

Мамадалиев Махаммаджон Ахмадалиевич ассистент
Андижанский государственный технический институт,
Республика Узбекистан, г.Андижан
Orcid id: ORCID ID: 0009-0004-2189-0994

**ИСПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК В
ОПРЕДЕЛЕНИИ ОБЩИХ ФАЗ
“CORRECTION OF SYSTEMATIC ERRORS IN THE DETERMINATION
OF COMMON PHASES.”**

Аннотация

В данной работе рассматриваются природа и источники систематических ошибок, возникающих при определении общих фаз в измерительных и экспериментальных процессах. Проведён анализ влияния инструментальных, методических и внешних факторов на точность получаемых результатов. Описаны методы обнаружения и коррекции систематических ошибок, включая калибровку измерительных приборов, введение поправочных коэффициентов и статистическую обработку данных.

Annotation

This paper examines the nature and sources of systematic errors that arise in the determination of common phases during measurement and experimental processes. The influence of instrumental, methodological, and external factors on the accuracy of obtained results is analyzed. Methods for detecting and correcting systematic errors, such as instrument calibration, application of correction coefficients, and statistical data processing, are described.

Ключевые слова: систематические ошибки, определение фаз, точность измерений, калибровка, коррекция ошибок, экспериментальные методы, обработка данных, надёжность, анализ неопределённости, прецизионность.

Keywords: Systematic errors, phase determination, measurement accuracy, calibration, error correction, experimental methods, data processing, reliability, uncertainty analysis, precision.

Введение.

Определение общей фазы-это процесс измерения фазового сдвига или абсолютного значения фазы сигнала. Этот метод применяется в геодезии, оптической интерферометрии, радиолокации, физических экспериментах и во многих других областях. Точность таких измерений во многом зависит от уменьшения систематических ошибок или их полного устранения.

Систематические ошибки-это такие погрешности, которые постоянно или закономерно влияют на результаты измерений. Они не являются случайными и при повторении измерений в одинаковых условиях имеют одно и то же значение или изменяются по определённому закону. В результате в измерениях появляются постоянные отклонения.

Развитие современных технологий невозможно без совершенствования высокоточных систем. Основным элементов лазерных интерференционных систем является интерферометр, осуществляющий сравнение объектного и опорного волновых полей. Поле яркости $I(x, y)$, возникающее при интерференции опорного и объектного оптических полей описывается выражением

$$I(x, y) = A(x, y) + B(x, y) \cos(\Phi(x, y)),$$

где $A(x, y)$ – средняя яркость, $B(x, y)$ – амплитуда интерференционных полос; $\Phi(x, y)$ – поле фазовых разностей интерферирующих оптических полей (полная фаза):

$$\Phi(x, y) = \varphi(x, y) + 2\pi N(x, y).$$

Здесь $N(x, y)$ – число целых периодов 2π , укладывающихся в полную оптическую разность фаз $\Phi(x, y)$, и зависящих от геометрии схемы интерферометра и длины волны излучения лазера λ $\Phi(x, y)$ – локальная фаза, являющаяся дробной частью фазы $\Phi(x, y)$. Далее для упрощения изложения координаты (x, y) опускаем.

Определение целого числа периодов N называется устранением фазовой неоднозначности. Существует большое количество алгоритмов, реализующих данный подход. Как правило, эти алгоритмы основаны на оценке разрывов локальных фаз φ и выборе пути пространственного интегрирования таким образом, чтобы область интегрирования не содержала разрывы, либо суммировании поправочных коэффициентов, пропорциональных количеству разрывов, с учетом их знака. Очевидно, что в случае ошибки определения местоположения скачков происходит накопление ошибок и в связи с этим ограничение возможного диапазона измерений. Кроме того, данные методы не позволяют обнаружить скачок фазы, превышающий 2π , что является принципиальным ограничением одночастотных интерференционных систем. В работе предложен способ целочисленной интерферометрии, позволяющий реконструировать полную фазу Φ непосредственно по значениям локальных фаз φ , используя

несколько длин волн лазера. Такой подход способствует устранению отмеченных недостатков, но весьма чувствителен к ошибкам измерения локальных фаз φ .

Вместо разности фаз интерферирующих волн Φ удобно в расчетах ввести в рассмотрение пропорциональную ей величину Λ -оптическую разность хода (далее-разность хода). Полная разность хода Λ связана с полной фазой Φ :

$$\Lambda = (\lambda / 2\pi) \Phi = (\lambda / 2\pi) (\varphi + 2\pi N) = \delta + \lambda N,$$

где δ -локальная разность хода, соответствующая локальной фазе φ (эта величина изменяется от нуля до цены интерференционной полосы в длинах волн). Измеренные значения локальных фаз φ переводятся в локальные разности хода δ , которые выражаются в виде целых значений с числом знаков, обеспечивающих необходимую точность измерения.

Для определения OPD требуется найти решение целочисленной системы сравнений

$$\Lambda \equiv \delta_1 \bmod m_1,$$

$$\Lambda \equiv \delta_2 \bmod m_2.$$

Решение этой системы можно представить в виде траектории на комплексной плоскости (δ_1, δ_2) (рис. 1). Максимальная длина траектории $L_{\max} = m_1 \times m_2 - 1$ задает динамический диапазон однозначного определения Λ_{\max} . Расстояние между соседними диагоналями траектории $\delta L > L_1$. Например, если $m_1 = 633$, $m_2 = 488$ (что соответствует линиям генерации He-Ne и Лазеров) и $L_{\max} = 10m_2$, то $\delta L = 52$.

При неточном определении исходных значений $\delta_{1,2}^0 = \delta_{1,2} + \varepsilon_{1,2}$ решения системы сравнений приводит к грубым ошибкам, так как разность хода Λ , соответствующая δ_1 и δ_2 , на комплексной плоскости будет больше Λ_{\max} . Если точка на комплексной плоскости, соответствующая δ_1 и δ_2 , отклоняется от ближайшей диагонали траектории на величину не более $\delta L/2$, данную ошибку можно компенсировать.

Наибольший вклад в искомую погрешность дает отклонение профиля интерференционных полос от вида выражения. Чаще всего отклонения этой зависимости от к синусоидальной формы вызывается стеклообразной структурой изображения при когерентном освещении.

Целью предлагаемой работы является модификация базового метода для повышения его устойчивости к ошибкам измерений, связанным с использованием профиля интерференционных полос.

Методы.

Для устранения ошибок при искажении профиля полос необходима поэтапно:

1. Вычислить разность локальных разностей хода: $\Delta = \delta_1 - \delta_2$;
2. Найти изотропные области, т.е области интерферограммы, в которых выполняется условие $\Delta = \text{const}$.

Следует отметить, что погрешности определения границ изотопных областей, возникающие в отдельных точках, и обусловленные малым соотношением сигнал/шум разностей хода, носят локальный характер и не распространяются на соседние области.

3. Вычислить оценку разности в изотропных областях. В отсутствие шумов разность Δ является кусочно-постоянной функцией, независимо от закона изменения OPD. Без потери устойчивости на этапе коррекции допустимо отклонение оценки разности не величину, не превышающую половины расстояния между диагоналями 1 и 3 линии сигналов 2 (см. рис. 1)

4. Сформировать фазовые плоскости $(\Delta_1 \delta_2)$, $(\Gamma_1 \delta_2)$, (δ_1, Γ_2) по следующему правилу:

$$\begin{aligned} \Gamma_1 &= \delta_2 + \Delta_j, \\ \{\delta_1 + \Delta_j, &\text{ если } \delta_1 - \delta_2 \geq 0, \\ \delta_1 - \Delta_j + m_2, &\text{ иначе.} \end{aligned}$$

5. Скорректировать разности хода на фазовой плоскости и определить полную разность хода (OPD) по основному алгоритму.

Результаты.

Экспериментальная проверка производилась путем измерения рельефа эталонного объекта основным и предлагаемым способами [1]. Оптическая схема лазерной интерферометрической системы приведена.

На третьем этапе производилось формирование фазовых плоскостей (ϕ_1, ϕ_2) по базовому методу фазовых плоскостей (ϕ_1, ϕ_2) и (ϕ_1, ϕ_2) и вычисления соответствующих им полных фаз Φ_1 и Φ_2 по модифицированному методу (рис. 5, а–ф). Результаты коррекции траектории полной фазы до ближайшей разрешённой диагонали линии сигналов (по правилам (4), (6)) для базового и модифицированного методов показаны на

рис. 5, b, d, f. Из рис. 5, b видно, что результирующая погрешность полной фазы для базового метода много больше длины волны λ из-за наличия грубых ошибок, вызванных искажением профиля интерференционных полос при коррекции фазы.

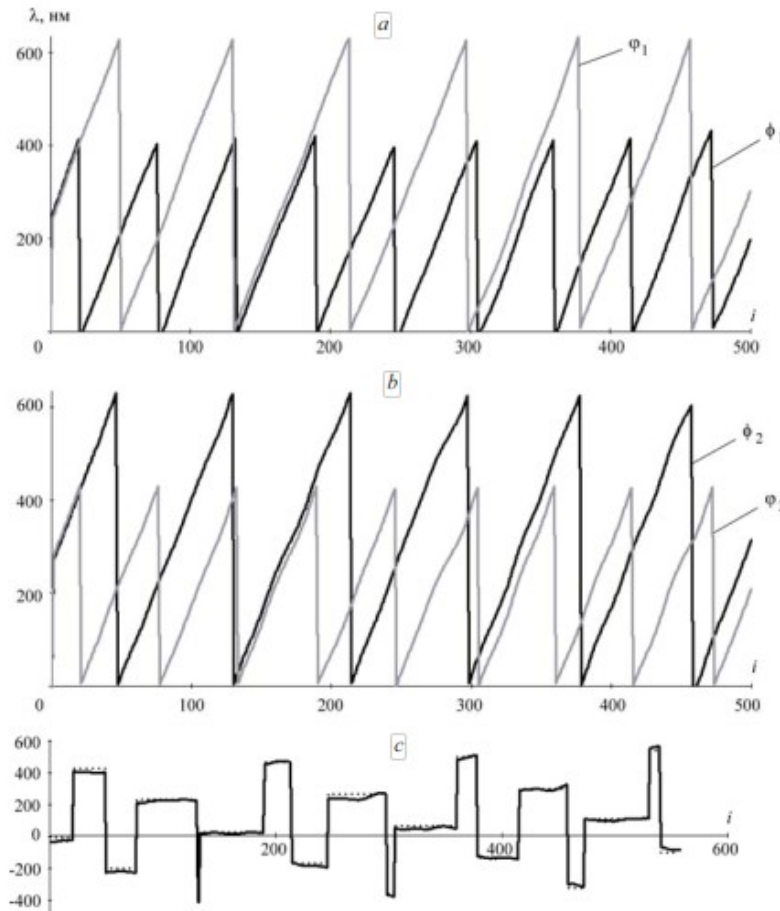


Рис.1.Фазовые профили второго этапа: профили фаз Φ_1 и Φ_2 и соответствующие им синтезированные фазы ϕ_1 , ϕ_2 (a,b), разность фаз $\Delta\phi$ (c).

Погрешность измерения полной фазы после устранения фазовой неоднозначности по модифицированному методу не превышает погрешности измерения локальных фаз, что следует из рис. 5, d, f.

Обсуждения.

Таким образом, результаты экспериментальной проверки модифицированного метода показывают, что предлагаемый в данной работе алгоритм коррекции фазовой неоднозначности позволяет устранить грубые ошибки, связанные с искажением профиля интерференционных полос.

ЛИТЕРАТУРЫ

1.Гужов В. И., Ильиных С. П. Компьютерная интерферометрия. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.

2.Ильиных С. П., Гужов В. И., Кафидова Н. Е., Бочаров Д. Д. Робастный алгоритм расшифровки интерферограмм // Автометрия. — 2005. — Т. 41, № 3. — С. 122.

3.Вайнштейн Л. А., Зубаков Б. Д. Выделение сигналов на фоне случайных помех. — М.: Сов. радио, 1957.

4.Заездный А. М. Основы расчетов по статистической радиотехнике. — М.: Связь, 1969.