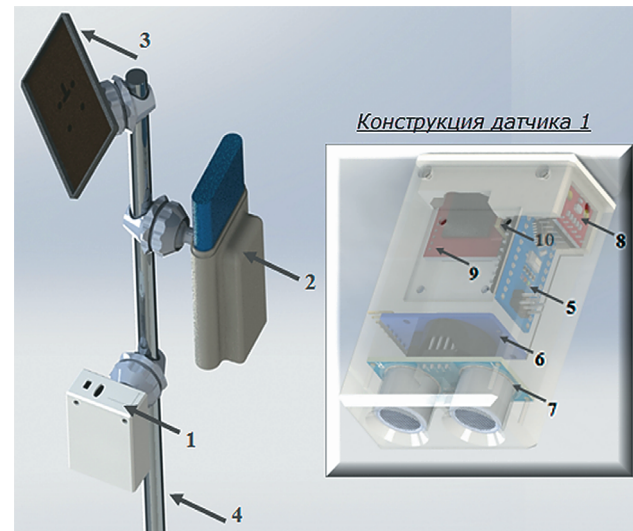


Рис. 3. Измерительный комплекс (без защитного корпуса) и датчик:

- 1 – датчик; 2 – аккумулятор; 3 – солнечная панель; 4 – штанга; 5 – микроконтроллер; 6 – часы реального времени; 7 – ультразвуковой сенсор; 8 – прецизионный датчик давления и температуры воздуха; 9 – GSM-модуль; 10 – модуль записи данных на SD карту

Fig. 3. Measuring complex (without protective housing) and sensor:
1 – sensor; 2 – accumulator; 3 – solar panel; 4 – rod; 5 – microcontroller; 6 – real-time clock; 7 – ultrasonic sensor; 8 – precision pressure and air temperature sensor; 9 – GSM module; 10 – SD card data recording module

При испытаниях комплекса на спокойной водной поверхности в каждой серии опытов изменялась высота его крепления на гидрометрической штанге: $0,9$ м; $1,2$ м; $1,5$ м; $2,0$ м. Штанга устанавливалась на дно бассейна лаборатории, затем в прибрежной зоне пруда на глубине $0,5$ м. Положение штанги контролировалось пузырьковым уровнем. Для каждого высотного положения производились ежеминутные измерения расстояния до водной поверхности датчиком с записью в память устройства. Параллельно с интервалом в 3 мин измерения производили водомерной рейкой ГР-104 с погрешностью

отсчета $\pm 0,01$ м. Каждая серия включала в себя 5 замеров с интервалом 3 мин, результаты замеров по рейке вносились в журнал наблюдений с указанием места и времени замеров.

Гидравлический лоток прямоугольного поперечного сечения, в котором испытывался измерительный комплекс, имел длину 15 м, ширину 1,5 м и высоту 0,97 м. В экспериментах варьировались два фактора: расход воды в лотке (что соответствовало различным уровням и скорости течения воды) и высота крепления комплекса на штанге (рис. 3). Высота крепления была равной 0,9 м; 1,2 м; 1,5 м. В остальном методика проведения эксперимента соответствовала приведенной выше.

На подводящем канале измерительных, комплекс жестко закреплялся на металлическом профиле внутри прямоугольного бетонного участка вне зон влияния плоского затвора и входа (рис. 4). Погодные условия позволили избежать установки защитного корпуса, что снизило вес устройства до 1,6 кг.

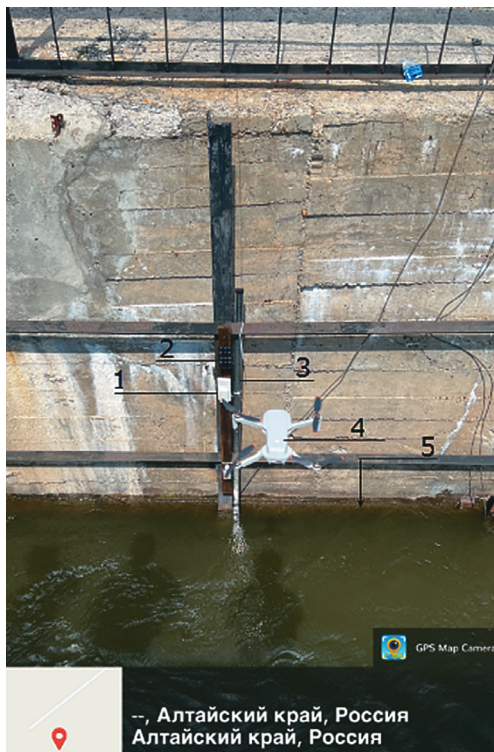


Рис. 4. Фрагмент испытаний измерительного комплекса на подводящем канале:

- 1 – датчик; 2 – солнечная панель;
3 – гидрометрическая рейка; 4 – квадрокоптер;
5 – водная поверхность

Fig. 4. Fragment of tests of the measuring complex on the supply channel:

- 1 – sensor; 2 – solar panel; 3 – hydrometric rail;
4 – quadcopter; 5 – water surface

Датчик, установленный на расстоянии 0,5 м от водной поверхности, получал питание

от солнечной батареи и записывал информацию через равные интервалы времени (1 мин). Гидрометрическая рейка ГР-104 служила для визуального контроля уровня. Для удобства снятия показаний по рейке с учетом требований техники безопасности использовался квадрокоптер с видеокамерой. Похожие методы применялись при измерении уровня воды с помощью видеокамеры и стандартных двухцветных рейкомеров [16] и мониторинга уровня воды при автоматическом обнаружении видеокамерой рейки и считывании ее показаний [17]. Время непрерывной работы экспериментального образца измерительного комплекса на подводящем канале составило 100 ч, данные измерений представлены листингом значений с временными метками. Контрольные замеры по рейке проводились в светлое время суток с интервалом между измерениями 1 час, данные визуального контроля вносились в журнал измерений с соответствующими временными метками.

Сравнение результатов измерений по водомерной рейке и данных измерений, полученных с помощью комплекса, выполнено для всех испытаний. Данные листинга сопоставлялись с данными журнала измерений для одинаковых временных меток. В испытаниях измерительного комплекса на акваториях без волнения основная абсолютная погрешность составила 0,01 м. В каналах с течением (гидравлический лоток и подводящий канал) основная абсолютная погрешность составила 0,02 м. Вариация показаний, равная наибольшей абсолютной погрешности $\Delta h_{0.н.}$ на одной и той же отметке при росте уровня воды и при его снижении, была меньше абсолютного значения основной погрешности. Технические возможности экспериментального образца позволяют измерять уровни воды в интервале от 0,2 до 4,0 м с параллельным измерением атмосферного давления и температуры. Для работы комплекса требуется постоянное напряжение – 5В. В качестве сравнения приведем акустический датчик уровня «Kalesto» (Германия), который имеет диапазон измерений 0,5...30,0 м, погрешность $\pm 0,01$ м и работает при постоянном напряжении 12В.

Данные измерений комплекса представляют собой текстовый файл, неудобный для чтения и последующего анализа. Была разработана специальная программа для ЭВМ, прошедшая Государственную регистрацию [18]. Программа может быть установлена на удаленном сервере, ее интерфейс приведен на рисунке 5.

Для конкретной точки привязки датчика на листе Excel формируется таблица, в которой для каждой даты/времени замеров (заданных

при программировании контроллера) выведятся результаты измерений расстояния от датчика до поверхности воды, температуры и атмосферного давления, а также результаты вычисления глубины потока. Предусмотрена статистическая обработка данных с выводом точечных и интервальных характеристик каждой

из величин. В указанном пользователем интервале времени автоматически строится график глубины, температуры и давления. При вводе критических значений глубины, характеризующих приближение к предельно минимальным или максимальным уровням, соответствующие измерения выделяются красным цветом.

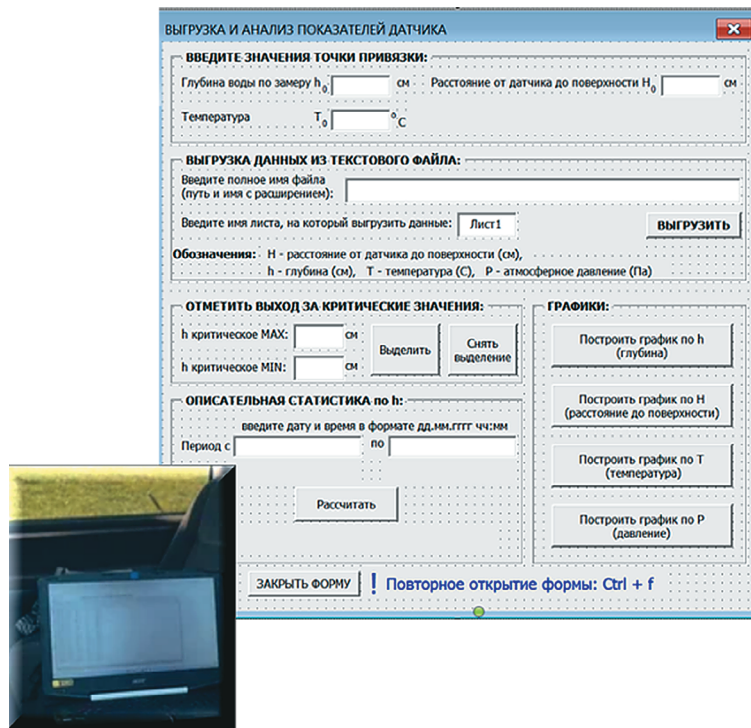


Рис. 5. Листинг измерений на компьютере при проведении эксперимента и диалоговое окно программы для анализа данных мониторинга

Fig. 5. Listing of measurements on the computer during the experiment and the dialog box of the program for analyzing monitoring data

Выводы

В результате исследований разработана принципиальная техническая схема измерительного комплекса и собран экспериментальный образец. Лабораторные и полевые испытания комплекса показали его надежность. Экспериментальный образец цифрового измерительного комплекса способен в автоматическом режиме производить ежеминутные измерения температуры атмосферного воздуха, атмосферного давления и расстояния до уровня свободной поверхности воды с записью в память устройства и/или передачей на удаленный сервер, где будет производиться дальнейшая обработка данных мониторинга.

Исследование профинансировано программой развития Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева «Агропрорыв-2030» в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030»

Точность измерения атмосферного давления при температуре 25°C составляет $\pm 0,12$ гПа. Точность измерения температуры атмосферного воздуха $\pm 1^\circ\text{C}$; диапазон измерения лежит в пределах $-40\dots+85^\circ\text{C}$. При наличии волновых явлений и отсутствии успокоительного колодца основная абсолютная погрешность измерения уровня составляет 0,02 м. В испытаниях при высоте установки от 0,4 до 2,0 м над статичным уровнем воды основная абсолютная погрешность составляет 0,01 м.

Габаритные размеры комплекса составляют $0,2 \times 0,5 \times 0,5$ м; вес вместе с защитным корпусом – 2 кг. Для работы комплекса требуется постоянное напряжение в 5В, питание возможно от солнечной батареи и/или от аккумулятора.

Gratitude. *The study was funded by the development program of the Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after S.A. Timiryazev «Agro breakthrough-2030» as part of the strategic academic leadership program «Priority-2030».*

Библиографический список

1. Итоги реализации (2014-2017 годы) федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы»: Информационное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 108 с.
2. ГОСТ Р 58376-2019. Мелиоративные системы и гидротехнические сооружения. Эксплуатация. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2019. – 42 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200163279>.
3. **Шепелев А.Е., Юченко Л.В.** Анализ средств водоизмерения на пунктах водоучета мелиоративных систем Минсельхоза России // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2019. – № 1 (73). – С. 43-46.
4. Методы измерения расхода воды на реках, каналах, в напорных трубопроводах насосных станций оросительных систем: Обзор. Межгосударственная координационная водохозяйственная комиссия Центральной Азии. – Ташкент: Научно-информационный центр, 2014. – 84 с.
5. **Вайнберг М.В., Чураев А.А.** Основные требования, предъявляемые к средствам измерения параметров водного потока с учетом новых условий водопользования // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2 (66). – С. 249-253.
6. **Пахомов А.А.** Измерение расхода воды в открытых каналах с использованием штангового расходомера / А.А. Пахомов, С.В. Тронеv, К.М. Мелихов, Н.А. Колбанова // Мелиорация. – 2010. – № 1 (63). – С. 65-69.
7. **Greswell R.** The design and application of an inexpensive pressure monitoring system for shallow water level measurement, tensiometry and piezometry / P. Ellis, M. Cuthbert, R. White and V. Durand // *Journal of Hydrology*. – 2009. – № 373(3-4) pp. 416-425. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.05.001
8. **Чураев А.А., Шепелев А.Е., Юченко Л.В.** Оценка работоспособности испытываемого средства водоучета в диапазоне допустимой погрешности измерений // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – № 12(1). – С. 228-244.
9. **Корольков В.А.** Автоматизированный ультразвуковой метеорологический комплекс АМК-03 / А.А. Азбукин, А.Я. Богусевич, В.С. Ильичевский и др. // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 11. – С. 89-97.
10. **Хаханина Т.И.** Инверсионно-вольтамперометрический аналитический контроль наносодержаний ртути в системах городского водоснабжения / И.Н. Петухов, Н.Ю. Кузьмичев, О.В. Кольцова // Природообустройство. – 2013. – № 4. – С. 27-32.
11. **Made van der J.E.** Determination of the accuracy of water level observations // In Proceedings of the Exeter Symposium. IAHS Publications. – 1982. – № 134. – Pp. 172-184.
12. **Horner I., Renard B., Le Coz J.** Impact of stage measurement errors on streamflow uncertainty / F. Branger, H.K. Millan and G. Pierrefeu // *Water Resources Research*. – 2018. – № 54(3). – Pp. 1952-1976.
13. **Пугин М.А.** Уровнемер жидких сред с коррекцией температурной погрешности // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2011. – № 3. – С. 12-17.
14. **Жмудь В.А.** Ультразвуковой датчик измерения расстояния HC-SR04 / Н.О. Кондратьев, К.А. Кузнецови др. // Автоматика и программная инженерия. – 2017. – № 4 (22). – Pp. 18-26.

References

1. Itogi realizatsii (2014-2017 gody) federalnoj tselevoj programmy «Razvitie melioratsii zemel selskohozyajstvennogo naznacheniya Rossii na 2014-2020 gody»: inform. izdanie – M.: FGBNU «Rosinformagroteh», 2018. – 108 s.
2. GOST R58376-2019 Meliorativnye sistemy i gidrotehnicheskie sooruzheniya. Ekspluatatsiya. Obshchie trebovaniya. – M.: Standartinform, 2019. – 42 s. <https://docs.cntd.ru/document/1200163279>
3. **Shepelev A.E., Yuchenko L.V.** Analiz sredstv vodoizmereniya na punktah vodoucheta meliorativnyh sistem Minselkhoza Rossii // *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya*. – 2019. – 1(73): 43-46
4. Metody izmereniya raskhoda vody na rekah, kanalah, v napornyh truboprovodah nasosnyh stantsij orositelnyh sistem. Obzor. Mezhgosudarstvennaya koordinatsionnaya vodohozyajstvennaya komissiya Tsentralnoj Azii. – Tashkent: Nauchno-informatsionnyj tsentr, 2014. – 84 s.
5. **Vajnberg M.V., Churaev A.A.** Osnovnye trebovaniya, predyavlyаемые k sredstvam izmereniya parametrov vodnogo potoka s uchetoм novyh uslovij vodopolzovaniya // *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya*. – 2017. – № 2 (66). – S. 249-253.
6. **Pakhomov A.A.** Izmerenie raskhoda vody v otkrytyh kanalah s ispolzovaniem shtangovogo raskhodomera / Tronev S.V., Melikhov K.M., Kolobanova N.A. // *Melioratsiya*. – 2010. – № 1 (63). – S. 65-69.
7. **Greswell R., Ellis P., Cuthbert M., White R. and Durand V.** The design and application of an inexpensive pressure monitoring system for shallow water level measurement, tensiometry and piezometry. *Journal of Hydrology*. 2009;373(3-4) pp. 416-425. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.05.001
8. **Churaev A.A., Shepelev A.E., Yuchenko L.V.** Otsenka rabotosposobnosti ispytyvaемого средства vodoucheta v diapazone dopustimoy pogreshnosti izmerenij // *Melioratsiya i gidrotehnika*. – 2022. – 12(1). – S. 228-244. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-228-244.
9. **Korolkov V.A.** Avtomatizirovannyj ultrazvukovoj meteorologicheskij kompleks АМК-03 / А.А. Azbukin A.Ya. Bogushevich, V.S. Iljichevskij i dr. // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2006. – № 11. – S. 89-97.
10. **Hahanina T.I., Petukhov I.N., Kuzmichev N.Yu., Koljtsova O.V.** Inversionno-voljtamprometricheskij analiticheskij kontrol nanoso-soderzhanij rtuti v sistemah gorodskogo vodosnabzheniya // *Prirodoobustrojstvo*. – 2013. – № 4. – S. 27-32.
11. **Made van der J.E.** Determination of the accuracy of water level observations. In Proceedings of the Exeter Symposium. *IAHS Publications*. 1982; 134: 172-184.
12. **Horner I., Renard B., Le Coz J., Branger F., McMillan H.K. and Pierrefeu G.** Impact of stage measurement errors on streamflow uncertainty. *Water Resources Research*. 2018; 54(3): 1952-1976.
13. **Pugin M.A.** Urovneмер zhidkih sred s korektsiej temperaturnoj pogreshnosti // *Avtomatizatsiya, telemehanizatsiya i svyaz v neftyanoy promyshlennosti*. – 2011. – № 3. – S. 12-17.
14. **Zhмud V.A.** Ultrazvukovoj datchik izmereniya rasstoyaniya HC-SR04 / Kondratjev N.O., Kuznetsov K.A. i dr. // *Avtomatika i programmnaya inzheneriya*. 2017; 4(22): 18-26.
15. **Hsien P.P., Sung C.L.** A precision water-level and sediment-load monitoring system—an update. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*. 2006; 18(3): 287-290. DOI: 10.1016/S1001-6058(06)60067-X
16. **Zhang Z., Zhou Y., Liu H. and Gao H.** In-situ water level measurement using NIR-imaging video camera. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2019; 67: 95-106. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2019.04.004

15. Hsien P.P., Sung C.L. A precision water-level and sediment-load monitoring system-an update. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B.* 2006;18(3): 287-290. DOI: 10.1016/S1001-6058(06)60067-X

16. Zhang Z. In-situ water level measurement using NIR-imaging video camera / Y. Zhou, H. Liu and H. Gao // *Flow Measurement and Instrumentation.* – 2019. – № 67. – Pp. 95-106.

17. Bai G., Hou J., Zhang Y. An intelligent water level monitoring method based on SSD algorithm / B. Li, H. Han, T. Wang, R. Hinkelmann, D. Zhang and L. Guo // *Measurement.* – 2021. – № 185.: DOI: 110047. 10.1016/j.measurement. 2021. 110047.

18. Обработка данных автоматического мониторинга уровневого режима водных объектов и параметров атмосферы. Свидетельство о Государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022681565. Заявка № 2022680800 от 3 ноября 2022 г., дата гос. регистрации 15 ноября 2022 г. / В.Л. Снежко, Д.М. Бенин, Н.В. Гавриловская, А.В. Подобный, М.В. Петухова.

Критерии авторства

Снежко В.Л., Бенин Д.М., Гавриловская Н.В., Петухова М.В., Подобный А.В. выполнили теоретические и экспериментальные 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

Статья поступила в редакцию 04.11.2022

Одобрена после рецензирования 10.11.2022

Принята к публикации 10.11.2022

17. Bai G., Hou J., Zhang Y., Li, B., Han H., Wang T., Hinkelmann R., Zhang D. and Guo L. An intelligent water level monitoring method based on SSD algorithm. *Measurement.* 2021; 185: DOI: 110047.10.1016/j.measurement. 2021. 110047.

18. Обработка данных автоматического мониторинга уровневого режима водных объектов и параметров атмосферы. Свидетельство о Государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022681565. Заявка № 2022680800 от 03 ноября 2022 г., дата гос. регистрации 15 ноября 2022 г. // Снежко В.Л., Бенин Д.М., Гавриловская Н.В., Подобный А.В., Петухова М.В.

Criteria of Authorship

Snezhko V.L., Benin D.M., Gavrilovskaya N.V., Petukhova M.V., Podobnyj A.V. performed theoretical and experimental research, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript. Snezhko V.L., Benin D.M., Gavrilovskaya N.V., Petukhova M.V., Podobnyj A.V. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 04.11.2022

Approved after reviewing 10.11.2022

Accepted for publication 10.11.2022