

О КОРРЕКТНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В УРОВНЕМЕРНЫХ КОЛОДЦАХ

В.И.Забурдаев, А.Н.Логвинчук

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

В работе установлено, что из-за различий параметров состояния воды в море и в колодце таких, как средняя солёность и средняя температура, может возникнуть методическая погрешность в измерении уровня моря или его изменчивости в пределах $\pm 3\%$ вне зависимости от инструментальных погрешностей собственно гидростатических уровнемеров. Предложены варианты уменьшения этой погрешности до минимально возможных значений.

Изменчивость уровня моря является следствием многих процессов, в первую очередь из которых следует назвать приливо-отливные явления, землетрясения, изменчивость атмосферного давления над поверхностью океанов и морей (сейшевые колебания), воздействие приводного ветра (сгонно-нагонные явления) и изменчивость динамических процессов в самой водной массе.

В связи с этим контроль за уровнем моря, с одной стороны, следует вести с целью обеспечения безопасности судоходства в прибрежной зоне и возможного раннего предупреждения населения прибрежных зон об опасных ситуациях типа наводнения и т.п. С другой стороны, поскольку уровень моря в разных точках определённой акватории непосредственно связан с динамическими процессами в самой водной массе, например, с изменчивостью течений или плотностной стратификации. В этом смысле уровень моря является своеобразным индикатором динамического состояния водных масс.

Особенно важным стало знание уровня моря в определённых точках Мирового океана в настоящее время в связи с интенсивным использованием дистанционных (авиационных или космических) средств контроля за состоянием водной поверхности, нуждающихся в периодической высо-

коточной калибровке. В связи с этим создание высокоточных наземных измерителей уровня моря является актуальным.

В работе [1] определены требования к метрологическим параметрам гидростатических измерителей уровня моря без какого-либо разделения по месту установки – в открытой части моря или в уровнемерном колодце. Однако, как показал опыт эксплуатации [2], солёность и температура в прибрежной части моря (где и нужно знать уровень) и в уровнемерном колодце могут значительно отличаться, а это в свою очередь приведёт к отличию уровня воды в море и в колодце в независимости от точности используемого уровнемера в колодце.

На рисунке 1 схематично показана методика измерения уровня моря в уровнемерных колодцах. Колодец и море связаны свободно протекающей трубой, образуя замкнутые сосуды. На рисунке 2 условно показаны замкнутые сосуды, в левом из которых находится морская вода (средняя плотность воды ρ_m , уровень H_m), в правом – вода в колодце (средняя плотность воды ρ_k , уровень H_k). В нижней части сообщающихся сосудов морская вода и вода в колодце соприкасаются и в точке K давление морской воды и воды в колодце одинаковое ($P_m = P_k$). Если $\rho_m > \rho_k$ уровень воды в колодце будет меньше уровня воды в море ($H_m < H_k$). Если $\rho_m = \rho_k$, то ($H_m = H_k$), а при $\rho_m < \rho_k$, ($H_m > H_k$).

В настоящей работе производится оценка возможных статических расхождений H_m и H_k без учёта динамических колебательных процессов в системе «море-колодец». Уравнение гидростатистики, связывающее давление с глубиной, имеет вид

$$\int_0^H g \cdot dH = \int_0^P V \cdot dP, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения;
 H – глубина залегания точки с давлением P ;
 V – удельный объём жидкости; $V = \frac{1}{\rho}$,
 ρ – плотность жидкости.

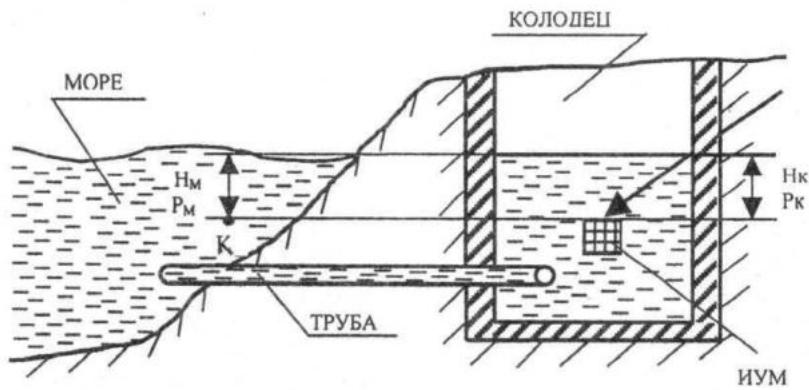


Рис. 1 - Упрощенный рисунок, поясняющий методику измерения уровня моря в уровнемерных колодцах

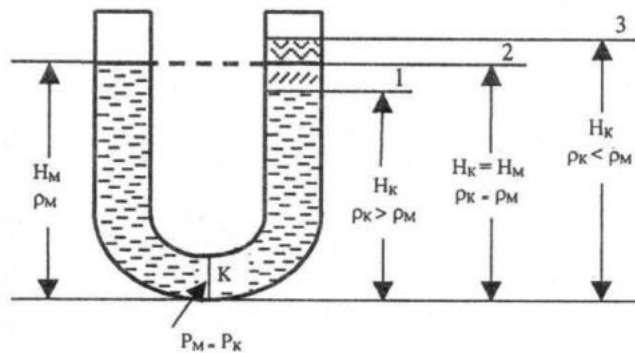


Рис. 2 - Схематическое пояснение изменчивости уровней жидкости в сообщающихся сосудах при различии плотности жидкости в этих сосудах

После интегрирования выражение (1) примет вид

$$H = \frac{\bar{V} \cdot P}{g} = \frac{P}{\bar{\rho} \cdot g}, \quad (2)$$

где \bar{V} , $\bar{\rho}$ - средний удельный объем и средняя плотность жидкости соответственно в слое от поверхности до глубины H .

Тогда для условий моря и колодца (H_M и H_K) глубины залегания точки с давлением P можно вычислить по следующим формулам

$$H_M = \frac{P}{\bar{\rho}_M} \cdot g; \quad (3)$$

$$H_K = \frac{P}{\bar{\rho}_K} \cdot g. \quad (4)$$

Различие уровней воды в море и колодце в точке с давлением P будет равно

$$\Delta H = H_K - H_M = \frac{P}{g} \cdot \left(\frac{\bar{\rho}_M - \bar{\rho}_K}{\bar{\rho}_M \cdot \bar{\rho}_K} \right). \quad (5)$$

Относительная погрешность измерения уровня моря в колодце и в море будет равна

$$\delta_H = \frac{\Delta H_{M-K}}{H_M} = \frac{(\bar{\rho}_M - \bar{\rho}_K)}{\bar{\rho}_K} = \frac{\Delta \bar{\rho}_{(M-K)}}{\bar{\rho}_K}. \quad (6)$$

Поскольку плотности $\bar{\rho}_M$ и $\bar{\rho}_K$ определяются средними значениями солёности и температуры в море $\bar{S}_M, \bar{t}_M, \bar{S}_K, \bar{t}_K$ соответственно, то $\Delta \rho_{M-K} = f(\Delta \bar{S}_{M-K}; \Delta \bar{t}_{M-K})$, где $\Delta \bar{S}_{M-K} = \bar{S}_M - \bar{S}_K$; $\Delta \bar{t}_{M-K} = \bar{t}_M - \bar{t}_K$.

В первом приближении $\Delta \rho_{M-K}$ можно вычислить по формуле

$$\Delta \bar{\rho}_{M-K} = \left(\frac{\partial \rho}{\partial S} \right)_t \cdot \Delta \bar{S}_{M-K} + \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} \right)_S \cdot \Delta \bar{t}_{M-K}. \quad (7)$$

Учитывая [1], что

$$\left[\left(\frac{\partial \rho}{\partial S} \right)_t \right] = [0,82 \div 0,75] (\text{кг}/\text{м}^3) / \text{е.п.с.} \text{ и}$$

$$\left[\left(\frac{\partial \rho}{\partial t} \right)_s \right] = [+0,1 \div (-0,35)] (\text{кг}/\text{м}) / ^\circ\text{C},$$

диапазон возможной изменчивости $\delta_H = (-1 \div \pm 3) \%$ при $\Delta S_{\text{м-к}} = \pm 40$ единиц практической солёности (е.п.с.); $\Delta t_{\text{м-к}} = \pm 30 ^\circ\text{C}$.

По результатам измерений температуры и солёности в колодцах на Павловском мысе в г. Севастополе и в п. Кацивели [2] максимальная разница в солёности воды в колодце и в море достигала $\Delta S_{\text{м-к}} = (13 \div 18)$ е.п.с., а разница в температуре $\Delta t_{\text{м-к}} = (8 \div 10) ^\circ\text{C}$, что соответствует значению $(\delta_H)_{\text{max}} = 1,1 \%$.

Вода в колодцах, как правило, менее солёная, чем в море. Это вызвано, вероятнее всего, попаданием в колодец пресных грунтовых либо дождевых вод. Температура воды в колодце на Павловском мысе в летнее время (август месяц) на $8-10 ^\circ\text{C}$ ниже, чем в море, а солёность оказалась на уровне $(0 \div 0,1)$ е.п.с. В п. Кацивели средняя температура за период измерения при наличии суточного хода на $1 ^\circ\text{C}$ медленно падала с 23 до $21 ^\circ\text{C}$ вне зависимости от дождя, а солёность в период дождя упала с 18 до 7 е.п.с. при солёности в море не ниже 17 е.п.с.

В результате проведённых исследований установлено, что измерение уровня воды в колодцах может приводить к ошибке в оценке реального уровня моря или его изменчивости до 3% . Это чисто методическая ошибка, несвязанная с классом точности используемого уровнемера и вызванная плохим обменом морской воды в колодце.

Для уменьшения этой методической погрешности можно предложить следующие меры:

1) обеспечить хороший обмен морской воды в колодце путём установки второй соединительной трубы и насоса для обеспечения принудительной циркуляции с вы-

ключением работы последнего перед измерением уровня (чтобы не создавать дополнительного напора);

2) производить дополнительные синхронные измерения температуры и солёности непосредственно в море на глубине установки гидростатического уровнемера в колодце. При этом в дополнительном измерителе не требуется канала измерения давления, а метрологические характеристики измерителей температуры и солёности должны быть такими же, как в измерителе уровня моря, расположенном в колодце.

Тогда ожидаемый уровень моря можно вычислить по следующей формуле

$$H_{\text{м}} = H_{\text{к}} + \Delta H = \frac{P}{\rho_x \cdot g} \left(1 + \frac{\overline{\rho_{\text{м}}} - \overline{\rho_{\text{к}}}}{\overline{\rho_{\text{м}}}} \right). \quad (8)$$

При этом погрешность измерения уровня моря по данным измерений в колодце практически не превысит инструментальной погрешности гидростатического уровнемера, например, типа ИУМ-1.

Оба предлагаемых варианта требуют дополнительных затрат на оборудование, но позволяют сохранить способность гидравлической системы уровнемерного колодца фильтровать высокочастотные колебания уровня моря, вызванные ветровым волнением.

При сопоставлении материалов, полученных синхронными измерениями уровня моря в открытом море и в колодцах, необходимо учитывать отличие этих методик.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.И.Забурдаев, П.В.Гайский, А.Н.Логвинчук. Требования к метрологическим характеристикам и алгоритмам обработки данных гидростатических измерителей уровня воды // Системы контроля окружающей среды. Сб. научн. тр. / НАН Украины. МГИ: – Севастополь, 2002. – С. 108 – 118.
2. Н.А.Греков, В.И.Забурдаев, А.В.Клименко, А.Н.Логвинчук, В.Ж.Мишуров, М.Н.Пеньков. Результаты исследовательских испытаний гидростатического уровнемера ИУМ-1 // Системы контроля окружающей среды. Сб. научн. тр. / НАН Украины. МГИ: – Севастополь, 2003. – С. 13 – 25.