



УДК 551.583

Регистрация уровня воды гидростатическим методом

Ю. В. Шаманский (suv@home.isu.ru)

Аннотация. Приводятся описание конструкции прибора для регистрации уровня воды и результаты испытаний в нижнем бьефе Иркутской ГЭС.

Ключевое слово: регистрация уровня воды.

Введение

Данные о изменении уровня воды нужны для гидрологических, гидрогеологических и других исследований. Для регистрации уровня воды широко используются два основных метода: метод, основанный на измерении положения плавающих на поверхности тел, и метод, основанный на измерении гидростатического давления, зависящего от уровня воды над приемником давления. Для измерения уровня в скважинах, пьезометрах, водосливах и др. часто используют опускаемые электроды, которые при соприкосновении с водой включают сигнальное устройство. При необходимости проводить непрерывную регистрацию уровня самым надежным и простым является гидростатический метод, не требующий специальных сооружений, механических устройств в приборе и обладающий простотой и низкой стоимостью. На рынке появились различные сенсоры (датчики) давления, рассчитанные на различные диапазоны давления и для различных сред, а также автономные цифровые регистраторы. Таким образом, соединив сенсор с регистратором, получаем готовый прибор.

Аппаратура и методика регистрации

Для регистрации уровня использован распространенный метод, основанный на измерении гидростатического давления, зависящего от уровня воды над приемником давления. В основе метода лежит зависимость:

$$P = \rho g H + P_0, \quad (1)$$

где P – абсолютное давление, действующее на приемную часть датчика на расстоянии H от поверхности воды, P_0 – атмосферное давление на поверхности воды, ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения. Отсюда основное уравнение гидростатического уровнемера имеет вид:

$$H = \frac{P - P_0}{\rho g}. \quad (2)$$

Основная погрешность гидростатического уровнемера зависит от изменения плотности воды вследствие аэрации, мутности и температуры (плотность воды изменяется на 0,5% при изменении температуры от 0 до 30 °С).

Другой составляющей погрешности является погрешность, связанная со скоростным напором на незащищенный датчик давления.

Для регистрации уровня были использованы дифференциальные датчики MPX-12DP фирмы Freescale и 26PC SMT фирмы HONEYWELL измеряющие разность давлений с минимальным порогом чувствительности 1 см водяного столба. На прямой вход воздействует давление воды и атмосферы, а на инверсионный – только атмосферное давление, поэтому атмосферное давление автоматически вычитается. Датчики состоят из двух частей: герметичного корпуса, снабженного штуцерами, позволяющими подсоединять гибкие трубки, и электронным компонентом, регистрирующем деформацию, основанном на тензоэффекте кристалла полупроводника, связанного с мембраной. Датчики выпускаются с термокомпенсацией и с очень малым гистерезисом (0,2 %). Сенсоры формируют выходное напряжение около 40 мВ при нулевом давлении, которое можно компенсировать. При питании датчика автономным источником напряжения из-за увеличения потребляемого тока компенсация не проводилась, а записывалось значение места «0» в период установки датчика, которое при обработке вычиталось.

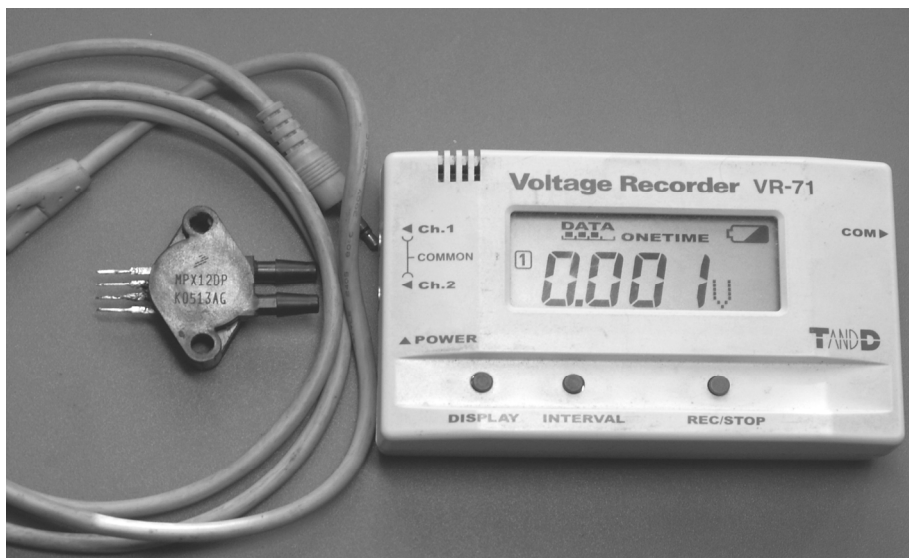


Рис. 1. Датчик MPX-12DP и регистратор VR-71

Регистрация выходного напряжения с датчика производилась на цифровые регистраторы японской фирмы TandD RVR-52 или VR-71 с дискретностью 15 мин. Согласования по подключению регистратора и датчика не требуются, так как входное сопротивление регистраторов превышает

100 кОм. Регистраторы RVR-52 и VR-71 отличаются только тем, что VR-71 имеет диапазон от -15 до +15 В, а RVR-52 регистрирует однополярное напряжение до 5 В. Точность отсчета обоих регистраторов составляет 0,001 В. Кроме этого, VR-71 может регистрировать напряжение двух датчиков. Периодичность оцифровки регистраторов устанавливается в зависимости от задач от 1 с до 1 ч. Питание регистраторов автономное, которого хватает на несколько месяцев. Объем записываемой информации составляет 8400 значений. Данные с VR-71 переносятся на компьютер через СОМ-порт в формате txt, а затем переводятся в формат EXCEL. Дата и время зарегистрированных значений при сбросе записанных данных «привязываются» ко времени, установленному на компьютере. На рис. 1 показаны датчики давления МРХ-12DP и регистратор VR-71.

Датчик МРХ-12DP питается напряжением 5 В и потребляет ток около 7 мА. Для питания достаточно использовать аккумулятор емкостью 10 А·ч. Для соединения датчика с аккумулятором и регистратором используется 4-жильный телефонный кабель. Для компенсации атмосферного давления инверсионный вход датчика при помощи силиконовой капиллярной трубки выводится вместе с кабелем на поверхность. Для герметизации выводов датчика можно использовать обычный пластилин.

Градировка датчиков производилась погружением датчика в воду на известную глубину. На рис. 2 приведен градуировочный график для датчика.

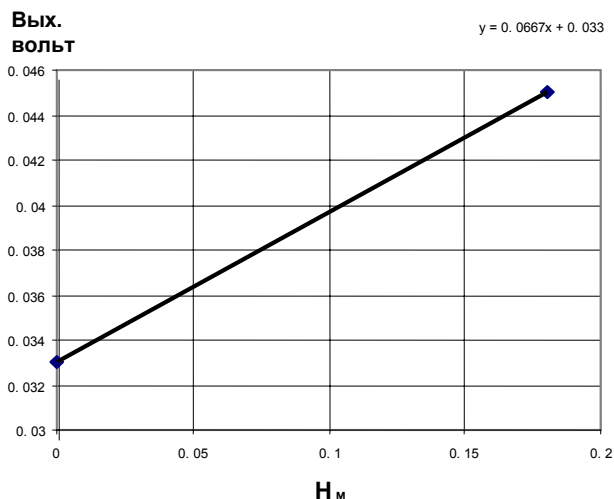


Рис. 2. Градуировочный график регистратора уровня

Датчик был установлен с июля по декабрь 2011 г. на водомерном посту в нижнем бьефе Иркутской ГЭС, в месте со штатным уровнемером «Валдай». Один раз в течение 2–3 недель проверялась работоспособность и градуировка прибора, списывались результаты на компьютер.

Обработка данных состояла в переводе значений, зарегистрированных цифровым регистратором из значений в вольтах градуировки в значения высоты уровня воды в метрах.

Анализ результатов наблюдений

За период наблюдений было получено около 13 000 значений уровня с дискретностью 15 мин. На рис. 3 приведен фрагмент регистрации уровня воды 3–5 августа, когда на ГЭС проводились незначительные сбросы воды, поднимающие уровень на 15–20 см.

Итоговые статистические данные по уровню воды приведены в табл.



Рис. 3. Фрагмент регистрации уровня с 3 по 5 августа

Таблица 1

Итоговая статистика по регистрации уровня, м

Среднее	0,19
Медиана	0,19
Мода	0,18
Стандартное отклонение	0,03
Дисперсия выборки	0,001
Экссесс	5,74
Асимметричность	0,53
Интервал	0,39
Минимум	0,05
Максимум	0,43
Счет	11472

За весь период наблюдений уровень изменялся от 0,05 до 0,43 м. Однако, колебания уровня в пределах нескольких сантиметров проявляются всегда. Природа этих колебаний не ясна. Измерение уровня производилось в трубе, поэтому исключалась динамическая составляющая давления, обусловленная скоростным напором. Единственное объяснение вариаций – это турбулентность потока и нагонные ветровые колебания. На рис. 4 приведен спектр вариаций, рассчитанный программой SPSS.

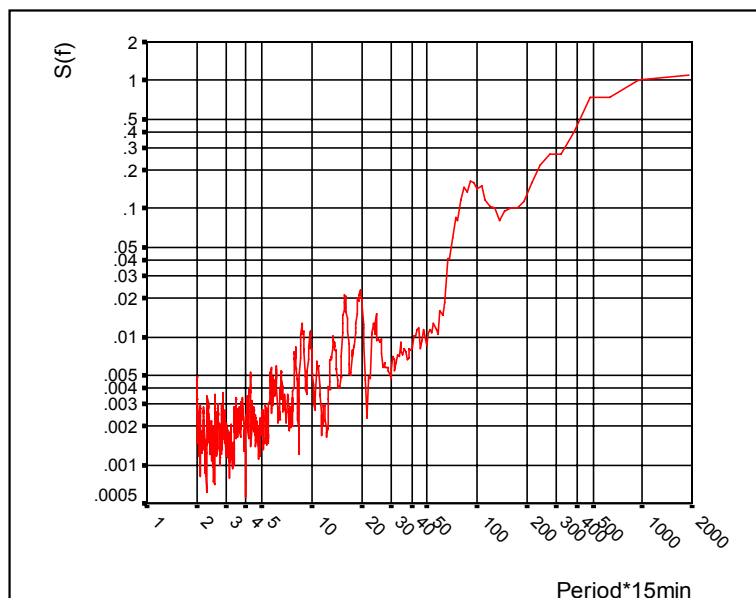


Рис. 4 Спектральная функция колебаний уровня.

Из рассмотрения спектральной функции виден сложный характер вариаций начиная с периодов короче 450 мин. Однако в спектре отмечается суточный период (около 96·15 мин). Спектральные составляющие более короткопериодных вариаций, по-видимому, обусловлены турбулентностью потока (тангенс угла наклона спектральной кривой к оси ординат близок к «закону $-5/3$ Колмогорова – Обухова»).

Для проверки наличия суточного хода были сделаны выборки среднечасовых значений по данным и построен суточный ход уровня (рис. 5). Суточный ход представляет волну с минимумом, приходящимся на период около 3–4 ч и максимумом – в 15–16 ч. Амплитуда суточного хода составляет 12 см.

Объяснить наличие суточного хода в нижнем бьефе можно только расходом воды через ГЭС, связанным с суточным потреблением электроэнергии.

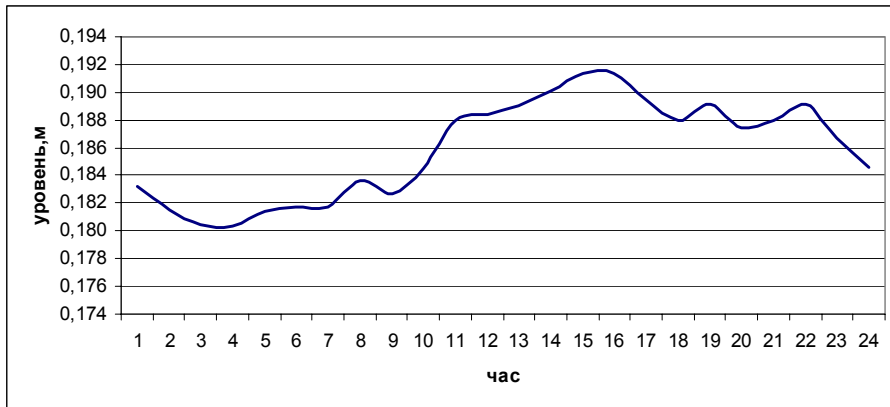


Рис. 5. Суточный ход изменений уровня

Выводы

Испытания гидростатического уровнемера указывают на преимущества гидростатического метода по сравнению с другими методами. Этот метод позволяет измерять уровень в замерзающих водоемах, при этом не требуется строить колодцы. Прибор можно спрятать в береговом откосе. На результатах регистрации не сказывается ветровое волнение, если датчик давления находится на глубине, равной нескольким длинам волн. В то же время прибор можно использовать для регистрации волнения.

Water level registration by hydrostatic method

Yu. V. Shamansky

Annotation. The article contains the description of the instrument for water level registration and results of the test in tail-water Irkutsk of hydro-electric power station.

Key word: water level registration.

*Шаманский Юрий Васильевич
кандидат географических наук, доцент
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 52–10–94*

*Shamansky Yurii Vasilyevich
Ph. D. in Geography, Associate Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: (3952) 52–10–94*