

## МЕТОДЫ АВТОКОРРЕКЦИИ ПОКАЗАНИЙ ПРОЗРАЧНОМЕРА ДЛЯ МОРСКОЙ ПРИБРЕЖНОЙ СТАНЦИИ

*М.Н. Пеньков*

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

*Рассматриваются возможные способы внесения поправок в показания, учитывающих уход характеристик элементов схемы.*

Из опыта эксплуатации зондирующих прозрачномеров в экспедиционных условиях известно, что возникает необходимость их периодической калибровки. Такая калибровка обычно проводится в экспедициях.

При стационарных постановках на длительный период на прибрежных станциях такая возможность не представляется.

Рассмотрим возможные методы автокоррекции с использованием вычислительных ресурсов прозрачномера и центрального модуля станции.

Основными факторами, влияющими на уход калибровочной кривой в процессе эксплуатации, являются: температура, механические повреждения, загрязнение иллюминаторов, старение светодиодов и др.

Максимальный вклад в температурный уход вносится фотоприёмником. Паспортные данные фотоприёмников говорят о том, что изменения тока составляют до 100% в диапазоне 0 – 30 °С. Этот уход обуславливается линейным температурным расширением кристалла фотодиода.

Возможны несколько способов компенсации этой погрешности: конструктивные и программный.

Конструкция двухлучевого прозрачномера ИП-1 [1] позволяет частично скомпенсировать эту погрешность за счёт того, что мы берём отношения сигналов двух лучей. Недостатком является практическая невозможность подбора двух одинаковых фотоприёмников.

В прозрачномере ИП-2 [2] используется тот же метод отношений, но с одним фотоприёмником, что позволяет более точно скомпенсировать температурную составляющую погрешности.

Программный метод представляет прямой учёт геометрического расширения за счёт аппроксимации температурной зависимости тока фотоприёмника полиномом первого порядка по паспортным данным фотоприёмника.

Механические повреждения неизбежны в процессе эксплуатации прибора. Они представляют собой изменения в конструкции за счёт ударов, тряски и прочих внешних механических воздействий. Следствием этого могут быть смещения оптических осей.

Оптические погрешности возникают за счёт воздействия на иллюминаторы как механических факторов (например, песка), так и обрастания при длительной постановке.

Для предотвращения обрастания предусматривается покрытие фланцев противообрастающей краской. Диффузия биоцидов из краски в область иллюминаторов будет препятствовать их обрастанию. Для увеличения концентрации биоцида на иллюминаторах могут быть установлены бленды длиной 10–20 мм, окрашенные изнутри противообрастающей краской [3].

Фирма S::CAN применяет водно-воздушную смесь, которая под высоким давлением периодически оmyвает иллюминаторы. При этом для предотвращения повреждения поверхности иллюминаторов вследствие кавитации пузырьков их изготавливают из сапфира.

В технических описаниях на светоизлучающие диоды, упоминается такой фактор, как старение светоизлучающих элементов. Оно составляет примерно 1 % на 1000 часов при непрерывной работе. Это при необходимом отборе, который проводится фирмами. При постановке на МПС работа прозрачномера практически непрерывна.

Таким образом, трёхмесячный интервал между профилактическими осмотрами приведёт к падению интенсивности светоизлучателя примерно на 3 %, что уже будет на грани точности самого прибора.

В процессе эксплуатации и текущего обслуживания возможна частичная программная корректировка некоторых погрешностей измерения. Для этого необходима предварительная дополнительная калибровка прозрачномера.

При проведении калибровки по стандартной методике производится расчёт коэффициента ослабления  $\epsilon^{-1}$  в зависимости

от стандартных фильтров, калиброванных по оптической плотности  $D$ .

При этом производится перерасчёт уровня сигнала на фотоприёмнике в коэффициент ослабления полиномом первого порядка

$$\varepsilon^l = a_0 + a_1 f(U_\phi), \quad (1)$$

где  $U_\phi$  – напряжение на фотодиоде.

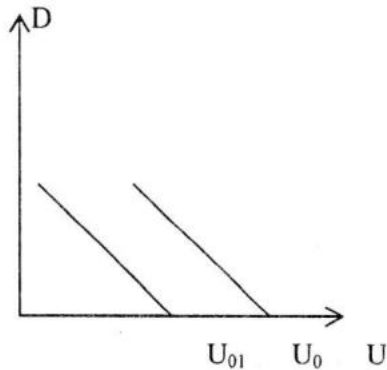


Рисунок 1 – Зависимость измеренной оптической плотности от напряжения на фотодиоде:  $U_0$  – напряжение на фотодиоде (на воздухе  $D=0$ ) и  $U_{01}$  – уход напряжения за счёт старения

При проведении стандартной калибровки фотодиода, напряжение на светодиоде, задаваемое ЦАПом, остаётся постоянным.

Предлагается проведение дополнительной калибровки по интенсивности свечения излучателя для эталонного канала.

При известной плотности воздуха  $D = 0$  в эталонном канале можно путём добавки напряжения на светодиоде, увеличением кода ЦАПа, добиться прежнего показания на фотодиоде.

Ток, протекающий через источник излучения, определяется эталоном напряжения на микроконтроллере. Точность эталона составляет 0,04 %. Управляющее напряжение вырабатывает 12-разрядный ЦАП микроконтроллера.

Поскольку мы имеем линейную зависимость между интенсивностью излучения на светодиоде  $I_0$  и напряжением на фотодиоде  $U_\phi$ , в диапазоне  $D = 0 \div 1$ , изменение интенсивности излучения при помощи кода ЦАП при 12-ти разрядах позволяет изменять напряжение на выходе ЦАПа на 4,88 мВ/бит.

При диапазоне входного сигнала на входе АЦП 0,5÷5 В, т.е. при чувствительности 1,2 мВ/бит.

Уход на 1 %  $I_0$  источника света соответствует эквивалентному уходу на 10 квантов напряжению на выходе ЦАПа – 48 мВ.

Таким образом, изменение выходного напряжения на ЦАПе позволяет корректировать  $I_0$  на 0,1 %.

Так как калибровка прозрачномера по фильтрам в полевых условиях затруднена, калибровочные коэффициенты могут быть определены в этом случае путём измерения показателя ослабления в воде с известными характеристиками. Прибор помещается в баллон с такой водой. В качестве «эталона» может быть чистая вода из скважин, например, «Оболонь». Свойства её исследовались в [5]. Показатель ослабления воды может быть заранее измерен лабораторным прозрачномером [4].

Производим расчёт по калибровочным коэффициентам  $a_0$  и  $a_1$ . Со временем это измерение будет иметь некоторую дополнительную погрешность  $\Delta\varepsilon^l$ . Её величина определяется факторами, перечисленными в начале статьи

$$\varepsilon_{\text{выч.}} = \varepsilon_{\text{ист.}} - \Delta\varepsilon, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{\text{выч.}}$  – значение коэффициента ослабления, вычисленного по калибровочным коэффициентам, а  $\varepsilon_{\text{ист.}}$  – значение коэффициента ослабления среды.

Подобного рода действия возможны в период между периодической проверкой, указанной в техническом описании, и носят оперативный характер.

Разница между показаниями прозрачномера и измеренной в лабораторных условиях водой, является поправкой, которую необходимо учитывать.

Коррекция может быть произведена прямой поправкой вычисленного значения без пересчёта коэффициентов до следующей лабораторной калибровки.

Если есть необходимость очистки от сильного загрязнения иллюминаторов, то после очистки, без фильтров на воздухе может быть проведена коррекция измеряемого значения  $D$  способом дискретного изменения тока светодиода на калиброванную величину. Такой способ позволяет измерить сдвиг на характеристике  $D = f(U_\phi)$  рабочей точки, и внести поправку при измерении на эту величину.

Существует ещё один фактор, который может повлиять на точность измерения при оптических плотностях близких к верхней границе измерителя.

Фотоприёмник имеет нелинейность в начальной области при оптических плотностях близких к верхней границе измерителя и возможен уход рабочей точки в зону нелинейности фотоприёмника.

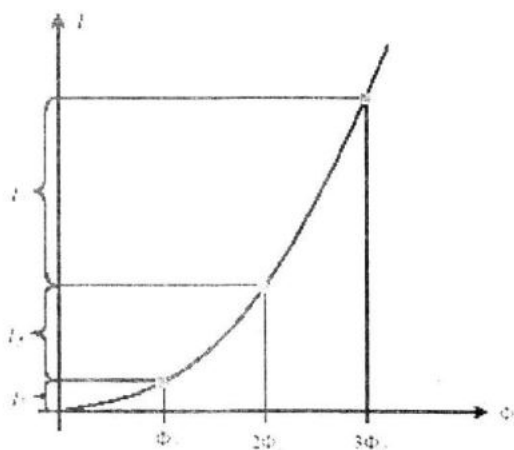


Рисунок 2 – Характеристика фотодиода ФД-263

В [6] рассматривается способ уменьшения этой погрешности измерения путём стабилизации рабочей точки фотоприёмника по уровню внешней засветки при помощи дополнительного смещения рабочей точки. Рабочая точка дополнительного источника смещения может регулироваться вторым ЦАПом, а её величина вычисляться за счёт микроконтроллером прибора.

Указанный способ был применён в портативном анализаторе АФП-01 [6], в результате которого была получена погрешность от нелинейности фотоприёмника не более  $\pm 0,001$  по оптической плотности.

Применяя данный способ стабилизации с пересчитанной внутренним контроллером поправкой смещения на старение, а при

проведении оперативной калибровки и на загрязнение, можно добиться увеличения точности измерения в течение постановочного периода.

Указанные способы требуют наличия двух ЦАПов. Микроконтроллеры фирмы Analog Device серии ADUC841, которые имеют несколько 12-разрядных АЦП и два 12-разрядных ЦАПа, обладают подобными возможностями, а имея производительность 25 MIPS – и достаточными вычислительными ресурсами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Гайский, Н.А. Греков, П.В. Гайский и др. Морская прибрежная станция БРИЗ-1 // Системы контроля окружающей среды – 2006 г. – Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика. 2006. – С. 9–23.
2. В.И. Маньковский, М.Н. Пеньков, А.С. Бондаренко. Прозрачномер для морской прибрежной станции // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика. 2004. – С. 37–39.
3. Ю.А. Горбенко и др. Действия противобрастаемых красок на морских объектах. – Киев: Наукова Думка. 1991.
4. В.И. Маньковский, М.Н. Кайгородов. Лабораторный автокалибрационный прозрачномер с переменной базой // Автоматизация научных исследований морей и океанов. 5-я Всесоюзная школа. МГИ АН УССР – Севастополь, 1980. – С. 91–92.
5. Д.В. Яковлева, О.М. Мартынов. Исследование параметров рассеяния ультрафильтрованных природных вод // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика. 2006. – С. 110–113.
6. А.И. Иванов, Ф.Д. Абрамов. Усилитель фототока с коррекцией нелинейности фотоприёмника // Факультет авиационного приборостроения – УГАТУ, Научные сообщения, УДК 621.384. – С. 201–203.