

МЕТОД КОРРЕКЦИИ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ ВЕРТИКАЛИ В ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЯХ ПЛОТНОСТИ ВОДЫ

Н.А. Греков, Е.И. Жемков

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

Рассматривается применение дифференциальных датчиков давления для коррекции отклонения прибора от вертикали в гидростатических измерителях плотности. Предлагается конструкция, использующая данный метод.

Введение. В связи с введением нового термодинамического уравнения состояния морской воды (ГУС-10), в работе [1] были рассмотрены методы измерения плотности, пригодные для использования *in situ*. В частности рассматривались вибрационный, радиоизотопный методы, метод гидростатического баланса, и метод, использующий акустический сигнал. В данной статье предлагается развитие гидростатического метода, заключающегося в использовании дифференциальных датчиков давления, с помощью которого можно измерять градиент плотности в стационарном и зондирующем режимах как с движущегося судна, так и с платформ.

В этих приборах можно применить дифференциальные датчики давления таких фирм как: *Quartzdyne*, *Paroscientific Inc.*, ООО "КварцСенс" с погрешностями, не превышающими 0,05 % и разрешением не хуже 0,01 % [2].

Принцип действия измерителя основан на использовании основного уравнения гидростатики

$$P_H - P_B = \bar{\rho}gh, \quad (1)$$

где P_B , P_H – давление в верхней и нижней точках столба жидкости соответственно; $\bar{\rho}$ – средняя плотность столба жидкости высотой h , расположенного между двумя датчиками давления; g – ускорение свободного падения.

Для стационарных плотномеров, которые крепятся к стенкам резервуаров, высота столба h будет всегда постоянной. Для зондирующих приборов, которые крепятся гибкими кабелями к борту судна или платформы, величина столба жидкости может изменяться в зависимости от угла наклона плотномера.

В предлагаемом измерителе плотности отклонение от вертикальной оси определяется при помощи двух дополнительных дифференциальных датчиков давления 2 и 3, входы которых расположены на ортогональных осях в горизонтальной плоскости (рис. 1).

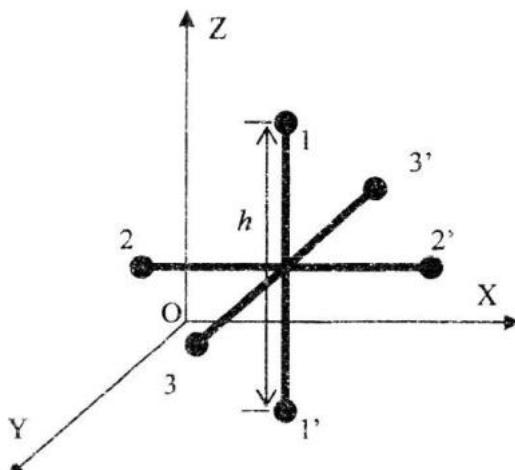


Рис. 1. Конструкция измерителя плотности
1-1', 2-2', 3-3' – входы первого, второго и
третьего дифференциальных датчиков дав-
ления соответственно

Корректировка измерения происходит следующим образом: когда прибор не наклонен, т.е. находится в нормальном положении – разность давлений между входами 2-го и 3-го дифференциальных датчиков равна 0, а между входами датчика 1 разность давлений ΔP_1 будет пропорциональна средней плотности $\bar{\rho}$ столба жидкости высотой h . Если вследствие влияния внешних факторов прибор наклонится, то между входами 2-го и 3-го дифференциальных датчиков давления появятся разности давлений ΔP_2 и ΔP_3 пропорциональные углу наклона прибора, а на входах датчика 1 разность давлений ΔP_1 изменится из-за уменьшения высоты столба жидкости h на величину Δh . При выполнении равенства базовых расстояний

$$l_1 = l_2 = l_3, \quad (2)$$

где l_1, l_2, l_3 – расстояния между входами первого, второго и третьего датчиков давления, значения давлений $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$ будут связаны с углами наклона прибора следующими соотношениями

$$\Delta P_1 = \Delta P_{\max} \cos \alpha \cdot \cos \beta, \quad (3)$$

$$\Delta P_2 = \Delta P_{\max} \sin \alpha \cdot \cos \beta, \quad (4)$$

$$\Delta P_3 = \Delta P_{\max} \sin \beta, \quad (5)$$

где ΔP_{\max} – значение давления между входами 1-1' первого датчика давления

$$\Delta P = \sqrt{\Delta P_{\max}^2 (\cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \beta + \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \beta + \sin^2 \beta)}, \quad (7)$$

после преобразования получим

$$\Delta P = \sqrt{\Delta P_{\max}^2}. \quad (8)$$

Как видно из (8) модуль вектора давления ΔP не зависит от угла наклона прибора, тогда средняя плотность жидкости может быть рассчитана по формуле

$$\bar{\rho} = \frac{\Delta P}{hg}, \quad (9)$$

где $h = l_1 = l_2 = l_3$.

Предложенная методика компенсации влияния наклона имеет преимущество перед конструкциями на MEMS гироскопах и инклинометрах, т.к. в гироскопах со временем происходит неконтролируемый уход нуля, а ошибки измерения инклинометров связаны с воздействием ускорения на плотномер во время его движения.

При измерении гидростатического давления необходимо учитывать то, что столб жидкости, находящийся в трубке, присоединенной к входу датчика давления, вносит погрешности при определении столба жидкости. Оценка этих погрешностей дана в [3].

Для устранения влияния этих погрешностей можно использовать присоединительные трубы, заполненные жидкостью с известной плотностью, и отличной от плотности воды, например глицерином.

На рис. 2 показана структурная схема гидростатического измерителя плотности воды.

при нормальном положении прибора; α – угол наклона прибора по оси OX; β – угол наклона прибора по оси OY.

Тогда модуль вектора давления, направленного вертикально, может быть вычислен по формуле

$$\Delta P = \sqrt{\Delta P_1^2 + \Delta P_2^2 + \Delta P_3^2}. \quad (6)$$

С учетом (3) – (5) запишем

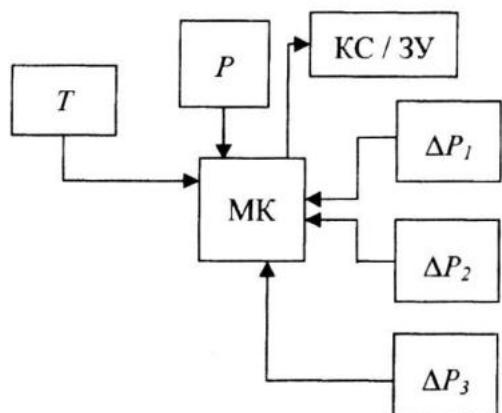


Рис. 2. Структурная схема гидростатического измерителя плотности
 T – канал измерения температуры; P – канал измерения абсолютного давления;
 $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$ – каналы измерения дифференциального давления;
МК – управляющий микроконтроллер;
КС/ЗУ – канал связи/запоминающее устройство

В качестве основных компонентов она может включать в себя:

- управляющий микроконтроллер серии MSP430, который опрашивает все датчики измерителя, проводит корректировку измерений, вычисляет плотность воды, формирует измерительный кадр, осуществляет запись измеренной информации в память и передачу измеренных данных в канал связи;

- три дифференциальных датчика давления типа ПДК(И)-Р-М с разрешением 0,005 % и основной приведенной погрешностью 0,04 %, с помощью которых проводятся измерения разности давления ΔP , определяют плотность воды и корректируют влияния вертикального отклонения прибора;

- в качестве датчика абсолютного

давления можно использовать датчик типа ПДК-Р-М, по показаниям которого определяется глубина погружения H измерителя плотности

$$H = \frac{P_A}{\rho_w \cdot g}, \quad (10)$$

где P_A – давление водяного столба над датчиком давления; ρ_w – плотность воды;

– для температурной коррекции измерений каналов давлений возможно использование стандартного измерительного канала температуры погрешностью, не превышающей 0,01 %, разработанного для гидроизонда [5]. В этом случае расширяются функциональные возможности прибора.

– канал связи необходим для передачи данных о давлении, температуре и плотности на бортовой блок в реальном масштабе времени, запоминающее устройство записывает измеренные данные для последующей обработки и анализа.

Алгоритм работы измерителя плотности представлен на рис. 3



Рис. 3. Алгоритм работы гидростатического измерителя плотности

Микроконтроллер последовательно опрашивает все измерительные каналы, формирует кадр с полученными данными и отправляет его в запоминающее устройство. Канал измерения температуры необходим для измерения температуры среды.

Заключение. Таким образом, использование в измерителе плотности 3-х дифференциальных датчиков давления позволяет расширить применение гидростатического метода измерения в океанографических исследованиях, а использование современной элементной базы в сочетании с прецизионными датчиками позволит реализовать точные измерения практически в реальном времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Греков А.Н., Греков Н.А., Возможности прямых измерений плотности вод *in situ* // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. – С. 61 – 64.
- Забурдаев В.И., Гайский П.В., Логвинчук А.Н. Требования к метрологическим характеристикам и алгоритмам обработки данных гидростатических измерителей уровня воды // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2002. – С. 108 – 118.
- Греков А.Н., Греков Н.А., Строганов А.С. Автоматизированный гидродинамический волнограф // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. – С. 52 – 57.
- Глыбин И.П. Автоматические плотномеры и концентратомеры в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 270 с.
- Гайский В.А., Греков Н.А., Мишуров В.Ж., Гайский П.В., Забурдаев В.И., Кузьмин К.А., Каширин С.В., Трофименко В.А. Гидрохимический зонд ГХЗ-1 // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2007. – С. 19 – 27.