

Г. А. КАЛИНОВ, А. В. ЛЫСАКОВ, В. И. РИМЛЯНД

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРА ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрена конструкция автономного измерительного комплекса для сбора гидрологической информации в наблюдательных скважинах системы мониторинга уровня подземных вод. Комплекс состоит из блока сбора информации, высокоточного скважинного уровнемера, глубоководного измерительного зонда.

Ключевые слова: автоматизированный комплекс, мониторинг, уровнемер, ультразвук, микропроцессор, синхронизация, измерение, зонд, наблюдательная скважина.

Долговременные исследования подземных вод показали, что изменения их уровня коррелируют с сейсмическими проявлениями различного масштаба [1]. С 1986 г. в сейсмоопасных зонах Закавказья, Краснодарского края и Дальнего Востока по инициативе НИИ гидрогеологии и инженерной геологии создана сеть из 170 наблюдательных скважин. Для развития системы мониторинга гидрогеодеформационного поля Земли требуются автономные измерительные станции сбора гидрологической информации. Станция представляет собой комплекс для измерения уровня, температуры и электропроводности воды (характеризует степень минерализации воды), атмосферного давления и температуры воздуха.

Необходима высокая точность и надежность работы устройств системы [2]. Авторами настоящей статьи разработаны два типа измерительных станций „Кедр“. Результаты измерений станции „Кедр-А2“ хранятся в переносном модуле энергонезависимой памяти; передача информации выполняется посредством смены накопителя данных. Станция „Кедр-ДМ“ имеет телеметрический канал на основе сотовой или спутниковой связи.

Высокоточный скважинный уровнемер. Отдельным измерительным прибором является датчик измерения уровня воды в скважине. Ранее авторами был разработан метод определения уровня жидкости путем измерения времени распространения ультразвукового импульса (УЗИ) в вертикальном звукопроводе, изготовленном в виде тонкого металлического стержня. УЗИ формируется непосредственно на границе раздела жидкость—воздух [3].

На основе данного метода был разработан уровнемер, позволяющий измерять уровень жидкости в резервуарах. Значительно улучшить метрологические характеристики, повысить надежность, уменьшить габариты скважинного уровнемера удалось за счет изменения конструкции [4].

Скважинный уровнемер (рис. 1) состоит из корпуса 1 (защитная труба); вертикального стержня-звукопровода 2, натянутого в центре трубы; поплавка-излучателя УЗИ 3, коаксиально охватывающего стержень и свободно перемещающегося вдоль него; блока питания, синхронизации и приема УЗИ 4, закрепленного на верхнем конце стержня; эталонного излучателя УЗИ 5, закрепленного на нижнем конце стержня. Уровнемер опускается на специальном тросе 6 в скважину 7, связь с наземными блоками осуществляется по кабелю 8. Возбуждение УЗИ происходит пьезокерамическим кольцом, коаксиально охватывающим звукопровод, на который в момент запуска „счетчика времени“ электронная схема, расположенная в поплавке, подает электрический импульс. Для подачи питания и обеспечения синхронизации процесса излучения УЗИ разработана специальная система на основе

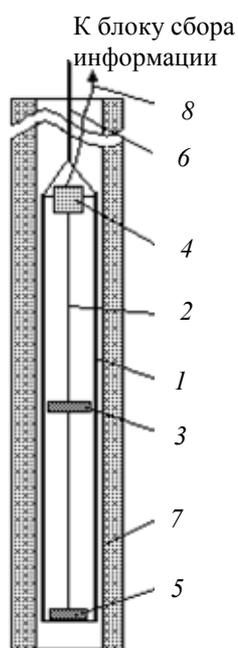


Рис. 1

ма, расположенная в поплавке, подает электрический импульс. Для подачи питания и обеспечения синхронизации процесса излучения УЗИ разработана специальная система на основе

индукционного метода. В качестве первичного витка трансформатора используются звукопровод и защитная труба. Вторичная обмотка трансформатора расположена внутри корпуса поплавка. Индуцированный сигнал разделяется во времени на сигнал питания — „накачки“ накопительного конденсатора и импульс синхронизации (СИ).

На рис. 2, а представлена функциональная схема питания и синхронизации ультразвукового излучателя. Блоки 1—3 расположены на неподвижном основании, 4—11 внутри поплавка. Микропроцессор 1 формирует необходимые для работы сигналы. На вход смесителя 2 поступают сигналы частоты „накачки“ и синхронизации. Выход смесителя 2 подключен к понижающему трансформатору 3. Вторичная обмотка трансформатора питания 4 и конденсатор $C_{рез}$ образуют резонансный контур, что позволяет получить высокое напряжение на выходе детектора напряжения 6. „Накачка“ накопительных конденсаторов блока 6 производится в течение 20 мс частотой 100 кГц.

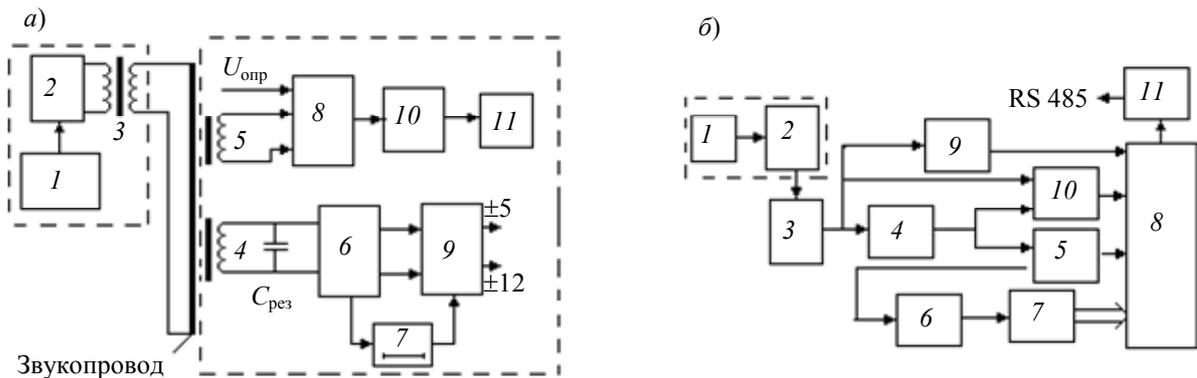


Рис. 2

Микропроцессор вырабатывает СИ через определенное время после окончания видеоимпульса частоты „накачки“ (рис. 3). После прекращения сигнала „накачки“ через время T_3 , схема 7 (рис. 2, а) вырабатывает строб-импульс ($T_c = 0,1$ мс), во время действия которого блок 9 обеспечивает питание сдвоенного 8 фазового обнаружителя синхроимпульса и блока 10, формирующего электрический импульс для возбуждения пьезокерамики 11.

Фазовый обнаружитель 8 регистрирует первый переход напряжения СИ через нулевой уровень, при этом момент начала формирования акустического импульса не зависит от амплитуды СИ и параметров первичного витка. Конструкция и работа фазового обнаружителя подробно описаны в работе [5]. Электронная схема акустического излучателя (включая трансформаторы питания и синхронизации) размещается на печатной плате диаметром 31 мм, весом 7,5 г.

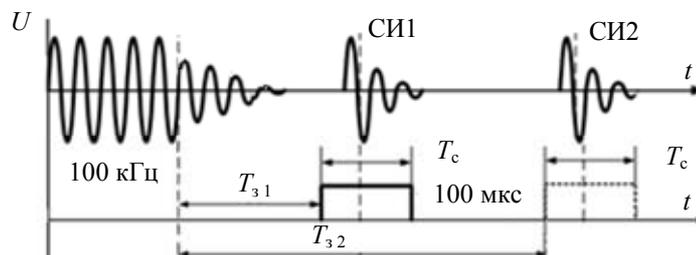


Рис. 3

На рис. 2, б представлена функциональная схема блока приема и измерения времени прихода УЗИ. Основными факторами, влияющими на качество работы уровнемера, являются точность регистрации момента прихода УЗИ и измерения времени его распространения ($T_{узи}$). При перемещении акустического излучателя (поплавка) вдоль волновода амплитуда и форма переднего фронта акустического сигнала существенно изменяются [6]. В уровнемере „Кедр“ реализован фазовый способ регистрации УЗИ, аналогичный способу регистрации СИ поплавком-излучателем [5]. Началом отсчета для времени распространения УЗИ от излучателя

до приемника является СИ, запускающий генератор УЗИ в поплавке. Сформированный излучателем УЗИ распространяется по стержню волновода, поступает на пьезоприемник 1 (рис. 2, б) и далее — на вход малошумящего усилителя 2 (конструктивно совмещены и установлены на торце волновода). Далее сигнал проходит через ФВЧ 2-го порядка 3, усилитель 4 и ограничитель амплитуды 5. Блок схемы 6 обеспечивает фазовый прием первой полуволны импульса. На выходе схемы 6 формируется импульс длительностью $T_{узи}$, который „оцифровывается“ счетчиком 7. Микропроцессор 8 считывает состояние счетчика. По окончании измерительного импульса микропроцессор вычисляет расстояние от излучателя до преобразователя. С помощью детектора шума 9 и пикового детектора 10 определяется соотношение сигнал—шум [5]. Посредством встроенного интерфейса 11 RS-485 данные по линии связи передаются в микропроцессор блока сбора информации.

На точность измерения уровня жидкости влияет множество факторов: температура, линейное расширение металлического волновода, дрейф частоты кварцевого генератора и др. С целью исключения воздействия большинства из них предложен метод измерения уровня с автоматической калибровкой [7]. На нижнем конце звукового волновода устанавливается калибровочный излучатель, аналогичный излучателю поплавка (5 на рис. 1; 2, а). Микропроцессор преобразователя (8 на рис. 2, б), изменяя задержку импульса синхронизации (СИ2 на рис. 3), последовательно запускает два процесса: измерение с акустическим излучателем, расположенным на подвижном поплавке, или с калибровочным излучателем, который жестко закреплен на конце волновода. На основе измеренного времени распространения калибровочного УЗИ микропроцессором рассчитываются поправки для времени $T_{узи}$.

Разработанный скважинный уровнемер имеет следующие метрологические характеристики: диапазон измерения уровня — 3 м; разрешающая способность датчика уровня — 0,1 мм; основная погрешность измерения уровня — 0,5 %; рабочий диапазон температур — от 0 до +80 °С; габаритные размеры — 51×3180 мм; масса — 3,5 кг.

Измерение дополнительных параметров. Помимо уровня жидкости в наблюдательной скважине необходимо измерять температуру и электропроводность воды. Для этого был разработан глубоководный измерительный зонд, который может устанавливаться на 10—200 м ниже поверхности земли. На рис. 4, а и б представлены функциональная схема зонда и конструкция датчика проводимости. В качестве датчика температуры 1 применяется платиновое сопротивление типа Platinum RTDs 1000, подключенное к АЦП 2 (AD7788, 16-разрядный малошумящий сигма-дельта преобразователь с дифференциальным входом). Управление устройством выполняется встроенным микропроцессором 3 средствами SPI-интерфейса. Расчет температуры с погрешностью не более 0,5 % в диапазоне изменения 0—100 °С производится микропроцессором по специальному алгоритму.

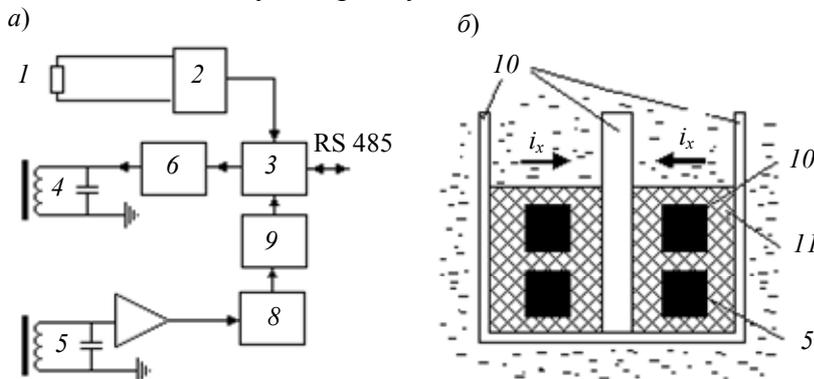


Рис. 4

Основанный на индукционном принципе датчик проводимости [8] представляет собой систему двух соосно расположенных тороидальных катушек индуктивности 4 и 5, охваченных общей петлей связи в виде элементов корпуса датчика 10 и жидкостного проводника

контролируемой среды. Для повышения электрической чувствительности и снижения электрических помех, обусловленных индуктивными и емкостными связями, приемная катушка помещена в незамкнутом экране. Генератор 6 подает переменное напряжение амплитудой 10 В на излучающую катушку 5. Электромагнитное поле вихревых токов возбуждает в приемной катушке 4 ЭДС, величина которой пропорциональна электропроводности жидкости, в которую погружен датчик. ЭДС с катушки поступает на усилитель 7, детектор 8 и через АЦП 9 на микропроцессор. Схема формирует постоянное напряжение, которое прямо пропорционально проводимости в диапазоне от 10 мВ до 3,3 В. У датчика проводимости отсутствуют электроды, и нет электрического контакта с жидкостью, что позволяет использовать его в жестких полевых условиях на большой глубине. Оцифрованные значения температуры и проводимости по запросу передаются в блок сбора информации.

Блок сбора информации. Центральным узлом измерительного комплекса „Кедр“ является блок сбора информации (БСИ). По функциональному назначению БСИ представляет собой регистратор данных (логгер), расположенный на поверхности в оголовке скважины. Программное управление логгером и специализированными датчиками осуществляется микропроцессором серии AVR типа ATMEGA128. Микропроцессор БСИ всегда находится в „спящем“ режиме и потребляет от источника +12 В не более 70 мкА, что существенно, так как в автономном режиме логгер должен находиться не менее одного года. При воздействии сигналов от выносного индикатора или встроенных часов процессор активизируется. Логгер производит опрос измерительных датчиков, заносит результаты в накопитель данных, осуществляет сеансы связи и переходит в режим пониженного энергопотребления.

Информация с уровнемера и датчиков электропроводности и температуры воды по специальному кабелю (интерфейс RS-485) передается на процессор. Атмосферное давление и температура воздуха измеряются датчиками, установленным на плате БСИ, подключенными к микропроцессору. Опрос всех датчиков производится каждый час. Микропроцессор БСИ с помощью встроенных АЦП контролирует напряжение батареи питания и токи потребления в соответствующих измерительных каналах. БСИ обеспечивает минимизацию электропотребления всеми устройствами и защиту от короткого замыкания.

Информация с измерительных станций „Кедр-ДМ“ передается по каналам сотовой связи или спутниковой связи системы „GlobalStar“. Управление модемами осуществляет микропроцессор средствами интерфейса RS-232 (конвертор UART-RS-232). Для сотовой связи применяются модемы TC65 (Terminal фирмы Siemens), которые работают в диапазоне GSM 850/900/1800/1900 МГц; пакетная передача данных осуществляется с использованием модема со встроенными средствами GPRS. Для передачи данных по каналам спутниковой связи применяется модем GSP-1720, который обеспечивает двустороннюю связь со скоростью 9600 бит/с. Используется пакетная передача данных, которая обеспечивает доступ через станцию сопряжения к ресурсам сети Интернет. Передача информации осуществляется один раз в сутки.

В настоящее время ООО „Полином“ совместно с Тихоокеанским государственным университетом освоено опытное производство и монтаж измерительных станций для мониторинга гидрогеодеформационного поля Земли. Изготовлено и установлено в различных регионах РФ 48 систем с сотовой связью, 9 — со спутниковой связью и более 60 систем без телеметрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вартанян Г. С., Бредехофт Д., Розлоффе Э. А. Гидрогеологические методы при изучении тектонических напряжений // Советская геология. 1992. № 9. С. 3—12.
2. Вартанян Г. С., Гончаров В. С., Кривошеев В. П. и др. Методические указания по ведению гидрогеодеформационного мониторинга для целей сейсмопрогноза (система R-STEP). М.: ЗАО „Геоинформмарк“, 2000. 77 с.

3. Пат. РФ № 2156962. Способ ультразвукового измерения уровня жидкости / Г. А. Калинов, А. В. Лысаков, В. И. Римлянд. 2000.
4. Римлянд В. И., Калинов Г. А., Казарбин А. В. Автоматизированная система измерения уровня жидкости в резервуарах // Изв. вузов. Приборостроение. 2000. Т. 43, № 3. С. 47—50.
5. Калинов Г. А., Римлянд В. И., Мигунов Д. С. Оценка влияния шумов на фазовый способ определения момента прихода акустических импульсов // Вестн. ТОГУ. 2009. № 1 (12). С. 275—282.
6. Римлянд В. И., Кондратьев А. И., Калинов Г. А., Казарбин А. В. Методы диагностики и контроля динамических объектов. Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2006. 157 с.
7. Пат. РФ № 200612394. Способ ультразвукового измерения уровня жидкости / Г. А. Калинов, А. В. Лысаков, Д. С. Калинов. 2006.
8. Аметшин Р. М., Лугуманов М. Г. Высокочувствительный датчик электропроводности бурового раствора // Науч.-техн. вестн. „Каротажник“. 2003. Вып. 111—112. С. 173—181.

Сведения об авторах

- Геннадий Алексеевич Калинов** — аспирант; Тихоокеанский государственный университет, кафедра физики, Хабаровск; E-mail: riml@fizika.khstu.ru
- Александр Валентинович Лысаков** — Дальневосточный филиал ВНИИФТРИ, Хабаровск; ведущий инженер; E-mail: polinom@poli.khv.ru
- Владимир Иосифович Римлянд** — д-р техн. наук, доцент; Тихоокеанский государственный университет, кафедра физики, Хабаровск; и.о. заведующего кафедрой; E-mail: riml@fizika.khstu.ru

Рекомендована кафедрой
физики Тихоокеанского
государственного университета

Поступила в редакцию
09.06.10 г.