

УДК 621.3

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТУРБИДИМЕТРА С АДАПТИВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

М. М. СОТНИК, А. А. АФАНАСЬЕВ

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

UDC 621.3

DEVELOPMENT AND STUDY OF THE CONVERSION FUNCTION OF A TURBIDIMETER WITH ADAPTIVE PARAMETERS

M. M. SOTNIK, A. A. AFANASIEV

Аннотация. Разработана структурная схема двухканального оптико-электронного преобразователя турбидиметра, составлена и исследована его функция преобразования. Показано, что разбиение диапазона измерения и индивидуальная установка параметров преобразователя обеспечивают квазилинейность функции преобразования и высокую чувствительность для каждого поддиапазона.

Ключевые слова: мутность, турбидиметр, оптико-электронный преобразователь, функция преобразования.

Abstract. A block diagram of a two-channel optical-electronic converter of a turbidimeter has been developed, its conversion function has been compiled and studied. It is shown that the division of the measurement range and the individual setting of the transducer parameters ensure the quasi-linearity of the transform function and high sensitivity for each subrange.

Keywords: turbidity, turbidimeter, optical-electronic converter, conversion function.

Большинство жидкостей, используемых человеком в процессе своей жизнедеятельности, существует в виде жидких дисперсных сред: эмульсий, суспензий, коллоидных растворов. Информацию о концентрации взвешенных частиц используют для управления многими технологическими процессами, экологического мониторинга, в научных исследованиях. Взвешенные в жидкости твердые частицы нарушают прохождение света через образец и создают количественную характеристику объекта контроля, называемую мутностью. Мутность можно также рассматривать как характеристику относительной прозрачности жидкости.

Работа мутномеров основана на каком-либо из методов, составляющих большую группу фотометрических методов анализа. Чаще всего мутность определяют турбидиметрическим методом с помощью соответствующих средств измерения, в которых фотоприемник расположен на оси излучения и регистрирует проходящее через контролируруемую жидкость ослабленное излучение.

Основным аналитическим выражением для турбидиметрического метода является выражение, связывающее интенсивность прошедшего через мутную среду света с концентрацией взвешенных частиц [1]:

$$I = I_0 e^{-\varepsilon_\lambda CL} = I_0 e^{-\tau L}, \quad (1)$$

где I , I_0 – интенсивности падающего и прошедшего через слой среды потоков соответственно; ε_λ – удельная экстинкция – параметр, показывающий ослабление света на единичной толщине зондируемого слоя в среде с единичной концентрацией дисперсной фазы на данной длине волны λ ; C – концентрации взвешенных частиц; L – толщина зондируемого слоя (длина оптического пути в контролируемой жидкости).

Величина

$$\tau = \varepsilon_\lambda C, \quad (2)$$

называемая мутностью, связывает светопропускание $T = I/I_0$ в слое мутной среды с толщиной L этого слоя.

Конструктивным параметром, определяющим как чувствительность, так и линейность турбидиметра, является длина оптического пути L . С ростом длины оптического пути растет чувствительность, но в ущерб линейности показаний из-за множественного рассеяния и поглощения. И наоборот, с уменьшением длины оптического пути растет линейность, но падает чувствительность прибора в области низких концентраций. Короткий оптический путь также увеличивает воздействие постороннего света. Эту проблему в турбидиметрах решают, изменяя длину оптического пути [2, 3].

В турбидиметрах используются как одноканальные оптические схемы, так и двухканальные [4, 5]. Последние обеспечивают более высокую точность измерений, однако и для них характерна высокая нелинейность функции преобразования.

Рассмотрим структурную схему двухканального оптико-электронного измерительного преобразователя (ОЭИП) турбидиметра (рис. 1).

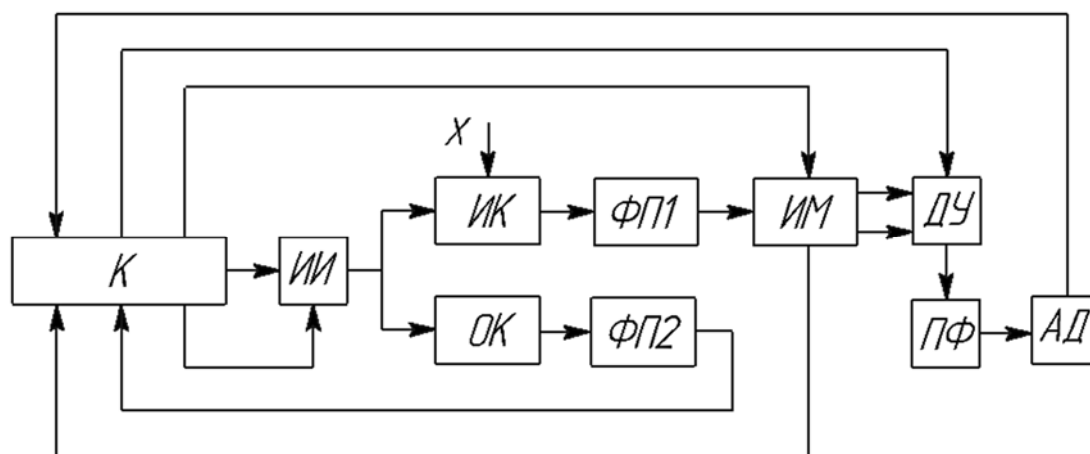


Рис. 1. Структурная схема двухканального оптико-электронного измерительного преобразователя турбидиметра

ОЭИП имеет источник излучения (ИИ), управляемый контроллером (К), измерительный и опорный каналы (ИК и ОК), фотоприемник (ФП1) в ИК и фотоприемник (ФП2) в ОК, измерительный мост (ИМ), дифференциальный усилитель (ДУ), полосовой фильтр (ПФ) и амплитудный детектор (АД). Контроллер обеспечивает в процессе измерений автоматический контроль и управление параметрами ИИ, ИМ и ДУ.

Отклонения потока излучения в ОК, не связанные с измеряемой величиной, регистрируются ФП2 и восстанавливаются контроллером до первоначального значения.

Сигнал с выхода АД, функционально связанный с контролируемым параметром X (мутностью τ), поступает на вход аналого-цифрового преобразователя, встроенного в К для дальнейшего преобразования и обработки полученной измерительной информации.

Схема включения ФП1 в состав ИМ (рис. 2) позволяет сформировать в его диагонали напряжение $U_{ИМ}(\tau)$.

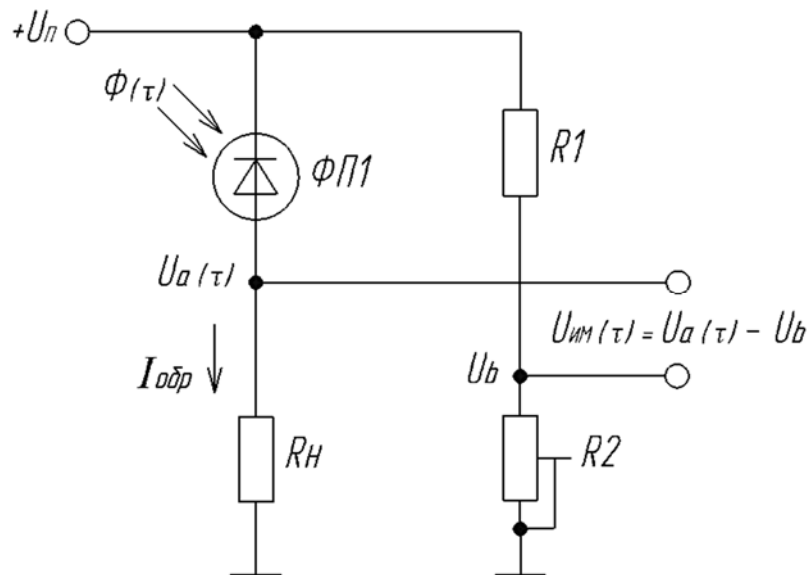


Рис. 2. Схема включения ФП1 в состав ИМ

$$U_{ИМ}(\tau) = U_a(\tau) - U_b = \Phi(\tau) S_{ФП1} \cdot R_H - U_{п} R_2 / (R_1 + R_2), \quad (3)$$

где $\Phi(\tau)$ – поток излучения, падающий на фотоприемник ФП1; $S_{ФП1}$ – спектральная чувствительность фотоприемника ФП1. Его величиной можно управлять с помощью К, изменяя сопротивление резистора R_2 .

Напряжение на выходе ОЭИП

$$U_{ОЭИП}(\tau) = U_{ИМ} \cdot K_y \cdot e^{-\tau L}, \quad (4)$$

где K_y – коэффициент усиления ДУ.

Исследование функции преобразования (4) при значении оптической базы $L = 5$ мм (рис. 3) и $L = 10$ мм (рис. 4) при постоянном значении коэффициента усиления ДУ $K_y = 2,2$ и значениях $U_{ИМ1} = 2,2$ В (при $\Phi(\tau) = \Phi_{\max}$), $U_{ИМ2} = 1,8$ В

(при $\Phi(\tau) = 0,9\Phi_{\max}$), $U_{ИМ3} = 1,41$ В (при $\Phi(\tau) = 0,8\Phi_{\max}$) и $U_{ИМ4} = 0,62$ В (при $\Phi(\tau) = 0,6\Phi_{\max}$) для τ , изменяющегося в диапазоне от 0 до 0,4, показывает, что при изменении мощности потока излучения нелинейность сохраняется во всем исследуемом диапазоне мутности τ , причем чувствительность метода резко падает при $\tau > 0,2$ с увеличением оптической базы L и снижением мощности излучения.

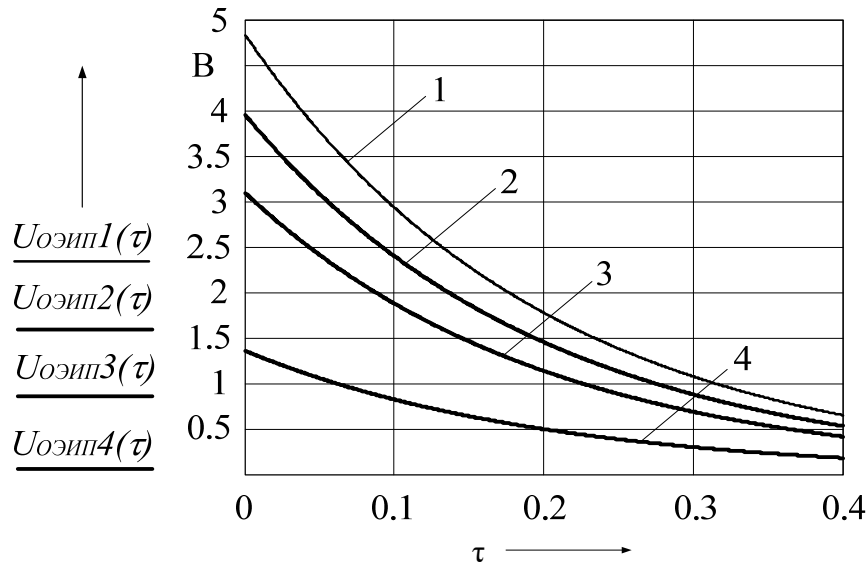


Рис. 3. Зависимость выходного напряжения *ОЭИП* от мутности для $L = 5$ мм при разных значениях мощности потока излучения $\Phi(\tau)$

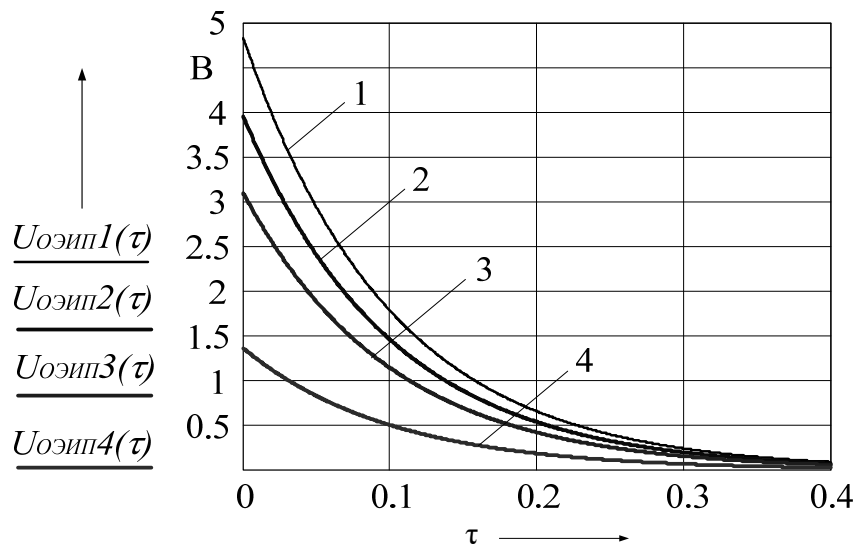


Рис. 4. Зависимость выходного напряжения *ОЭИП* от мутности для $L = 10$ мм при разных значениях мощности потока излучения $\Phi(\tau)$

Получить квазилинейную зависимость функции преобразования можно, разделив диапазон значений τ на поддиапазоны ($\tau_1 = 0 \dots 0,1$; $\tau_2 = 0,1 \dots 0,2$; $\tau_3 = 0,2 \dots 0,3$; $\tau_4 = 0,3 \dots 0,4$) с установкой для каждого поддиапазона соответствующего коэффициента усиления ДУ и мощности излучения. Исследование функции (4) выполним для $L = 5$ мм.

В поддиапазоне $\tau_1 = 0 \dots 0,1$ при $K_{y1} = 8$ и $U_{им1} = 0,62$ В (при $\Phi = 0,6\Phi_{max}$) зависимость выходного напряжения $U_{OЭИП1}(\tau_1)$ имеет следующий вид (рис. 5).

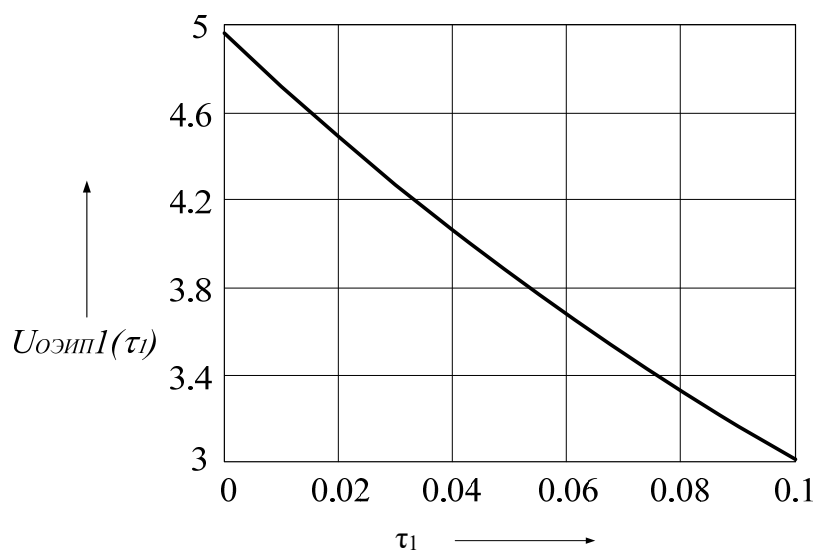


Рис. 5. Зависимость выходного напряжения *ОЭИП* от мутности в поддиапазоне $\tau_1 = 0 \dots 0,1$

В поддиапазоне $\tau_2 = 0,1 \dots 0,2$ при $K_{y2} = 5,8$ и $U_{им2} = 1,41$ В (при $\Phi = 0,8\Phi_{max}$) зависимость выходного напряжения $U_{OЭИП2}(\tau_2)$ имеет вид, показанный на рис. 6.

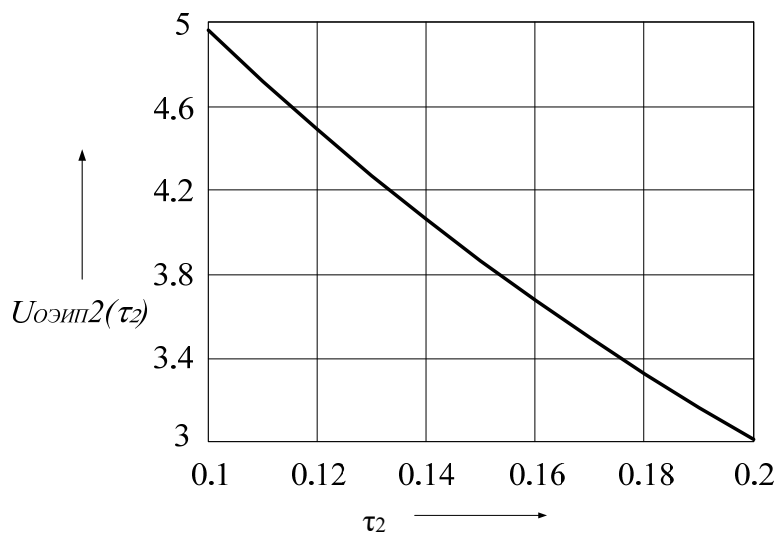


Рис. 6. Зависимость выходного напряжения *ОЭИП* от мутности в поддиапазоне $\tau_2 = 0,1 \dots 0,2$

В поддиапазоне $\tau_3 = 0,2 \dots 0,3$ при $K_{y3} = 7,5$ и $U_{им3} = 1,8$ В (при $\Phi = 0,9\Phi_{max}$) зависимость выходного напряжения $U_{OЭИП3}(\tau_3)$ имеет следующий вид (рис. 7).

В поддиапазоне $\tau_4 = 0,3 \dots 0,4$ при $K_{y4} = 10$ и $U_{им4} = 2,2$ В (при $\Phi = \Phi_{max}$) зависимость выходного напряжения $U_{OЭИП4}(\tau_4)$ представлена на рис. 8.

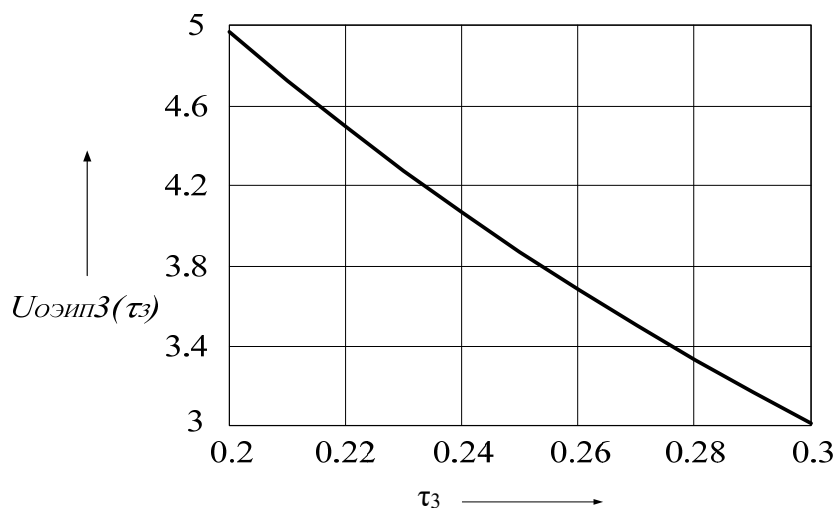


Рис. 7. Зависимость выходного напряжения *ОЭИП* от мутности в поддиапазоне $\tau_3 = 0,2 \dots 0,3$

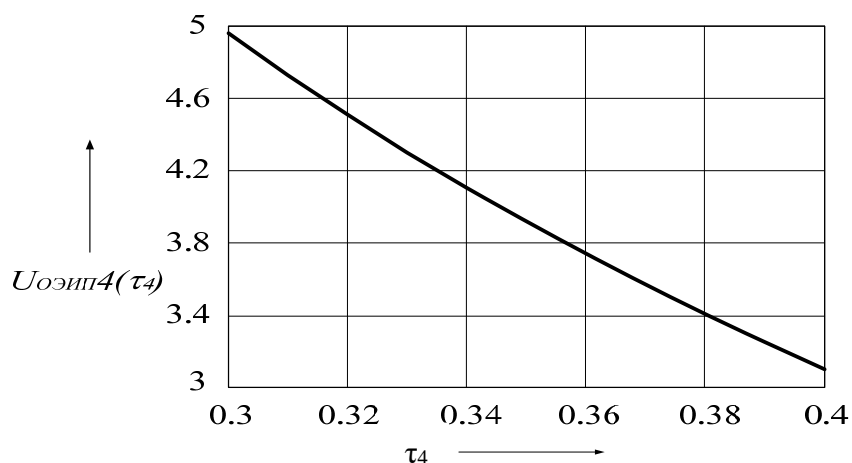


Рис. 8. Зависимость выходного напряжения *ОЭИП* от мутности в поддиапазоне $\tau_4 = 0,3 \dots 0,4$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов, М. И. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа / М. И. Булатов, И. П. Калинин. – 5-е изд., перераб. – Ленинград: Химия, 1986. – 432 с.
2. Устройство для определения концентрации взвесей в жидкости: а. с. SU 1533482 / А. А. Афанасьев, В. Н. Усик, И. В. Мисник, А. П. Марков, А. П. Гапеев. – Оpubл. 01.09.1989.
3. Фетисов, В. С. Фотометрические полевые средства измерений концентрации жидких дисперсных систем / В. С. Фетисов. – Уфа : УГАТУ, 2005. – 233 с.
4. Устройство для измерения концентрации взвесей в жидкости: а. с. SU 1100543 / П. И. Марков, Н. П. Бусел, А. А. Афанасьев, И. Ф. Александрович. – Оpubл. 30.06.1984.
5. Афанасьев, А. А. Двухканальный оптоэлектронный преобразователь для средств фотометрического контроля / А. А. Афанасьев, М. М. Сотник, В. В. Писарик // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21–22 апр. 2022 г. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2022. – С. 310.