

$$\sum_{j=4}^7 x_{1j} = 400 - x_1^*, \quad \sum_{j=4}^7 x_{2j} = 800 - x_2^*, \quad \sum_{j=4}^7 x_{3j} = 700 - x_3^*, \quad \sum_{j=4}^7 x_{4j} = 500 - x_4^*, \quad (39)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i \in I, \quad j=4,5,6,7. \quad (40)$$

Из решения задачи (33)-(36) при  $\omega=I$  определим схему перевозок  $|x_{ij}|_{I,3}$  и объем угля  $i$ -го предприятия ассоциации, направляемое потребителям по договору  $x_i^* \geq 0, i \in I$ .

Далее, из оптимального решения задачи (37)-(40) определим план  $|x_{ij}^*|_{I,4}$  и чистый доход, получаемый предприятиями ассоциации от обслуживания оптовых покупателей, т.е. величину  $\sum_{i \in I} \sum_{j=4}^7 d_{ij} x_{ij}^*$ .

Приведем алгоритм решения. Для краткости изложения процесс нахождения  $p(\omega) = \max_{|x_{ij}|} \{L_1(x, \omega)\}$ ,  $\bar{p}(x, \omega) = \min_{|x_{ij}|} \{L_2(x, \omega)\}$  и  $p(x, \omega) = \sum_{j=4}^7 (\sum_{i \in \omega} d_{ij} x_{ij}^* + \sum_{i \in I \setminus \omega} d_{ij} x_{ij}^*)$  будем опускать.

Процесс решения начинаем с  $\omega=I=\{1,2,3,4\}$ . Этому множеству соответствует значение  $P(\{1,2,3,4\}) = 1000000.0$ ;  $\bar{P}(x, \{1,2,3,4\}) = 2298900.0$ ;  $P(x, \{1,2,3,4\}) = 240000.0$ , а максимальное значение целевой функции

$$L(x, I) = P(\{1,2,3,4\}) + P(x, \{1,2,3,4\}) = 1240000.0.$$

Первая группа вариантов состоит из множеств  $\omega_1^1 = \{2,3,4\}$ ,  $\omega_2^1 = \{1,3,4\}$ ,  $\omega_3^1 = \{1,2,4\}$ ,  $\omega_4^1 = \{1,2,3\}$ , которым соответствуют  $P(\omega_1^1) = 1000000.0$ ,  $\bar{P}(\omega_1^1) = 2298900.0$ ,  $P(\omega_2^1) = 1000000.0$ ,  $\bar{P}(\omega_2^1) = 2298900.0$ ,  $P(\omega_3^1) = 1000000.0$ ,  $\bar{P}(\omega_3^1) = 2298900.0$ ,  $P(\omega_4^1) = 1000000.0$ ,  $\bar{P}(\omega_4^1) = 2298900.0$ , а  $L(x, \omega_1^1) = 1240000.0$ .

Сравнение  $P(I)$  с  $P(\omega_k^1)$ ,  $k=1,2,3,4$ , показывает, что среди вариантов  $\omega_k^1$  имеется только один вариант второго типа, где  $P(I) < P(\omega_1^1)$ , а остальные варианты все первого типа, т.е.  $P(I) > P(\omega_k^1)$ ,  $k=1,2,3,4$ .

Поэтому построить вторую группу вариантов невозможно, процесс окончен и  $\omega_1^1 = \{2,3,4\}$  - оптимальный вариант.

Таким образом, приведенная задача имеет единственное решение, где схема перевозок по договору имеет вид:  $x_{21} = 500.0$ ;  $x_{33} = 400.0$ ;  $x_{42} = 500.0$ ; а план вывоза угля по оптовым покупателям:  $x_{14} = 250.0$ ;  $x_{15} = 150.0$ ;  $x_{25} = 70.0$ ;  $x_{26} = 230.0$ ;  $x_{36} = 70.0$ ;  $x_{37} = 230.0$ ;  $\max_{|x|} \{L(x)\} = 1240000.0$ .

Для нахождения глобального максимума рассмотрено 5 вариантов из 16 возможных.

### Список литературы

1. Ланге Э.Г. Комбинаторный метод решения задачи размещения / Э.Г.Ланге, А. Жусупбаев- Фрунзе: Илим, 1990.- 153 с.
1. Хачатуров В.Р. Математические методы регионального программирования / В.Р. Хачатуров- Москва: Наука, 1989. - 304с.

УДК 535.41:778.38

### АНАЛИЗ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕРОГРАММ

*Жумалиев Кубанычбек Мырзабекович, д. т. н., академик НАН КР, Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН Кыргызской республики, Кыргызская республика, 720071, г. Бишкек, Чуйский проспект 265*

*Алымкулов Салмор Аманович, д. т. н., профессор Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН Кыргызской республики, Кыргызская республика, 720071, г. Бишкек, Чуйский проспект 265а*

*Исманов Юсупжан Хакимжанович, к. ф.-м. наук, доцент, Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН Кыргызской республики, Кыргызская республика, 720071, г. Бишкек, Чуйский проспект 265а*

*Исмаилов Джанапар Авазович, к. т. н., с. н. с., Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН Кыргызской республики, Кыргызская республика, 720071, г. Бишкек, Чуйский проспект 265а*

В данной статье рассмотрены примеры интерпретации интерференционных полос интерферограмм, полученных в полосах конечной и бесконечной ширины. Получены аналитические соотношения, позволяющие описать эти полосы. Показана возможность использования классических подходов для методов голографической интерферометрии. Уравнения, представленные в статье, могут быть использованы при компьютерной обработке интерферограмм, полученных методами классической и голографической интерферометрии.

**Ключевые слова:** интерференция, голографическая интерферометрия, полосы конечной ширины, интерферограмма, фазовая среда

## ANALYSIS OF HOLOGRAPHIC INTERFEROGRAMS

*Zhumaliev Kubanichbek Myrzabekovich, d. M. Sc., Academician of the National Academy of Sciences, Institute of Physical and Technical Problems of Materials Science of the Kyrgyz Republic, the Kyrgyz Republic, 720071, Bishkek, Chui Avenue 265*

*Alymkulov Salmor Amanovich, d. M. Sc., Professor of the Institute of Physical and Technical Problems and Materials Science of the Kyrgyz Republic, the Kyrgyz Republic, 720071, Bishkek, Chui avenue 265a*

*Ismanov Yusupzhan Hakimzhanovich, to. Sc , Associate Professor, Institute of Physical and Technical Problems of Materials Science of the Kyrgyz Republic, the Kyrgyz Republic, 720071, Bishkek, Chui avenue 265a*

*Ismailov Dzhaparov Avazovich, to. T. N., P. n. p., Institute of Physical and Technical Problems of Materials Science of the Kyrgyz Republic, the Kyrgyz Republic, 720071, Bishkek, Chui avenue 265a*

Examples of interpretation of interference fringes of interferograms obtained as the fringes of finite and infinite width are considered in the paper. Some analytical relations which can be used for computer treatment of interferograms are obtained.

**Keywords:** interference, holographic interferometry, finite bandwidth, the interferogram, phase medium

Для рассмотрения методов голографической интерферометрии фазовых объектов рассмотрим внеосевую схему записи голограммы, в которой используются плоские волны [1-2] (рис.1).

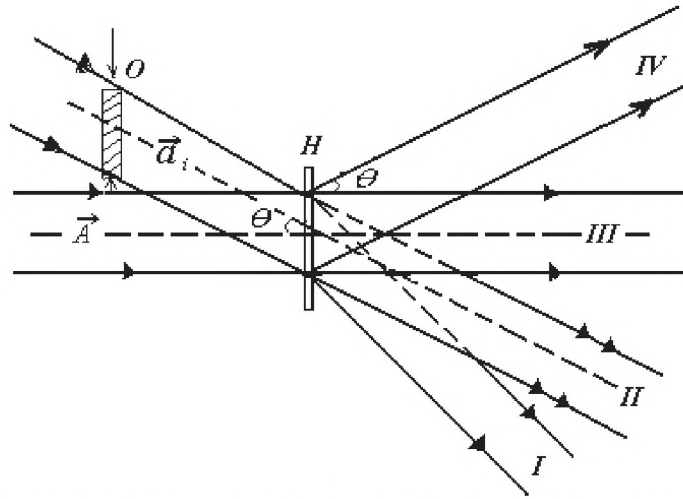


Рис. 1. Оптическая схема многоканального голографического интерферометра

Предметная волна  $\vec{a}$  во время первой экспозиции пронизывает исследуемый фазовый объект  $O$  с показателем преломления  $n_1(x, y, z)$ , а во время второй экспозиции его показатель преломления изменяется на  $n_2(x, y, z)$ . Тогда волны, прошедшие через объект в разные моменты времени, можно представить в следующем виде

$$\vec{U}_1(x, y) = a_1(x, y) \exp[ik\phi_1(x, y)] \quad (1)$$

$$\vec{U}_2(x, y) = a_2(x, y) \exp[ik\phi_2(x, y)] \quad (2)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  - соответственно амплитуды этих волн,  $\phi_1$  и  $\phi_2$  - их фазы,  $k = 2\pi/\lambda$  - волновое число,  $\lambda$  - длина волны. Голограмму волны на фотопластинку записываем с помощью плоской опорной волны  $\vec{U}_R$ .

Если луч распространяется параллельно оси  $z$ , то оптическая длина пути через объект  $ИО$  будет выражаться через

$$\phi(x, y) = \int n(x, y, z) dz \quad (3)$$

После обработки голограмму освещаем исходной опорной волной  $\vec{U}_R$ , при этом одновременно восстанавливаются волны (1) и (2), и интенсивность восстановленных волн определяется соотношением

$$J(x, y) = 2\{1 + \cos[k(\phi_2(x, y) - \phi_1(x, y))]\} \quad (4)$$

Для фазовых объектов амплитуды  $a_1$  и  $a_2$  будут постоянны по всему сечению пучка, кроме того, будем полагать их единичными.

В большинстве случаев показатель преломления объекта первоначально является однородным и обозначается  $n_0$ . Тогда освещенность в интерференционной картине запишется как

$$J(x, y) = 2\left\{1 + \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda} \Delta\phi(x, y)\right]\right\}, \quad (5)$$

где величина

$$\Delta\phi(x, y) = \int [n(x, y, z) - n_0] dz \quad (6)$$

называется оптической разностью хода.

Уравнение для светлых интерференционных полос будет записано

$$\Delta\phi(x, y) = \int [n(x, y, z) - n_0] dz = N\lambda, \quad (7)$$

где  $N = 0, 1, 2, 3, \dots$

Рассмотрим методы визуализации изменений физических свойств прозрачных объектов с помощью интерферограмм, полученных методами голографической интерферометрии. Поскольку основные свойства прозрачных объектов, такие как плотность вещества, концентрация частиц, температурные изменения и др., связаны с показателем преломления, то задача сводится к определению распределения показателя преломления среды. Рассмотрим связь изменения показателя преломления с полученными интерферограммами. Другими словами рассмотрим обратную задачу, как определить распределение показателя преломления среды по полученной интерферограмме. Интерферограмма характеризует изменения, которые происходят с объектом, как за время между экспозициями в методе двух - экспозиционной голографической интерферометрии, так и изменения, определяемые методом реального времени.

При этом будем предполагать, что исследуемая среда является фазовым объектом и отсутствует рефракция оптической разности хода для луча, распространяющегося через фазовый объект в направлении  $z$ . При этих условиях связь между разностью хода  $\Delta\varphi$ , изменением показателя преломления среды ( $\Delta n$ ) и длиной волны зондирующего пучка  $\lambda$  определяется соотношением (7) [3-4], в котором  $n(x, y, z)$ , в этот раз, представляет собой распределение показателя преломления во время второй экспозиции или в тот момент, когда интерферограмма регистрируется по методу реального времени;  $n_0$  - показатель преломления среды во время первой экспозиции,  $N=0, 1, 2, 3, \dots$ . Таким образом, подынтегральное выражение  $n(x, y, z) - n_0 = \Delta n(x, y, z)$  характеризует пространственное изменение показателя преломления между двумя экспозициями.

Величину  $\Delta\varphi$  можно измерять непосредственно в длинах волн, приписывая интерференционным полосам порядковые номера. Номер  $N=0$  приписывается широкой светлой полосе в невозмущенной области окружающей среды. Например, на рис.2а схематически изображена интерферограмма фазового объекта в полосах бесконечной ширины. Поскольку изменения разности хода дают совершенно одинаковые по виду интерференционные картины, то знак номера полос остается неопределенным. От такой неопределенности можно избавиться, формируя в интерферограмме систему опорных полос. Опорные клиновидные полосы на двухэкспозиционных голографических интерферограммах легко получить, наклоняя между экспозициями предметный или опорный пучок на небольшой угол  $\Delta\beta_0$ .

Опорные полосы на интерферограмме можно получить также поворачивая между экспозициями фотопластинку на угол  $\Delta\beta$ . Пример интерферограммы, полученной в полосах конечной ширины, приведен на рис. 2б.

Для того, чтобы приписать номера полосам на интерферограмме, полученной в полосах конечной ширины, проведем линию, параллельную опорным полосам, проходящим в невозмущенной области окружающей среды (штриховая линия на рис. 2б). Затем приписываем  $N = 0$ , всем точкам, в которых полоса не отклоняется от штриховой линии. Номера  $N = 1, 2, 3, \dots$

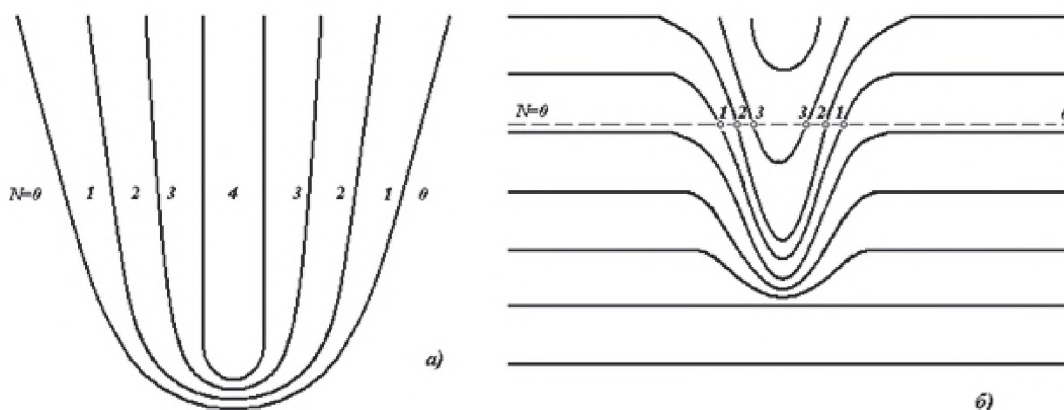


Рис. 2. Интерферограммы фазовых сред в полосах конечной и бесконечной ширины

приписываем каждой последующей точке, в которой середина новой темной полосы пересекает штриховую линию. А номера 0,5; 1,5; 2,5;... - каждой точке, в которой штриховая линия пересекает середины светлых полос.

Для любой точки интерферограммы в полосах конечной ширины, в том случае, если известны номера соответствующих полос, оптическая разность хода вычисляется по формуле (7).

**Выводы.** Дешифровка интерферограмм предполагает наличие опорных полос, положение которых можно использовать в качестве реперных координат. В данной работе предлагается получать систему опорных полос на двухэкспозиционных голографических интерферограммах, наклоняя между экспозициями предметный или опорный пучок на небольшой угол. Отсчет интерференционных полос ведется от первой полосы, следующей за опорными полосами. Такой подход позволяет устранить неопределенность значения фазы, а значит исключить неоднозначность дешифровки сложных голографических интерферограмм.

### Список литературы

1. Исмаилов Д. А. Голографическая память на основе синтезированных голограмм / Д.А. Исмаилов и др.// Проблемы современной науки и образования.-2016.-№17(59).-С. 6-9.
2. Исманов Ю. Х. Методы рентгеновской голографии с внутренним источником/ Ю. Х. Исманов, Д. А.Исмаилов // Наука, техника и образование.- 2016. № 3(21). С.19-22.
3. Исманов Ю. Х.Формирование последовательности саморепродукций одномерной линейной решеткой/ Ю. Х Исманов, Д. А Исмаилов, С. А. Алымкулов // Academy. 2016. № 6(9). С. 6-10.
4. Исманов Ю. Х., Исмаилов Д. А., Алымкулов С. А. Моделирование в голографии с использованием второго опорного пучка/ Ю. Х. Исманов, Д. А. Исмаилов, С. А. Алымкулов // Academy. 2016. № 6(9). С. 10-13.

УДК 532.517.4

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАМИНАРНЫХ И ТУРБУЛЕНТНЫХ НЕСЖИМАЕМЫХ ТЕЧЕНИЙ В ПАКЕТЕ OPENFOAM

*Жайнаков Амаебек Жайнакович, д.ф.м.н., профессор, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: [jainakov-41@mail.ru](mailto:jainakov-41@mail.ru)*