

**Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева
Национальной академии наук Кыргызской Республики**

ISSN 1694-6634

www.iopjournal.org

эл.почта: info@iopjournal.org

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ФИЗИКА

ИЛИМИЙ ЖУРНАЛЫ

2019, №1

Кыргызстан, г. Бишкек

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ФИЗИКА

Учредитель:

Институт физики им. академика
Ж.Жеенбаева Национальной
академии наук Кыргызской
Республики

Журнал зарегистрирован в
Министерстве юстиции
Кыргызской Республики.
Свидетельство о регистрации
№1418 от 13 июня 2008г.
ISSN 1694-6634

Редакционная коллегия:

Главный редактор,
д.ф.-м.н. **Жеенбаев Н.Ж.**

Зам. главного редактора,
д.ф.-м.н. **Касмамытов Н.К.**

Ответственный секретарь,
к.ф.-м.н. **Мамытбеков У.К.**

Члены редколлегии:

А.Ж. Жайнаков	Академик НАН КР	(Кыргызстан)
А.А. Кутанов	Академик НАН КР	(Кыргызстан)
Т.С. Рамазанов	Академик НАН РК	(Казахстан)
М.М. Кидибаев	Член-корр. НАН КР	(Кыргызстан)
Э.М. Мамбетакунов	Член-корр. НАН КР	(Кыргызстан)
Б.В. Шульгин	д.ф.-м.н., профессор	(Россия)
Т.Н. Нурахметов	д.ф.-м.н., профессор	(Казакстан)
С. Джуманов	д.ф.-м.н., профессор	(Узбекистан)
М.Имаев	д.ф.-м.н., профессор	(Россия)
А.А. Назаров	д.ф.-м.н., профессор	(Россия)
В.Н. Фоломеев	д.ф.-м.н., профессор	(Кыргызстан)
Р.М. Султаналиева	д.ф.-м.н.	(Кыргызстан)
Н.К. Джаманкызов	д.ф.-м.н.	(Кыргызстан)
Г.Дж. Кабаева	д.ф.-м.н.	(Кыргызстан)
А.Т. Татыбеков	д.т.н.	(Кыргызстан)
В.Ю. Иванов	к.ф.-м.н.	(Россия)
К.Х. Хайдаров	к.ф.-м.н.	(Кыргызстан)
К.К. Талыпов	к.т.н.	(Кыргызстан)
Дж.А. Исмаилов	к.т.н.	(Кыргызстан)
Б.Б. Саякбаева	к.ф.-м.н.(техн.секр-рь)	(Кыргызстан)

Адрес редакции:

720071, Кыргызская Республика,
г.Бишкек, проспект Чуй, 265-а

Тел.: +(312)64-62-90
Факс: +(312)43-11-69, 43-11-71
E-mail: ulan-mk@bk.ru



**ДЖАМАНКЫЗОВ НАСИПБЕК
КУРМАНАЛИЕВИЧ**

доктор физико-математических наук

20 марта 2019 года Н.К.Джаманкызову исполнилось 70 лет.

Н. К. Джаманкызов родился в 1949 году в с.Кара-Суу Таласского района, окончил физический факультет Киргизского государственного университета в 1972 году, в 1976-1979гг. обучался в аспирантуре Института атомной энергии имени И.В. Курчатова (г. Москва), где успешно защитил кандидатскую диссертацию, в 2015 г. защитил докторскую диссертацию в Диссертационном совете Института физико-технических проблем и материаловедения НАН КР.

Н. К. Джаманкызову характерна большая и многоплановая научно-педагогическая деятельность. В 1972–1993гг. он работает во Фрунзенском политехническом институте преподавателем, ст. преподавателем, доцентом на кафедре физики, с перерывом на время учебы в аспирантуре. В 1993 – 1996гг. – зам. председателя Госкомитета по науке и новым технологиям. С 1996–2006гг. – первый заместитель генерального директора СЭЗ «Бишкек».

В Национальной академии наук Н.К. Джаманкызов работает с 2010 г. сначала в Институте физико-технических проблем и материаловедения заместителем директора по инновациям и привлечению инвестиций, затем заведующим лабораторией энергосберегающих технологий. С 2018 г. заведует лабораторией энергосберегающих технологий в Институте физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР.

Более 30 лет научные интересы Н.К.Джаманкызова связаны с исследованиями взаимодействия излучения с веществом. Результаты его

научных исследований докладывались и обсуждались на научных семинарах ведущих институтов, международных и республиканских конференциях и симпозиумах. Он отлично владеет современными методами анализа и интерпретации научных данных, участвует в экспертизе результатов научных исследований коллег.

Жизненный путь Н.К.Джаманкызова характеризуется творческим подходом к решению сложных научных и научно-технических проблем. Предложенные им научные разработки, которые могут быть использованы в лаборатории, актуальны и в исследованиях прикладных задач народного хозяйства.

Н.К.Джаманкызов - автор 4 монографий и более 100 научных статей, опубликованных в республиканских и международных изданиях. Под его руководством защищена кандидатская диссертация и ведут научные исследования 2 аспиранта и соискатель.

Н.К.Джаманкызов активно участвует в разработке и внедрении энергосберегающих технологий. Под его руководством создано и внедрен ряд микро ГЭС в различных регионах Кыргызстана, разработана автоматическая система коммерческого учета электрической энергии (АСКУЭ), которая успешно внедрена в Жалал-Абадской области и в Казахстане.

Уважаемый Насипбек Курманалиевич, коллеги, подчиненные и друзья ценят не только Вашу компетентность и богатый жизненный опыт, но и неизменную доброжелательность, внимательное отношение к людям.

Желаем Вам крепкого здоровья, новых творческих успехов, воплощения в жизнь всех задуманных планов и проектов, счастья, радости и всегда высокого и ясного неба над головой!

Директор Института физики
им. академика Ж.Жеенбаева
д.ф.-м.н. Н.Ж.Жеенбаев

УДК 535.41:778.38

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ПОЛОС

Н.К. Джаманкызов, Ю.Х. Исманов,

Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а

Аннотация. В данной статье приведены примеры интерпретации интерференционных полос интерферограмм, полученных в полосах конечной и бесконечной ширины, и аналитические соотношения, позволяющие описать эти полосы. Полученные соотношения могут быть использованы для компьютерной обработки интерферограмм.

Ключевые слова: *полосы конечной ширины, полосы бесконечной ширины, голограмма интерференционная картина, плоская волна.*

INTERPRETATION AND IDENTIFICATION OF INTERFERENCE FRINGES

N.K. Dzhamankyzov, Y.Kh. Ismanov

Institute of Physics named after J. Jeenbaev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a

Abstract. 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: *fringes of finite width, fringes of infinite width, hologram, interference pattern, plane wave,*

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

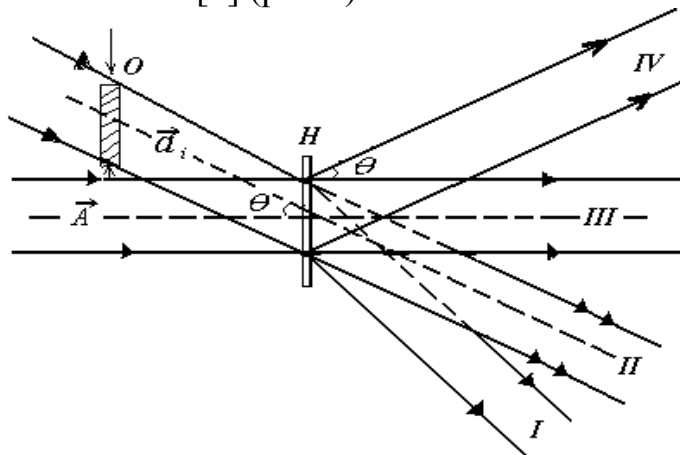


Рис. 1. Оптическая схема многоканального голографического интерферометра

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, ϕ_1 и ϕ_2 - их фазы, $k = 2\pi/\lambda$ - волновое число, λ - 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 IO 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 (Δn) и длиной волны зондирующего пучка λ определяется соотношением (7) [2], 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. Обычно они представляют собой параллельные прямые полосы с одинаковыми расстоянием между ними, что соответствует постоянному градиенту фазы известного знака. Такие интерферограммы называются интерферограммами в полосах конечной ширины. Опорные клиновые 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 $N=1,2,3...$ приписываем каждой последующей точке, в которой середина новой темной полосы пересекает штриховую линию. А номера $0,5; 1,5; 2,5; \dots$ - каждой точке, в которой штриховая линия пересекает середины светлых полос. Если далее встречаются полосы с наклоном противоположного знака, то их номера будут уменьшаться, а не увеличиваться.

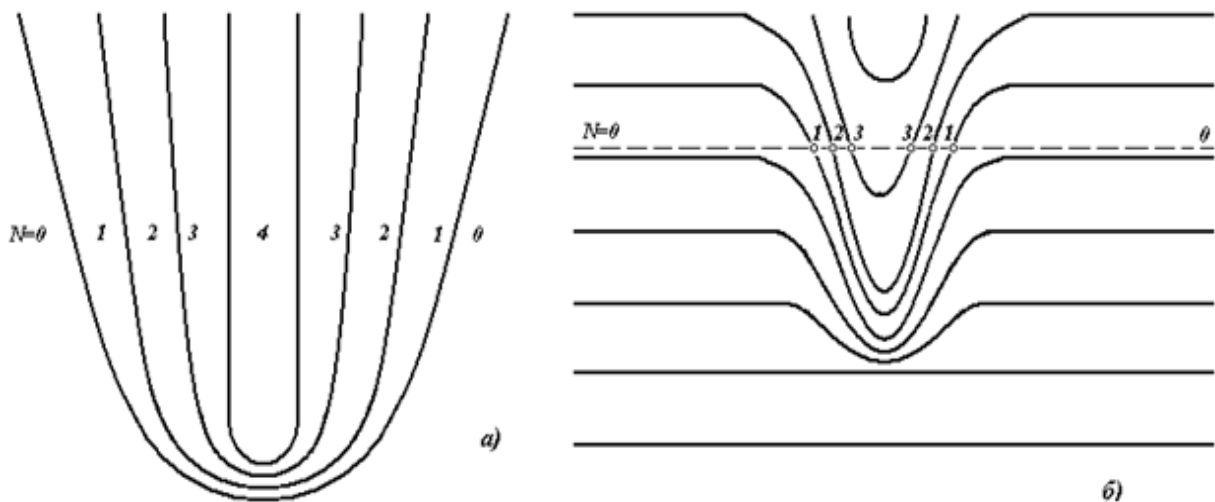


Рис.2. Для любой точки интерферограммы в полосах конечной ширины, в том случае, если известны номера соответствующих полос, оптическая разность хода вычисляется по формуле (7).

Список литературы

1. Ismanov Y. Kh., Dzhamankyzov N. K. Holographic Interferometer for the Study of Phase Media, Which Has Four Output Channels of Different Sensitivity //International Journal of Optics.- 2019.- 2019, Article ID 2936172, 10 pages. [<https://doi.org/10.1155/2019/2936172>]
2. Вест Ч. Голографическая интерферометрия. М., Мир, 1982, 504 с.

УДК 535.41:778.38

КОМПЬЮТЕРНАЯ ГОЛОГРАФИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.Х. Исманов, Н.К. Джаманкызов

*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек,
пр. Чуй 265-а*

Аннотация. В цифровой голографии трехмерных объектов существуют две важнейшие проблемы: возможность использования фазовой информации об объекте и сведение трехмерного объекта к двумерному. В данной статье предлагается подход к решению данной задачи. Приводятся некоторые результаты компьютерного моделирования для простейших объектов.

Ключевые слова: цифровая голография, трехмерные объекты, голограмма Френеля, амплитуда волны, фаза волны.

COMPUTER HOLOGRAPHY OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS

Y.Kh. Ismanov, N.K. Dzhamankyrov

*Institute of Physics named after J. Jeenbaev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek,
pr. Chui, 265-a*

Abstract. There are two the most important problems in the digital holography of 3D objects: the using of object phase information and consideration of 3D object as 2D one. Methods for the solving of these problems are offered in the given paper. Some results of the computer simulation for the simplest objects are considered.

Keywords: digital holography, three-dimensional objects, Fresnel hologram, wave amplitude, wave phase

Особенности записи голограмм Френеля трехмерных объектов

В общем случае проблема компьютерной записи голограммы трехмерного объекта сводится к численному решению дифракционного интеграла. Однако расчет голограммы с использованием дифракционного интеграла даже для простейших трехмерных объектов математически очень трудоемок. Поэтому в численных расчетах голограмм дифракционный интеграл сводят к интегралу Френеля. Преобразования Френеля, которые лежат в основе математического аппарата, описывающего процесс записи голограммы Френеля, это, по сути, двумерные преобразования, позволяющие увязывать точки одной плоскости с точками другой плоскости. Т. е. переходя от дифракционного интеграла, как трехмерной задачи, к преобразованиям Френеля мы теряем информацию об одной из пространственных координат. Сделав этот шаг, т. е. перейдя от пространственной задачи к плоской, мы, строго говоря, потеряли возможность точного учета глубины и рельефа объекта. Даже в

голограмму Френеля входит только расстояние от объекта до плоскости наблюдения, а не глубина рельефа объекта. Тем не менее, остается возможность синтезировать поле, восстанавливающее в определенных условиях объект, а значит, остается наиболее важное свойство голографической визуализации – естественность наблюдения объекта. Что касается передачи рельефа, то для нее можно предложить искусственные приемы.

Задача вычисления распределения амплитуды и фазы световой волны, которая рассеивается произвольным трехмерным объектом на произвольную поверхность наблюдения, является по необходимости трехмерной и сводится к решению интегралов вида

$$\Gamma(\xi, \eta, \zeta) = \int_{F(x, y, z)} A(x, y, z) |b(x, y, z)| \times \exp i[\alpha(x, y, z) + \beta(x, y, z)] \times T(x, y, z, \xi, \eta, \zeta) dx dy dz,$$

где $A(x, y, z) \exp i\alpha(x, y, z)$ — распределение амплитуды и фазы освещения на поверхности наблюдения, интегрирование производится на поверхности $F(x, y, z)$. Вид ядра этого преобразования $T(x, y, z, \xi, \eta, \zeta)$ зависит от пространственного расположения объекта и поверхности наблюдения. Вычисление таких интегралов в общем случае требует чрезвычайно громоздких вычислений. Но, учитывая естественные ограничения процесса визуального наблюдения, эту задачу можно существенно упростить [1,2]. Эти ограничения состоят в следующем:

1. Размеры зрачка глаза наблюдателя намного меньше расстояния от объекта до поверхности наблюдения.
2. Человек с нормальным зрением воспринимает объем тел главным образом благодаря бинокулярному зрению, эффекту перспективных искажений и затенению непрозрачными телами тел, находящихся за ними, а также эффекту образования светотеней и бликов на диффузных поверхностях тел.
3. Участки поверхности наблюдения размером в межзрачковое расстояние глаз можно считать плоскими.
4. Глубина рельефа объектов, расположенных на удобном для рассматривания расстоянии от наблюдателя, обычно мала по сравнению с этим расстоянием.

Они позволяют прежде всего свести трехмерную задачу к двумерной. Для этого поверхность наблюдения можно разбить на участки, аппроксимируемые плоскостями, а распределение амплитуды и фазы волны на поверхности объекта заменить, пользуясь законами геометрической оптики, распределением амплитуды и фазы волны на плоскости, касающейся объекта

(или просто достаточно близкой к нему, чтобы при пересчете амплитуды и фазы волны можно было пренебречь дифракцией) и параллельной данному плоскому участку поверхности наблюдения.

Результаты моделирования процесса записи и восстановления голограмм простейших трехмерных объектов

Для моделирования процесса записи и восстановления голограмм были взяты сфера и конус. Распределения фаз и амплитуд по поверхности входных объектов определялись как результат совместного решения уравнений, описывающих поверхности соответствующих трехмерных объектов, и уравнения плоской волны, падающей на поверхность рассматриваемого объекта.

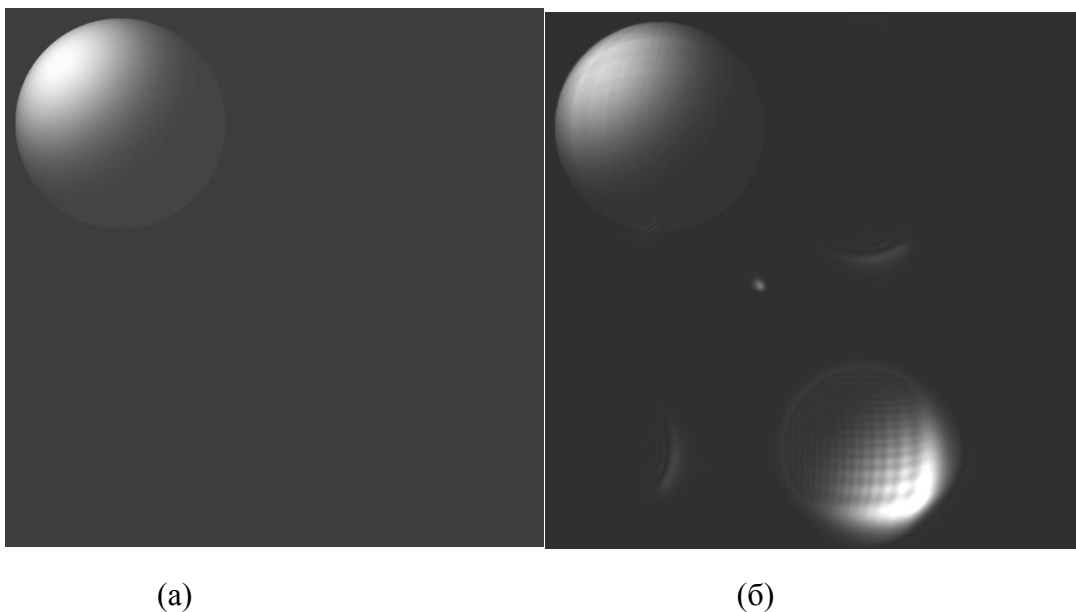


Рис. 1. Исходное (а) и восстановленное (б) изображения сферы. Освещение параллельным пучком света ($\theta=135^\circ$, $\varphi=135^\circ$).

На рисунке 1а представлено изображение сферы, подаваемой на вход компьютерной модели. Изображения сферы и фона заданы в виде матрицы размером 1024×1024 . Сфера освещается параллельным пучком света. Угол освещения сферы: $\theta=135^\circ$, $\varphi=135^\circ$.

Как видно из рисунка высокое разрешение позволяет добиться плавного изменения освещенности при переходе от одной точки поверхности к другой. Высокое разрешение позволяет также более четко выявления закономерностей изменения фазы вдоль поверхности объекта, что в свою очередь позволит повысить качество восстановленных изображений.

На рисунке 1б показан результат восстановления голограммы сферы, входное изображение которой представлено на рисунке 1а. Голограмма была

записана в зоне Френеля. При записи была использована плоская опорная волна. Для восстановления использовалась исходная плоская опорная волна, поэтому на рисунке видно только одно сфокусированное изображение – действительное изображение сферы. Место расположения мнимого изображения обозначено расфокусированным пятном.

Результат восстановления голограммы конуса, изображенного на рисунке 2а, показан на рисунке 2 б. Голограмма записывалась и восстанавливалась плоской опорной волной.

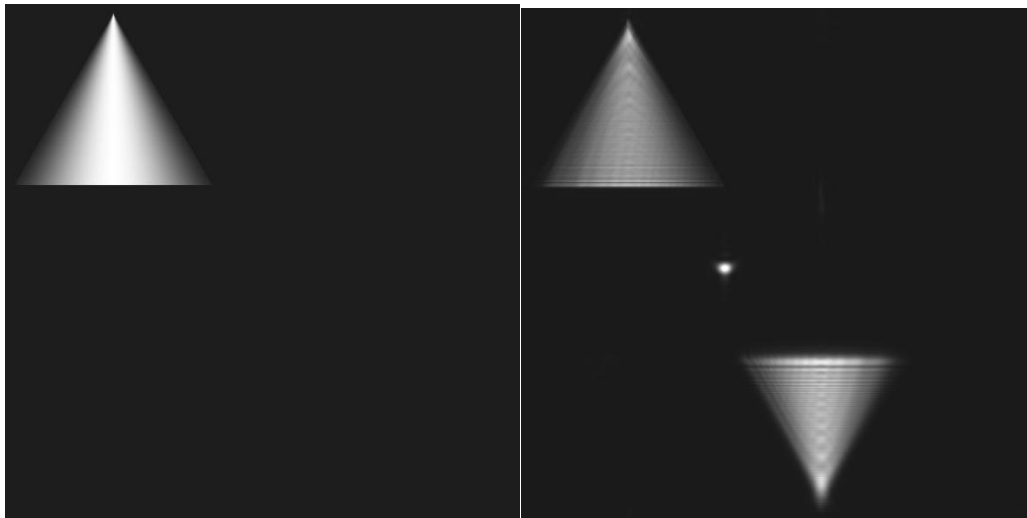


Рис. 2. Исходное (а) и восстановленное (б) изображения конуса. Освещение параллельным пучком света ($\theta=-90^0$, $\varphi=0^0$).

Как видно из рисунка при этом восстанавливается одно сфокусированное изображение – действительное. Мнимое изображение сильно расфокусировано, что является нормой для голограммы Френеля.

Полученные результаты компьютерного моделирования голографического процесса хорошо совпадают с аналогичными результатами, полученными экспериментально при записи и восстановлении голограмм Френеля [3].

Список литературы

1. Ярославский Л. П., Мерзляков Н. С. Цифровая голография.-М: Наука, 1982.- 221 с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений, ч. 1.- М: Мир, 1982.- 790 с.
3. Оптическая голография, т. 1 / Под ред. Колфилда Г. - М: Мир, 1982.- 376 с.

УДК 621.316.722

К РАЗРАБОТКЕ МИНИ-ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ СТРУЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.А. Асанов, Н.К. Джаманкызов, Н.Т. Ниязов

*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек,
пр. Чуй 265-а*

Аннотация. В статье рассматривается ситуация, складывающаяся в топливно-энергетическом комплексе Кыргызстана в текущий момент. Изложены возможности применения струйной технологии для генерации электрической энергии в гидропаровых турбинах типа сегнерова колеса.

Ключевые слова: гидроэнергетика, турбина, сегнерова колеса, струйная технология

TO THE DEVELOPMENT OF MINI-POWER GENERATING PLANTS BASED ON INKJET TECHNOLOGY

A.A. Asanov, N.K. Dzhamankyzov, N.T. Niyazov

*Institute of Physics named after J. Jeenbaev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek,
pr. Chui, 265-a*

Abstract. The article discusses the current situation in the fuel and energy complex of Kyrgyzstan. The possibilities of applying jet technology for the generation of electric energy in hydro-steam turbines like Segner's wheels are described.

Keywords: hydro-energy, turbines, like Segner's, jet technology

Кыргызстан находится в самом центре огромного Евразийского континента. Высокие горные системы формируют главное богатство страны – чистейшую воду. Вековые ледники и снега являются началом больших и малых рек, которые, в свою очередь, стекая в долины, питают их живительной влагой и питьевой водой население нашей республики и соседних стран. Есть и другая важная для жизнеобеспечения сторона этих рек. Энергетический потенциал горных рек является основой развития гидроэнергетики, без которой немислимо развитие экономики страны.

На самой многоводной и мощной реке в республике – реке Нарын построен уникальный каскад гидроэлектростанций. Производственная база гидроэнергетики республики в текущий момент включает в себя 9 крупных электростанций и столько же малых электростанций, суммарной проектной мощностью около 3000 МВт. В текущий момент вырабатываемый объем электроэнергии в основном идет на внутренний рынок, так до 70 % потребляет население, остальное идет на поддержку промышленности, бизнеса и других

потребителей. В этих условиях для дальнейшего сбалансированного и диверсифицированного экономического развития страны необходимы кардинальные решения, в первую очередь, потребуются формирование качественной производственной инфра-структуры и новых энергогенерирующих мощностей.

Гидроэнергетика - это одновременно и сильная, и слабая сторона энергетики Кыргызстана. Сильная потому, что гидроэнергетика не загрязняет окружающую среду и стоимость электроэнергии существенно ниже других возобновляемых источников энергии. Слабая – это первоначальные высокие затраты и длительный срок окупаемости, а также то, что в годы маловодья нуждается в поддержке от других более затратных источников энергии. И все же, несмотря на слабые стороны, гидроэнергетика является магистральным путем развития энергетических мощностей и увеличения выработки электроэнергии для потребностей основных секторов экономики страны. По подсчету специалистов, в настоящее время гидроэнергетический потенциал страны освоен всего на 10%.

Согласно Стратегии устойчивого развития КР на 2020-2040 годы (НСУР 20-40), намечены планы по привлечению инвестиций на строительство и реконструкцию следующих объектов: Камбаратинской ГЭС-1 и ГЭС-2, Верхненарынского каскада ГЭС и Ак-Булунской ГЭС, Учкурганской ГЭС, Атбашинской ГЭС и Токтогульской ГЭС, Каракечинской ГЭС. Есть планы модернизации старых и строительство малых ГЭС на малых реках, насчитывающих сотнями, отдельные из которых обладают необходимым гидроэнергетическим потенциалом.

Другим источником может служить значительные запасы термальных и промышленных вод объектов стройиндустрии и иных отраслей экономики страны. Применение установок, преобразующих энергию этих источников в электроэнергию, направлено, прежде всего, на улучшение энергоснабжения небольших объектов, расположенных в зонах, удаленных от централизованных источников энергии.

Вместе с тем, следует заметить, что чрезмерная ориентация на водные ресурсы и снижению доли угля в топливном балансе, составляют одну из основных проблем, которые сдерживают развитие топливно-энергетического комплекса КР и представляют угрозу ее энергетической безопасности. Для адекватного преодоления сложившихся негативных тенденций должна быть поставлена задача формирования рационального топливно-энергетического баланса в результате снижения доли воды и соответствующего увеличения доли угля.

Имея разведанных 1.3 млрд. т угольных запасов Кыргызстан все же испытывает нехватку углеводородов и зависит от массового завоза угля из соседней страны. В стране функционирует единственная ТЭЦ г. Бишкек на угле. Она прошла модернизацию, мощность генерирующей станции достигла 800 МВт. Однако, при потребности угля до 1.2 млн. т. дефицит в

энергоносителе (а это более 50 % от объема потребного угля) покрывает путем ее импорта соседнего из Казахстана. В то же время, несмотря на то, что угольная энергетика достигла своего предела в части эффективного использования твердого топлива, а также имеет наивысшую степень загрязнения окружающей среды по сравнению с другими углеводородными топливами, во всем мире идет строительство новых угольных станций, основанных на экологически «чистых» угольных технологиях [1].

Исследования и разработки в этом направлении сосредоточены вокруг решения ряда проблем, среди них: использование современных технологий бездымного сжигания и переработки угля в газообразное и обогащенное твердое топливо. И уже достигнуто первые результаты: удельные затраты на сооружение больших энергогенерирующих мощностей обходятся 1200 – 1800 долл. США на 1 Квт; сроки сооружения снижаются на 4-5 лет; окупаемость при комплексном подходе к переработке угля намного ниже, чем аналогичных по мощности гидростанций, отсутствует отвод земли под водохранилища и т.д.

Согласно НСУР20-40 выработка электроэнергии к 2025 году должна быть удвоена и составит до 30 млрд. кВт*ч в год. Это даст нам возможность не только полностью обеспечить электроэнергией внутреннее потребление и привлечь в страну стратегические энергоемкие производства, такие как ферросплавные, или алюминиевые заводы, но и поставлять электроэнергию в экспорт. Рынок для этого имеется, например, страны Южной Азии – Афганистан, Пакистан и Индия инициировали проект CASA-1000.

В связи с выше изложенными обстоятельствами, на ряду со строительством крупных ГЭС и ТЭС, актуальна проблема увеличения доли электроэнергии, вырабатываемой за счет альтернативных, нетрадиционных и возобновляемых энергоресурсов. В этом плане представляет интерес для специалистов, занимающихся разработкой и созданием альтернативных источников энергии - силовые импульсные системы, работающие на принципе струйной техники и технологии.

Струйные аппараты получили широкое распространение практически во всех отраслях промышленности. Их принципиальной особенностью является повышение давления потока жидкости или газа без непосредственной затраты механической энергии. Благодаря этому качеству использование струйных аппаратов во многих отраслях техники позволяет получать более простые и надежные технические решения по сравнению с применением нагнетателей газа и воды, таких как компрессоры, насосы, и т.д. Применение высоких параметров пароводяного потока для генерации энергии обуславливает необходимость постановки масштабных исследований по разработке эффективных мини – энергогенерирующих установок.

Процессы, происходящие в струйных аппаратах, зависят в первую очередь от агрегатного состояния взаимодействующих сред. С этих позиций можно все струйные аппараты разбить на три группы:

1) аппараты, в которых агрегатное состояние рабочей и инжектируемой сред одинаково;

2) аппараты, в которых рабочий и инжектируемый потоки находятся в разных агрегатных состояниях, не изменяющихся в процессе смешения этих потоков;

3) аппараты с изменяющимся агрегатным состоянием сред. В этих аппаратах рабочий и инжектируемый потоки до смешения находятся в разных фазах, а после смешения - в одной фазе, т.е. в процессе смешения изменяется агрегатное состояние одного из потоков.

В работе [2] на основе исследований таких объектов были выявлены наиболее эффективные варианты решений геометрии проточной части пароструйного аппарата. Она была предложена в виде суживающейся камеры смешения (КС) рабочего пара и инжектируемой воды с постоянным или переменным углом конусности и цилиндрическим горлом диффузора (ГД) (рис.1). Потоки рабочей и инжектируемой сред поступают в камеру смешения, где происходит выравнивание скоростей, сопровождающие, как правило, повышением давления. Из камеры смешения поток поступает в диффузор, где происходит дальнейший рост давления. Давление смешанного потока выше давления инжектируемого потока в приемную камеру диффузора и патрубков подвода пара и воды

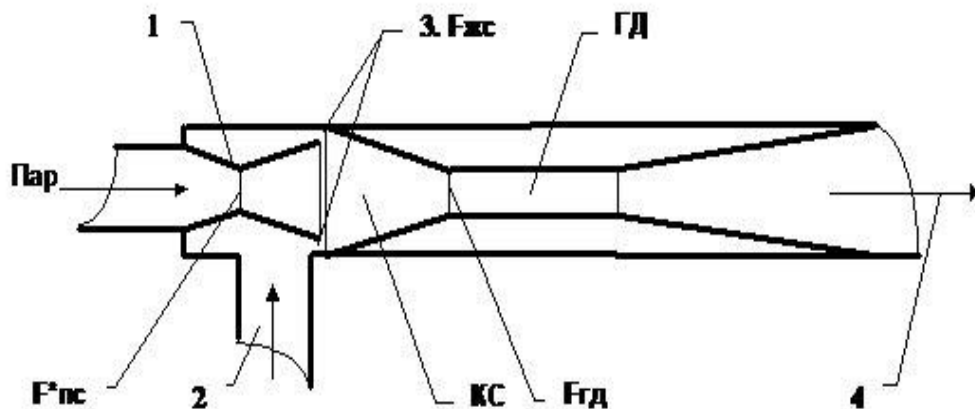


Рис. 2.

Рис. 1. Принципиальная схема пароструйного устройства: 1 - сопло для ввода пара (сопло Лавала или сужающееся), 2 — патрубок для подачи жидкости, 3 — жидкостное сопло 4 — нагретая жидкость к потребителю. КС — камера смешения, ГД — горло диффузора. $F_{п.с.}$ - площадь минимального сечения парового сопла, $F_{ж.с.}$ - площадь жидкостного сопла, $F_{г.д.}$ - площадь горла диффузора или минимального сечения КС.

Вода в камеру смешения подается соосно паровому потоку, в виде кольцевой струи. В камере смешения происходит распыл воды высокоскоростным потоком пара. Возможны разные варианты реализации такого пароструйного аппарата (ПСА), отдельные схемы приведены на рис.2. Различают ПСА с центральным подводом пара и периферийным подводом жидкости (рис. 2 а). Известны ПСА со скачком давления для центрального подвода жидкости и периферийным паровым соплом (рис. 2 б), а также аппараты с впрыском жидкости в паровой поток, осуществляющийся многоступенчато, начиная с суживающейся части сопла Лавала (рис. 2 в).

Выбор той или иной схемы зависит от поставленной задачи. Так основное преимущество схемы с центральным подводом пара в том, что здесь к.п.д. парового сопла при прочих равных условиях имеет наибольшее значение; это особенно важно при работе с паром высокой степени влажности при низких давлениях пара, где к.п.д. парового сопла резко снижается.

Схема с центральным подводом жидкой фазы, несмотря на снижение к.п.д. парового сопла, позволяет лучше организовать процессы в КС и снизить потери на стенках КС.

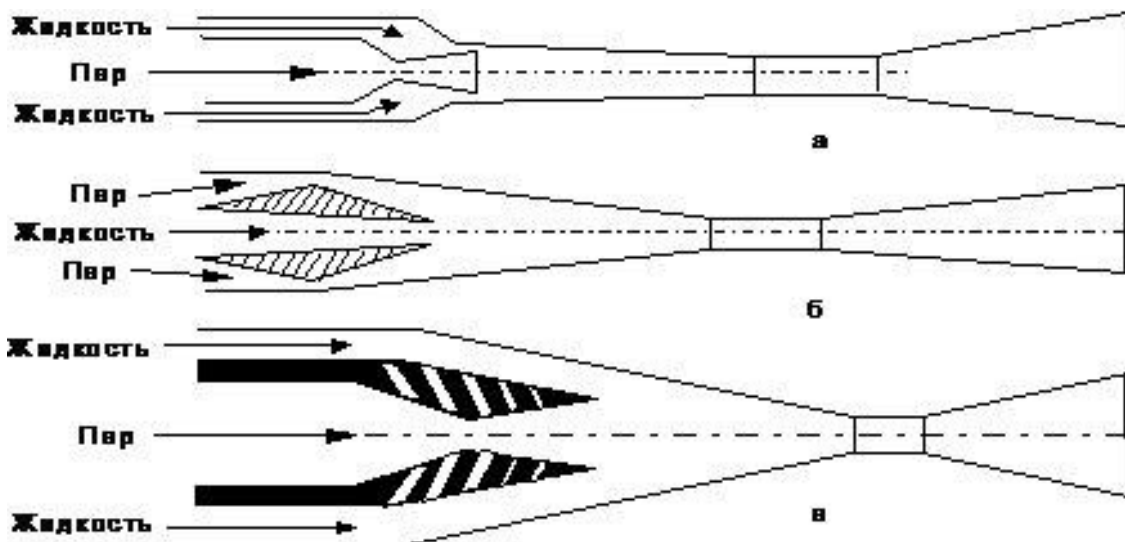


Рис. 2. Варианты применения принципиальных схем ПСА

Кроме того, для установок с малой производительностью улучшается к.п.д. жидкостного сопла, т.к. в случае периферийной подачи жидкости зазоры для ее прохода могут составлять десятые доли мм. Это особенно важно для аппаратов использующих вязкие жидкости и жидкости, имеющие включения в виде загрязняющих примесей. Также необходимо отметить, что центральный подвод жидкости эффективен в случае равенства или превышения давления жидкости на входе в аппарат над давлением пара, в этом случае поток жидкости целесообразно использовать в качестве рабочего потока.

Таким образом, необходимым условием работы ПСА является получение двухфазного скачка уплотнения в камере смешения или диффузоре. Поэтому помимо точного расчета и изготовления проточного тракта ПСА необходимо

также обеспечить точное задание и поддержание в заданных пределах входных параметров потоков пара и воды, определяющих возможность получения скачка уплотнения.

Гидропаровая турбина в виде сегнерова колеса. В устройствах для генерации электроэнергии с использованием гидропаровых турбин (ГПТ) обеспечивается эффективность преобразования тепловой и кинетической энергии двухфазного потока [1]. Источником рабочего тела в такой турбине, работающей на вскипающих потоках, служит горячая вода естественного (термального) или искусственного происхождения. К последнему относится горячая вода или пар, генерируемый, например, в углеперерабатывающей установке [1]. Для повышения эффективной работы такой установки требуется гораздо больший перепад температур, что обуславливает совершенствование их конструкций на основе пароструйных аппаратов. На рис.3 приведена принципиальная схема такой конструкции установки для выработки энергии, выполненная с использованием ГПТ типа сегнерова колеса. Эта схема представляет собой реализацию варианта ПСА, приведенной на рис. 2 а. ГПТ включает в себя статор и установленный на валу ротор, оборудованный тангенциальными реактивными движителями, выполненными в виде ПСА, а также каналами для подачи газового и жидкого энергоносителей.

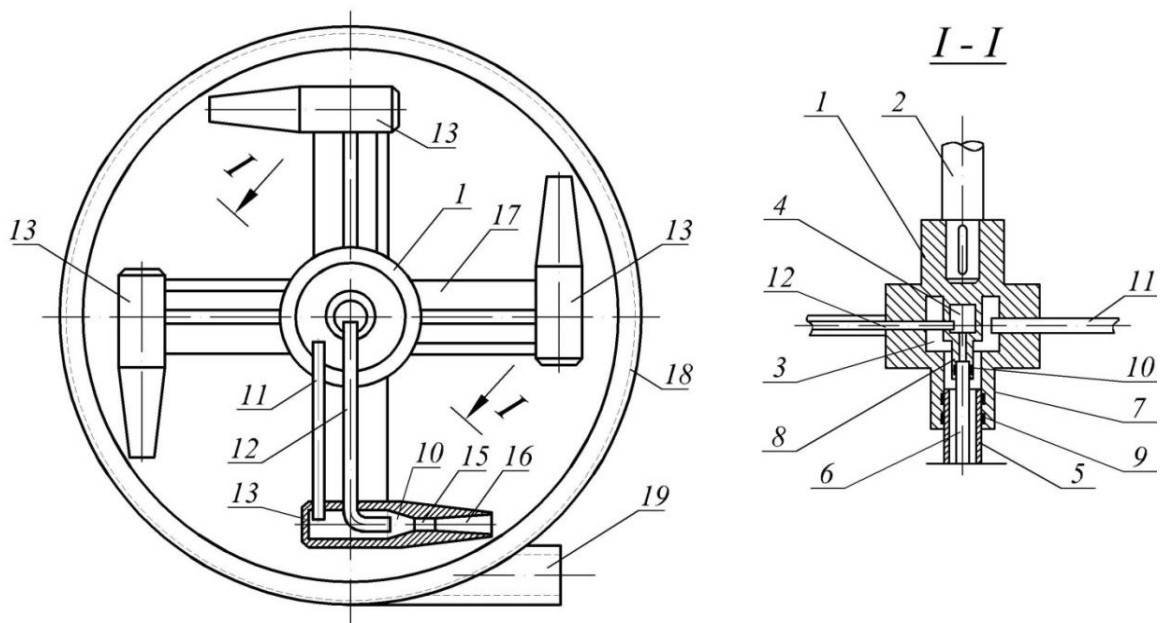


Рис. 3. Принципиальная схема пароводяной турбины

Турбина включает в себя ротор 1, связанный валом 2 с силовой машиной, например генератором тока (на черт не показан). В теле ротора на оси вращения выполнены две камеры 3 и 4 коаксиально друг относительно друга, при этом камера 4 служит для нагнетания высоконапорного объёмного энергоносителя, например водяного пара или продуктов горения, а камера 3 - для нагнетания жидкости, преимущественно воды. К обеим камерам на оси вращения подведена пара неподвижных патрубков также с размещением один

внутри другого. Оба патрубка 5 и 6 уплотнены в горловинах соответственно 7 и 8 обеих камер 3 и 4 скользящими уплотнениями 9 и 10. По радиусам вращения ротора 1 камеры 3 и 4 расположены радиальные трубопроводы соответственно жидкостной патрубков 11 и парогазовый патрубок 12, которые соединяются с движителями 13, при этом парогазовый патрубок выгнут в осевом направлении проточного канала движителя с заходом в ее конфузурный участок 14. Жидкостный патрубок соединяет проточный канал движителя по радиусу. Далее по проточной части движителя 13 конфузурный участок переходит в смесительную камеру 15 и далее в сопло Лавалья 16. Ротор с центробежными жёсткими кронштейнами 17 и движителями 13 размещается в плоскости неподвижной обечайки 18, выполненной в вид жёлоба, снабжённого сливной улиткой 19. С подачей высоконапорного парогазового энергоносителя и менее напорной воды соответственно по патрубкам 6 и 5 ротор 1 за счёт реактивной тяги движителей 13 приводится во вращение.

При этом применяемый высоконапорный пар расходует свою энергию полностью при сравнительно небольших окружных скоростях малогабаритного ротора за счёт баллаستировки его жидкостью (водой). Реактивная энергия пароводяной смеси резко возрастает за счёт резкого увеличения её реактивной массы. Сопло Лавалья стабилизирует реактивный поток с расширением газовых пузырьков в жидкой воде и, следовательно, с дополнительным увеличением отходящей скорости двухфазного потока.

Таким образом, в виду возможности использования ГПТ в качестве не вспомогательного, а основного турбинного элемента энергетической установки, представляет интерес в пути их создания и эффективного использования. Реализация такой конструкции энергогенерирующей установки на практике, требует ее укомплектования источником пара, рассчитанного на гораздо больший перепад температур подаваемого пара, а также разработку и создание основ теории и методики расчета и обоснованного выбора основных параметров установки.

Список литературы

1. Асанов А.А. Энергоэффективное использование углей Кыргызстана. Б.: из-во «Инсанат», 2018. – 298 с.
2. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. М.: Энергоиздат, 1981.

УДК 532.574.2: 536.423

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНЫХ АППАРАТОВ В ГИДРОПАРОВЫХ ТУРБИНАХ

Н.Т. Ниязов, Н.К. Джаманкызов, А.А. Асанов, Т. Дуйшеев

*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек,
пр. Чуй 265-а*

Аннотация: В статье рассматриваются варианты применения струйных аппаратов в гидропаровых турбинах для генерации энергии.

Ключевые слова: гидропаровая турбина, колесо Сегнера, сопло Лаваля.

USE OF JETS IN HYDROPARIAN TURBINES

N.T. Niyazov, N.K. Dzhamankyrov, A.A. Asanov, T. Duisheev

*Institute of Physics named after J. Jeenbaev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek,
pr. Chui, 265-a*

Abstract: The task is considered of the possibility of creating mini-power generating capacities based on hydro steam turbines for generating electric current using industrial waste heat.

Keywords: hydraulic steam turbine, Segner wheel, Laval nozzle.

Введение. Разработка и внедрение принципиально новых нетрадиционных высокотехнологичных установок для развития сети, так называемой, малой энергетики предусмотрено в программных документах ПКР и в НУСР 20-40. Она должна основываться на эффективном использовании потенциалов малых рек и водотоков, имеющих во всех регионах страны, утилизации тепла объектов промышленной и коммунальной теплоэнергетики, а также геотермальных источников. Последние относятся к нетрадиционным источникам энергии. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии постоянно находятся в поле зрения специалистов и представляют определенный интерес. Указанные виды энергии не могут в ближайшем будущем заменить нефть, газ, уголь или иное топливо, но они могут уже сегодня стать важным дополнительным источником энергии.

Изложение основного материала. Значительные запасы термальных и промышленных вод с температурой 100 - 150°C могут стать дополнительным источником базой для выработки электроэнергии. Относительно новый прогрессивный способ выработки электроэнергии с использованием низкопотенциального тепла апробированы на ряде опытно-экспериментальных установках разработанных: в С-Петербуржском государственном техническом

университете, в лаборатории [1] бифазных энергетических установок (США, штат Калифорния), на фирме Фудзуки Электрик Корпорейш в Японии, в ЗАО «Турбоконт» [3]. Они предлагают новые подходы в получении и применении альтернативного энергоносителя – пароводяной струи, для эффективной генерации электроэнергии.

В связи с изложенным, лабораторией энергосбережения института физика НАН КР совместно с КГУСТА начаты работы, направленные на рациональное использование вторичных/сбросовых ресурсов горячей воды для генерации энергии, востребованного в промышленности и в быту.

В предыдущей работе [5] приведена принципиальная схема гидропаровой турбины (ГПТ) типа сегнерова колеса. Из описания его устройства и принципа работы следует, что вращение сегнерова колеса основано на использовании двухфазного потока. Реализация такой конструкции энергогенерирующей установки на практике, требует наличия источника пара или ее укомплектования парогенератором, рассчитанного на гораздо больший перепад температур подаваемого пара, а также разработку и создание основ теории и методики расчета и обоснованного выбора основных параметров установки.

В развитие данного направления предложен вариант, основанный на использовании только горячей воды в ГПТ, работающих на вскипающем потоке в сопле Лавалья. В таких установках весь расход горячей воды поступает в турбину, там вскипает и, расширяясь, совершает полезную работу. В этом случае в ГПТ используется вся энергия расширяющейся пароводяной смеси, в отличие от паровых турбин, где энергию отдает только пар [3], или турбин вращение которых обеспечивается напором воды.

Основными элементами таких аппаратов являются рабочее сопло, приемная камера, камера смешения - конфузор, диффузор. Потоки рабочей и инжектируемой сред поступают в камеру смешения, где происходит выравнивание скоростей, сопровождающееся, как правило, повышением давления. Из камеры смешения поток поступает в диффузор, где происходит дальнейший рост давления. Давление смешанного потока на выходе из диффузора выше давления инжектируемого потока, поступающего в приемную камеру. Повышение давления инжектируемого потока без непосредственной затраты механической энергии является основным и принципиальным качеством струйных аппаратов [6].

Преобразование суммарной тепловой и механической энергии потоков на входе в аппарат, в необходимую тепловую и механическую энергию смеси на выходе осуществляется практически без потерь. Потерями в этом случае будет рассеивание тепловой энергии в окружающую среду, которые для данного аппарата пренебрежимо малы. В качестве примера, на рис.1 приведена конструктивная схема устройства, применяемого для получения горячей воды.

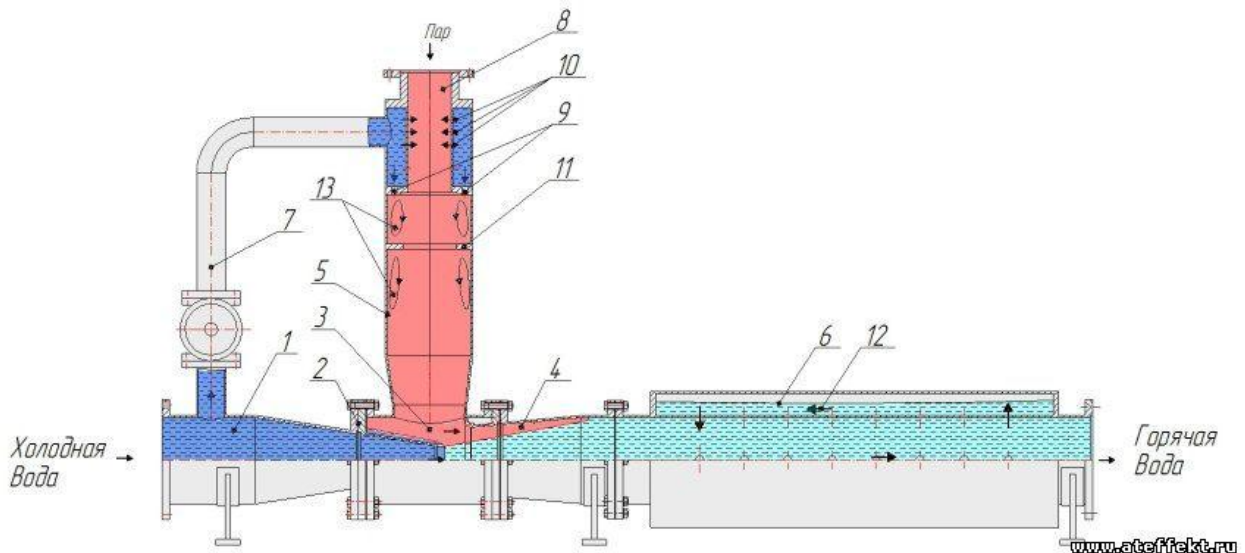


Рис.1. Конструктивная схема пароводяного струйного подогревателя: 1 - конфузор; 2 - водяное сопло; 3 - приемная камера; 4 - пристеночные обратные токи; 5 - камера предварительного смещения пара с водой; 6 - гаситель пульсаций; 7 - трубопровод; 8 - паропровод; 9, 10 - форсунки; 11 - генератор вихрей; 12 - возвратные течения; 13 - вихревые течения.

В данном устройстве, обратная вода из тепловой сети после циркуляционных насосов давлением поступает через патрубок подвода воды в разгонное сопло установки, а пар через патрубок подвода пара поступает в камеру предварительного смешения. Далее в камере происходит перемешивание воды и пара в смесь, которая далее поступает в диффузор и гаситель пульсации, где происходит дальнейшее перемешивание пароводяной смеси и нагревание до требуемой температуры. Нагретая обратная вода поступает в тепловую сеть.

В другом устройстве (рис. 2) в пароструйный аппарат (ПСА) поступают отдельно вода и пар. Смешиваясь, они образуют однородную двухфазную пароводяную смесь. При прохождении через камеру смешения скорость смеси падает и происходит скачок давления с конденсацией паровой фазы и ростом температуры. В результате давление горячей воды на выходе из аппарата оказывается выше давления воды на входе. Благодаря развитой поверхности взаимодействия фаз, размеры аппарата малы по сравнению со всеми существующими теплообменниками поверхностного типа (включая пластинчатые). Будучи внешне похожими на известные и широко применяемые струйные аппараты (эжекторы, инжекторы и т. п.), такие аппараты имеют принципиальное отличие в геометрии проточной части, что позволяет отнести их к классу устройств, работающих на скачке давления.

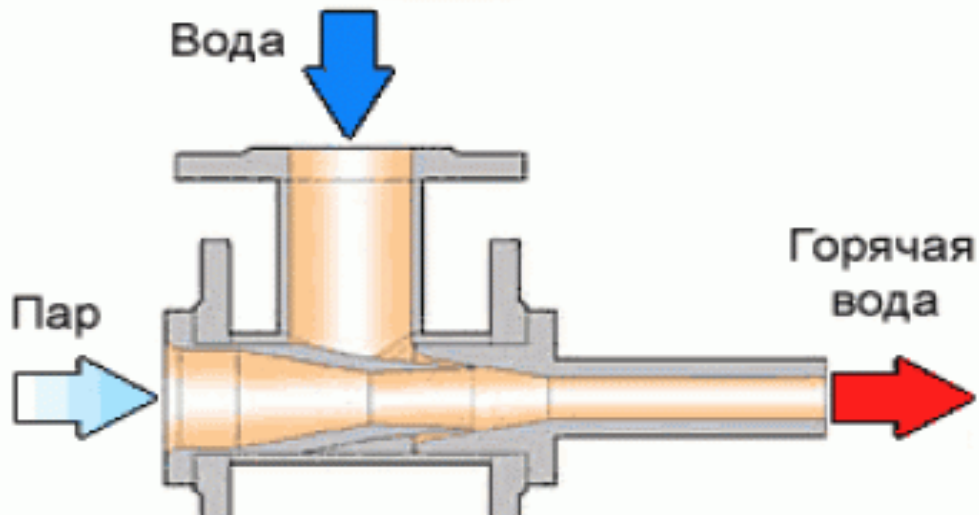


Рис. 2. Принципиальная схема пароводяного инжектора

Принцип действия ПСА основан на известном физическом явлении из области гидродинамики двухфазных потоков, суть которого заключается в возникновении скачка уплотнения в двухфазном потоке при разгоне последнего до сверхзвуковой скорости и последующего торможения с переходом звукового барьера. Скорость звука в полученной двухфазной смеси снижается и становится меньше, чем скорость движения самой смеси. То есть, режим движения смеси становится сверхзвуковым. В процессе истечения этой смеси через камеру смешения в смеси возникает прямой скачок уплотнения и происходит преобразование энергии скоростного напора в энергию статического давления.

Подвод пара осуществляется через сужающееся дозвуковое или сверхзвуковое сопло Лавала. Выбор сопла определяется отношением давления пара на выходе из сопла и давлением жидкости на входе в аппарат. Давление смешанного потока на выходе из диффузора выше давления инжектируемого потока, поступающего в приемную камеру, но ниже давления рабочего потока, т.е. $P_n < P_c < P_p$. В работе [1] отмечают, что при определенных соотношениях геометрических размеров, возможно получения давления смеси на выходе, превышающие давление на входах в аппарат.

Не у всех ПСА сжатие инжектируемого потока происходит непрерывным образом. Скорость несжимаемого потока, согласно уравнения неразрывности струи, должна уменьшаться по ходу течения, вдоль непрерывно расширяющегося канала (в диффузоре), что сопровождается плавным ростом статического давления по уравнению Бернулли [1,2]. На рис.3 приведен график изменения давления по длине аппарата.

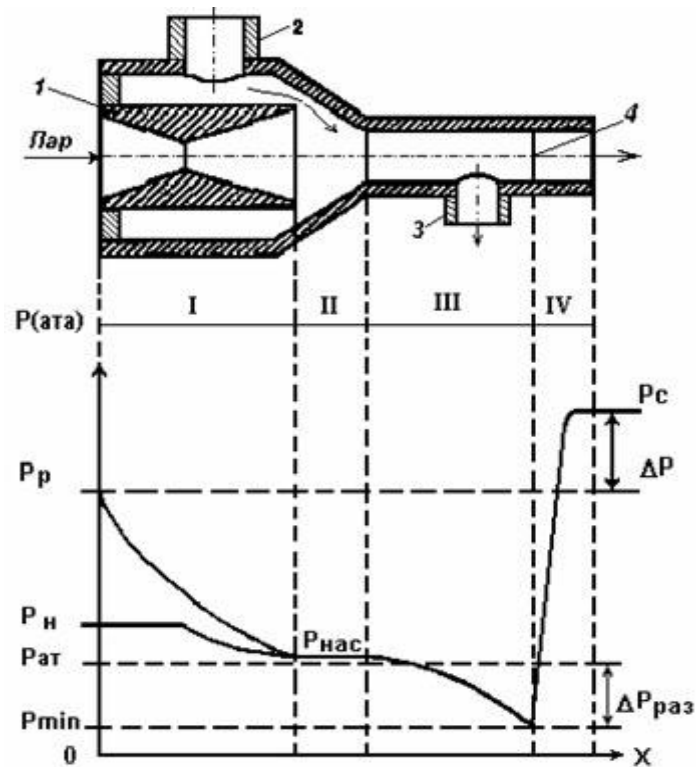


Рис. 3. Характер изменения давления по длине аппарата

Статическое давление по длине аппарата ведет себя следующим образом: I — на этом участке давление падает в паровом и жидкостном соплах; II — на срезе сопла давление примерно равно давлению в КС, если сопло работает в расчетном режиме. Давление в КС по завершению формирования смеси устанавливается равным давлению насыщения при температуре на границе раздела фаз, в зависимости от требуемой температуры смеси оно может быть больше или меньше атмосферного; III — давление в начале ГД падает перед скачком, т.к. сконденсировавшийся пар занимает меньший удельный объем, чем до конденсации, а сечение цилиндрического участка постоянно в отличии от КС; IV — дозвуковое течение смеси. На границе участков III и IV происходит скачок давления, его рост продолжается в диффузоре. $P_{раз}$ — разряжение в ГД, $P_{п}$ — превышение давления смеси на выходе из аппарата над давлением пара на входе.

Интерес для изучения представляет также зависимость расхода смеси G_c на выходе из аппарата и ее температуры T_c от противодавления P_c , оказываемое системой. При фиксированных параметрах потоков на входе в аппарат, для аппарата с центральным подводом пара и периферийным подводом жидкости входными параметрами являются: P_p — давление рабочего потока (пара), T_p - его температура (для перегретого пара), $P_{и}$ - давление инжектируемого потока (воды), $T_{и}$ - его температура. T_0 есть рассмотрим функции $G_c = G_c(P_c)$, $T_c = T_c(P_c)$.

При любой внутренней геометрии и значений входных параметров для используемых ПСА, работающих без срыва процесса, эти зависимости имеют качественно следующий вид (рис. 4).

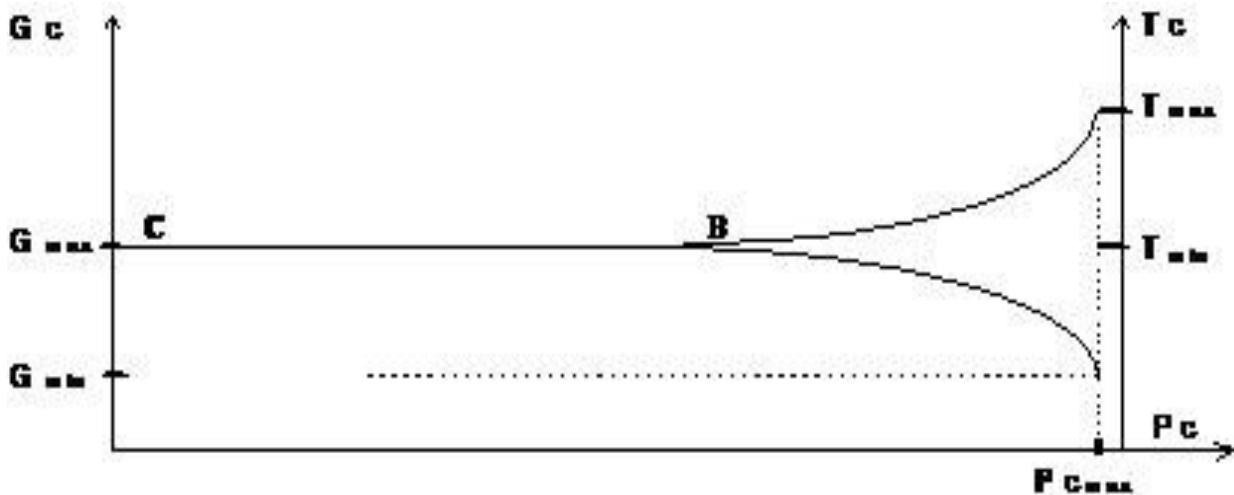


Рис.4. График зависимости изменения противодавления

Участок СВ графика соответствует сверхзвуковому режиму работы, так как изменение противодавления не оказывает влияния на работу аппарата: расход и температура нагретой воды на выходе не изменяется. Область правее точки В дает выход аппарата из сверхзвукового режима в дозвуковой, так как параметры потока изменяются с изменением противодавления. Методика расчета геометрии аппарата должна основываться на том, что противодавление, закладываемое в расчет, должно соответствовать одной из точек на участке СВ рабочей характеристики. Это определяется тем, что сверхзвуковой режим работы аппарата является наиболее устойчивым по отношению к колебанию входных параметров и изменению противодавления на выходе. Сверхзвуковой режим работы на отрезке СВ соответствует постоянному коэффициенту инжекции $\mu = G_{и}/G_{р}$. Для традиционных пароводяных инжекторов, которым соответствует область правее точки В на рабочей характеристике, коэффициент инжекции имеет переменное значение.

Для экспериментальной проверки изложенного выше подхода проектированию ГПТ со струйными аппаратами, в ходе исследования разработана конструкторская документация на установку для генерации энергии с использованием пароводяной струи [4]. Также была создана компьютерная модель, на основе которой изготовлен опытно-экспериментальный образец пароструйной установки. Они приведены соответственно на рис.5 и 6.

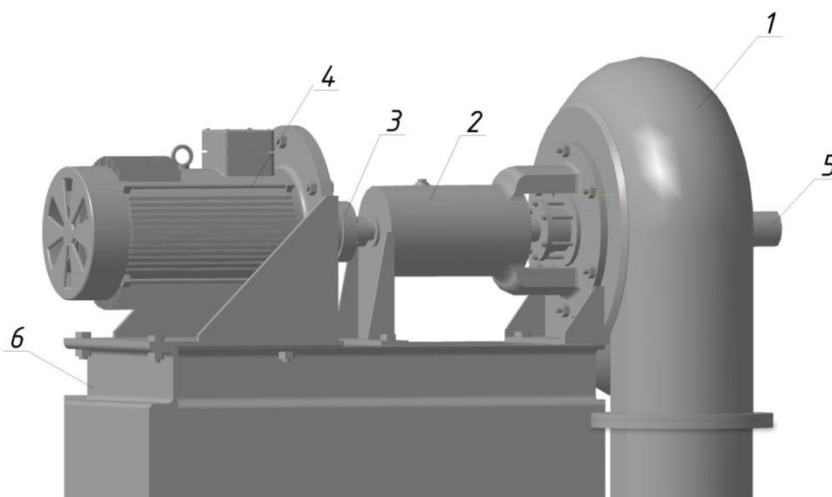


Рис. 5. Компьютерная модель установки для генерации электроэнергии с использованием пароводяной струи: пароводяная турбина с соплами, 2 – узел соединения турбины с генератором, 3 – муфта, 4 – электрогенератор, 5- патрубок для подачи горячей воды, 6 – корпус.



Рис.6. Опытно-экспериментальный образец пароструйной установки

Выводы. Таким образом, можно сделать следующий вывод. ПСА идеально подходит для технологических процессов, где надо перемешать, нагреть и прокачать различные смеси жидких и газовых сред. Способность ПСА преобразовывать тепловую и механическую энергию пара и жидкости на входе в аппарат в тепловую и потенциальную энергию давления смеси на выходе, практически без потерь тепловой энергии, делает актуальным применение аппарата для энергогенерирующей установки, а также для замены утилизационных установок углеперерабатывающих комплексов.

Список литературы

1. Зысин В.А. Комбинированные парогазовые установки и циклы. Л.: Государственное энергетическое издательство, 1962.
2. Барилевич В.А., Смирнов Ю.А., Стариков В.И. О тепловой эффективности геотермальных электростанций. Теплоэнергетика, 1985 г. № 11.
3. Шевелев Д.В. Исследование физических особенностей течения рабочего тела и характеристик гидропаровой турбины. Кандидатская диссертация. Калуга. 2007 г.
4. Асанов А.А. Энергоэффективное использование углей Кыргызстана. Бишкек. «Инсанат», 2018. – 298 с.
5. Ниязов Н.Т., Дуйшеев Т., Джаманкызов Н.К., Асанов А.А., Акымбеков А. Исследование процессов в сопле Лавалья для парожидкостной струи. Бишкек. вестия КГУСТА. №1 2019 г.
6. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. М. Энергоатомиздат 1989 г.

УДК 532.52: 536.423

ГИДРОПАРОВАЯ ТУРБИНА, РАБОТАЮЩАЯ ПО ПРИНЦИПУ СЕГНЕРОВА КОЛЕСА

Н.Т.Ниязов, Н.К. Джаманкызов

Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а

Аннотация: Проводится теоретический анализ работы гидропаровой турбины, где рабочим телом являются низкопотенциальные источники вскипающей жидкости естественного и промышленного происхождения (до 200 °С). Показано, что эффективность работы турбины существенно зависит от структуры образованного двухфазного потока на выходном срезе сопла, связанного с режимом истечения.

Ключевые слова: сегнерова колесо, гидропаровая турбина, двухфазный поток.

HYDROPARVING TURBINE OPERATING ON THE SEGNER WHEEL PRINCIPLE

N.T. Niyazov, N.K. Dzhamankyzov

Institute of Physics named after J. Jeenbaev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a

Abstract: A theoretical analysis of the operation of a steam turbine is carried out, where the working medium is low potential sources of boiling liquid of natural and industrial origin (up to 200 ° C). It is shown that the efficiency of the turbine depends substantially on the structure of the formed two-phase flow at the exit section of the nozzle associated with the outflow mode.

Keywords: *Segner wheel, hydro steam turbine, two-phase flow*

Введение

В настоящее время использование всевозможных технологий для решения проблемы энергосбережения является актуальной и первоочередной задачей. Одним из перспективных направлений утилизации тепла низкого потенциала естественного и промышленного происхождения (до 200 °C) является преобразование его в механическую энергию в гидропаровых турбинах (ГПТ) [1-3]. Физика преобразования тепла в механическую энергию в ГПТ, работающей по принципу сегнерова колеса, заключается в том, что через внутренний канал вала в турбину подается перегретая вода. В результате вращения под действием центробежных сил рабочее тело поступает по радиальным каналам к соплам, установленным на периферии рабочего колеса. Проходя через сужающую часть сопла, поток ускоряется, затем перегретая вода, попадая в область низкого давления диффузорной части сопла Лавалья, начинает интенсивно вскипать. В результате образуется пароводяная смесь, которая выбрасывается из сопла со скоростью 150-200 м/с, что создает дополнительную реактивную тягу в сопле по сравнению с истечением холодной воды [4]. В отличие от традиционных паротурбинных установок в ГПТ происходит расширение рабочей среды в двухфазную область от левой ветви кривой равновесия [2] между насыщенными водой и паром. Для утилизации вторичных энергоресурсов характерен невысокий перепад температурного потенциала и, следовательно, невысоким будет термодинамический КПД любого процесса преобразования тепловой энергии в полезную механическую. Поэтому возникает необходимость решить проблему расчёта тягового усилия и мощности колеса реактивной ГПТ, оценить на этой основе реальный КПД установки в условиях заданного перепада температур.

Первые систематические исследования рабочего процесса и оборудования ГПТ были начаты В.А. Зысиным [3] и его коллегами [4]. Из опубликованных исследований истечения вскипающей воды из сопла Лавалья следует отметить работы [4-5], данные которых позволяют сделать следующие выводы. Эффективность ГПТ зависит от: завершенности процесса парообразования в движущейся перегретой воде; обеспечения безотрывного движения пароводяной смеси в каналах, что определяется чистотой обработки поверхности и углом раскрытия диффузорной части сопла Лавалья. С другой стороны, обладая такими качествами как: простота конструкции, технологичность изготовления, относительная дешевизна, надежность и безопасность в эксплуатации, ГПТ является серьезным конкурентом лопастным и винтовым турбинам в этой области.

Теория сегнерова колеса

Рассмотрим теорию сегнерова колеса с позиции современной теории турбомашин [5]. Пусть рабочее тело подводится к сегнерову колесу в трубе по оси вращения ($\mathbf{u}_1=0$), а покидает его у периферии, где окружная скорость \mathbf{u}_2 . По кинематической структуре – это радиально-осевая турбинная ступень центробежного типа. Рабочее тело вытекает из вращающихся сопел с относительной скоростью \mathbf{w}_2 . Реакция струи при этом приводит рабочее колесо во вращение и вырабатывается мощность. Для расчета этой мощности воспользуемся известным турбинным уравнением Эйлера. Формулы Эйлера выражают закон количества движения, поэтому они верны для любого потока идеальной или вязкой жидкости. Главный момент вращающих сил, действующих на рабочее колесо, рассчитываемое на основании теоремы о моменте количества движения системы материальных точек, выражается формулой [5].

$$M = G(c_{1u}r_1 - c_{2u}r_2) \quad (1)$$

Из этой формулы определяется вырабатываемая мощность решетки (колеса)

$$N = M\omega = G(c_{1u}u_1 - c_{2u}u_2) \quad (2)$$

где ω – угловая частота вращения, а $u_1 = r_1\omega_1$, $u_2 = r_2\omega$ – входные и выходные окружные скорости вращения.

Удельная работа развиваемая расходом в 1 кг/с рабочего тела ($h_u = \frac{dN}{dG}$) может быть выражена одной из следующих формул:

$$h_u = \frac{dN}{dG} = c_{1u}u_1 - c_{2u}u_2 ; \quad (3)$$

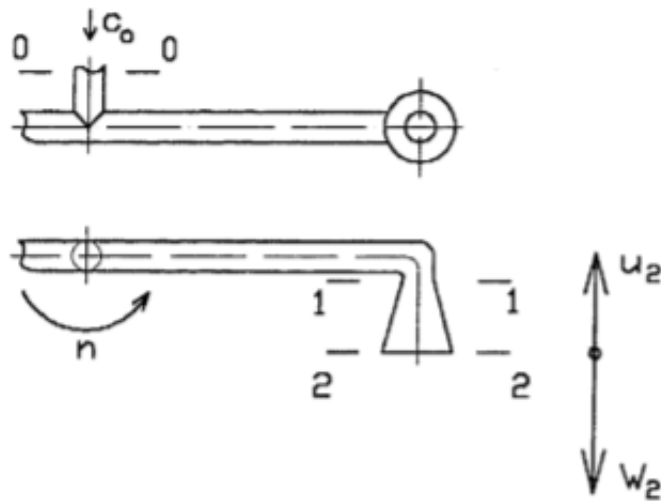
$$h_u = \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2} \quad (4)$$

причем уравнение (4) получается из (3) простого преобразования с привлечением теоремы косинусов.

Эти турбинные уравнения Эйлера справедливы для турбомашин всех типов. В том виде, как они записаны, для турбинной ступени $h_u > 0$, а для компрессорной $h_u < 0$. Для одномерных потоков удельная работа легко находится, если известны входной и выходной треугольники скоростей. Уравнения Эйлера доказывают, что удельная работа зависит только от окружных скоростей и проекций абсолютных скоростей потока на направление вращения или определяется изменениями кинетических энергий абсолютных, относительных и переносных (окружных) движений потока.

В рассматриваемом случае (см. рис.1), вектор \mathbf{w}_2 образует с осью вектора \mathbf{u} угол равную $\beta_2=180^\circ$. Абсолютная скорость потока рабочего тела,

определяемая как $c_2 = w_2 - u_2$, направлена под углом $\alpha_2 = \beta_2$. Поэтому проекция абсолютной скорости на ось u направленной в сторону вращения будет равна $c_{2u} = -c_2$.



Тогда согласно (3) удельная работа принимает вид

$$h_u = -c_{2u}u_2 = c_2u_2 \quad (5)$$

Предположим, что рабочее тело перед сегнеровым колесом имеет параметры: i_1^* , T_1^* , p_1^* , ρ_1^* . Во вращающемся канале за счет центробежной силы создается компрессорный эффект, и рабочее тело сжимается, поток получит дополнительную энергию. Это означает, что энтальпия повышается на величину определяемой удельной работой кариолисовой силы, т.е.

$$h_\omega = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} \approx \frac{u_2^2}{2} \quad (6)$$

При вычислении параметров рабочего тела следует учитывать потерю энергии потока от трения в трубке на участке от входного сечения 0-0 до входного сечения в сопло 1-1. Если за коэффициент потери ξ_{w_1} принимается коэффициент для обычных труб, то удельная работа силы трения определяется из выражения

$$\Delta h_{w_1} = \xi_{w_1} \frac{w_1^2}{2} \quad (7)$$

Для расчета общей удельной работы используем уравнение первого закона термодинамики в форме Эйлера, которое без учета внешней потенциальной энергии имеет вид

$$dq = di + d\left(\frac{w^2}{2}\right) \quad (8),$$

где q – удельный тепловой поток, i – удельная энтальпия. При адиабатическом процессе $dq = 0$, и удельная работа без учета потерь энергии равна

$$h = \frac{w^2}{2} = i_0 - i_1 \quad (9),$$

и показывает процесс превращения тепловой энергии $i_0 - i_1$ потока в её кинетической энергии. Тогда теоретическая (располагаемая) работа, совершаемая в сопле и скорость истечения с учетом (6) и (7) находятся по формулам

$$h_2^* = i_1^* + h_\omega - i_{2t}^* - \Delta h_{w_1} \quad (10),$$

$$w_{2t} = \sqrt{2h_2^*} \quad (11),$$

где индекс значок t показывает, что процесс происходит в изоэнтропийном случае. Однако, действительная скорость истечения определяется из выражения

$$w_2 = \psi \sqrt{2h_2^*} \quad (12),$$

где $\psi = \frac{w_d}{w_0}$ - коэффициент скорости. В самом деле, при одинаковом перепаде давления температура рабочего тела в конце адиабатного процесса расширения при истечении с трением выше, чем в конце адиабатного расширения без трения; следовательно, скорость истечения w_d в действительном процессе меньше, чем в идеальном w_0 ($w_d < w_0$).

Поскольку модуль абсолютной скорости $c_2 = w_2 - u_2$, тогда согласно (5) удельная работа на окружности с учетом (12) будет равна

$$h_u = u_2(\psi \sqrt{2h_2^*} - u_2) \quad (13)$$

Располагаемая работа с учетом (10) будет равна

$$h_0 = i_1^* - i_{2t}^* = h_2^* - h_\omega + \Delta h_{w_1} \quad (14)$$

Окружной КПД определяется выражением

$$\eta = \frac{h_u}{h_0} = 2u_2(\psi \sqrt{2h_2^*} - u_2)/C_0^2 \quad (15),$$

где $C_0^2 = 2h_0$

При идеализированном случае, когда $\psi = 1$ и $\Delta h_{w_1} = 0$, а также при пренебрежении потерями энергии в парожидкостном потоке, вышедшем из ротора с абсолютной скоростью c_2 , окружной КПД (15) принимает вид

$$\eta = 2 \frac{u_2}{c_0} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{u_2}{c_0}\right)^2} - \frac{u_2}{c_0} \right] \quad (16),$$

так как в этом случае $h_{2t}^* = h_0 + \frac{u_2^2}{2}$.

Предельный режим истечения вскипающего потока

Рассмотрим работы гидропарового двигателя, основанного на процессах истечения перегретой воды из сопел Лаваля. Из теоретического анализа изознтропного процесса истечения жидкости вытекает [3], что если полное давление перед соплом p_0 превышает давление насыщения p_s на некоторую величину, то возникает режим истечения, который называется предельным. Такой режим характеризуется тем, что вскипание жидкости возникает только в критическом сечении, совпадающем с минимальным сечением сопла. До этого сечения парообразование оказывается невозможным [3].

При предельном режиме истечения скорость потока на минимальном сечении сопла, называемого критической скоростью потока, определяется из выражения [4]

$$w_{кр.пред} = \frac{v' r}{\sqrt{c' T (v'' - v') v'}} \quad (17),$$

где c', T, v', v'', r - параметры жидкости и сухого пара при температуре перед соплом (теплоемкость, температура, удельный объем жидкости и пара, удельная теплота испарения соответственно).

Отсюда условием возникновения предельного режима истечения является неравенство:

$$\Delta p_{пр} = (p_0 - p_s) > \frac{w_{кр.пред}^2}{2v'} \quad (18)$$

В реальных условиях возникает неравновесный процесс, обусловленный не только силами трения, но и механизмом образования паровых пузырей, определяющих структуры потока. В итоге критическое давление оказывается ниже значения p_s , а действительная скорость в минимальном сечении превышает теоретическую, определяемой по (17). Однако различные опыты показали, что в реальных условиях все качественные закономерности предельного режима истечения сохраняются. Связь между теоретической и действительной скоростями определяется скоростным коэффициентом $\psi = \frac{w_d}{w_0}$, который определяет эффективность работы сопла. С помощью (17) и (18) выражение для предельного изменения давления можно записать как

$$\Delta p_{пр} = \frac{v' r^2}{2v''^2 c' T}, \quad (19),$$

поскольку имеет место $v'' \gg v'$.

Используя линейризованное уравнение Клайперона-Клаузиуса, находим предельный начальный недогрев жидкости до температуры насыщения, который обуславливает достижение предельной скорости перед фронтом закипания:

$$\Delta t_{\text{пр}} = \frac{(v'' - v')v'r}{2v''^2 c'} \quad (20)$$

Тогда можно найти связь между предельной скоростью с начальным недогревом

$$w_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{2v'r\Delta t_{\text{пр}}}{T(v'' - v')}} \quad (21)$$

и получить выражение для удельного предельного расхода

$$G_{\text{пр}} = \frac{w_{\text{пр}}}{v'} = \sqrt{\frac{2r\Delta t_{\text{пр}}}{T(v'' - v')v'}} \quad (22)$$

Таким образом, возникновение предельного режима истечения обуславливает условия создания работоспособной гидропаровой турбины [4]:

- процесс парообразования должен осуществляться только в расширяющейся части сопла Лавая;
- до минимального сечения этого сопла поток должен удовлетворять условию (18);
- за соплом Лавая двухфазный сверхзвуковой поток не должен встречать движущиеся части, подверженные износу.

Однако надо обратить внимание, что для эффективной работы сопла основной величиной является коэффициент скорости ψ . Это связано с тем обстоятельством, поскольку при истечении самоиспаряющейся жидкости через сопло реальная скорость потока определяется структурой образованного двухфазного потока и их механизмом возникновения. Следовательно, величина ψ будет другая и для исследования этих факторов в литературе существует различные модели [4]. Помимо структурных факторов на величину ψ влияет также абсолютное значение давления и начальный недогрев $\Delta t_{\text{н}}$, что относится к мало исследованным направлениям.

Остановимся на случае, когда через турбины сегнера колеса течет вскипающая вода. Разгон пароводяного потока сопровождается потерей кинетической энергии, вышедшей из ротора с абсолютной скоростью c_2 . Тогда в выражении КПД, определяемого как

$$\eta = \frac{h_u}{h_0}, \quad (23)$$

полезная удельная работа на окружности рабочего колеса h_u определяется как алгебраическая сумма следующих работ: работа расширения - h_p , работа кариолисовых сил - $h_k = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2}$ и работа потери кинетической энергии - $\Delta h_3 = \frac{c_2^2}{2}$; величина $h_0 = i_1 - i_2$ располагаемый теплоперепад, где i_1 и i_2 – энтальпии рабочего тела до входа в турбину и после выхода из сопла при расширении его без потерь, соответственно. Поскольку, часть работы кариолисовой силы полезно используется для преобразования в механическую энергию вращения рабочего колеса, тогда выражения для работы расширения можно записать в виде

$$h_p = \left(h_0 + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} \eta_n \right) \eta_e \quad (24),$$

где η_n - кпд насосного эффекта, характеризующий эффективность преобразований работы кариолисовых сил в потенциальную энергию для повышения давления рабочего тела, η_e - кпд сопла. Тогда кпд гидропаровой турбины (23) после несложных математических преобразований имеет вид

$$\eta = \frac{u_2^2 - u_1^2}{c_0^2} (\eta_n \eta_e - 1) + \eta_e - \frac{c_2^2}{c_0^2} \quad (25)$$

Далее учитывая, что $c_2 = w_2 - u_2$ выражению (25) перепишем в виде

$$\eta = \frac{u_2^2 - u_1^2}{c_0^2} (\eta_n \eta_e - 1) + \eta_e - \frac{(w_2 - u_2)^2}{c_0^2} \quad (26)$$

Здесь относительная скорость паракапельной смеси w_2 на выходе из сопла определяется

$$w_2 = \psi \sqrt{i_1 - x i_2'' - (1 - x) i_2'} \quad (27),$$

где i_2'' - энтальпия сухого пара, i_2' - энтальпия жидкости, x – степень сухости пара. Формула (27) показывает, что рабочее тело на выходе из сопла имеет двухфазную структуру.

Из выражения (15) и (16) видно, что при течении через сегнерово колесо однокомпонентного рабочего тела без фазового перехода кпд зависит от $\frac{u_2}{c_0}$ и от коэффициента сохранения скорости ψ . С уменьшением ψ максимум кпд смещается в сторону меньшего значения $\frac{u_2}{c_0}$, что графически показано в [5]. Это объясняется как раз влиянием кариолисовых сил на повышение давления рабочего тела при её движении от центра к периферии.

В случае течения вскипящей жидкости кпд установки определяется формулой (26) и (27), где учитываются дополнительные потери кинетической

энергии. Оказывается, эти потери энергии будут зависеть от структуры потока и размеров капель и, в общем случае, характеризуются отношением средних относительных скоростей жидкой фазы и пара, т.е.

$$v = \frac{w_{2ж}}{w_{2п}}. \quad (28)$$

Другой важный момент – тот фактор, что коэффициент сохранения скорости ψ сопл, работающих на вскипающих рабочих телах, оказался меньше, чем соответствующие его значения скорости при течении жидкости без вскипания [7]. Для учета этих факторов кинетическую энергию $\frac{c_2^2}{2}$ представим в виде

$$\frac{c_2^2}{2} = \frac{(w_2 - u_2)^2}{2} = x \frac{(w_{2п} - u_2)^2}{2} + (1 - x) \frac{(w_{2ж} - u_2)^2}{2} \quad \text{с учетом (28) эту выражению}$$

перепишем как

$$\frac{(w_2 - u_2)^2}{2} = x \frac{(w_{2п} - u_2)^2}{2} + (1 - x) \frac{(vw_{2п} - u_2)^2}{2},$$

где выражение $x \frac{(w_{2п} - u_2)^2}{2}$ показывает долю кинетической энергии сухого пара, а слагаемое $(1 - x) \frac{(vw_{2п} - u_2)^2}{2}$ энергию кипящей жидкости.

Тогда для КПД получим выражение

$$\eta = \frac{u_2^2 - u_1^2}{c_0^2} (\eta_n \eta_e - 1) + \eta_e - x \frac{(w_{2п} - u_2)^2}{c_0^2} - (1 - x) \frac{(vw_{2п} - u_2)^2}{c_0^2} \quad (29)$$

Теперь относительной скорости пара $w_{2п}$ необходимо выразить через среднее относительной скорости $w_{2ср}$. Её можно определить из выражения

$$w_{2ср} = \sqrt{\eta_e 2h_p} = \psi \sqrt{\eta_e (i_1 - xi_2'' - (1 - x)i_2')} \quad (30)$$

С другой стороны эту же скорость $w_{2ср}$ представим через энергии соответствующих фаз как

$$w_{2ср} = w_{2п} \sqrt{x + (1 - x)v^2} \quad (31)$$

Следовательно, окончательно для $w_{2п}$ находим

$$w_{2п} = \frac{\psi \sqrt{\eta_e (i_1 - xi_2'' - (1 - x)i_2')}}{\sqrt{x + (1 - x)v^2}} \quad (32)$$

Таким образом, формула (29) совместно с (32) позволяет определить КПД работы вскипающего рабочего тела при истечении его через турбины типа

сегнерова колеса с учетом влияния коэффициента постоянной скорости и скольжении фаз, который характеризует воздействие отношений относительных скоростей парокапельной смеси.

В заключение отметим, что использование вскипающей жидкости в качестве энергетического рабочего тела основной интерес представляет степень преобразования теплоперепада в кинетическую энергию направленного движения струи образовавшегося двухфазного потока. От его структуры, которая формируется к выходному срезу канала, зависят различные режимы истечения. Следовательно, они в конечном итоге отражаются на величине коэффициента постоянной скорости и скольжения фаз и определяют эффективность работы гидропарового генератора.

Список литературы

1. Булат А.Ф. Научно-технические основы создания шахтных когенерационных энергетических комплексов / А.Ф.Булат, И.Ф.Чемерис. – К.: Наук. думка, 2006. – 176 с.
2. Ривкин С.Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара / С.Л.Ривкин, А.А.Александров. – М.: Энергия, 1980. – 424с.
3. Зысин В.А. Комбинированные парогазовые установки и циклы / В.А.Зысин. – М.: Наука, 1962. – 187с
4. Вскипающие адиабатные потоки/ В.А.Зысин, Г.И.Баранов, Г.И.Барилевич [и др.] – М.: Атомиздат, 1976. – 152с.
5. Кириллов И.И. Кириллов А.И. Теория турбомашин. Л. Машиностроение, 1974. - 310 с.
6. Карышев К.К., Мильман Ю.А., Шевелев В.В. Влияние скольжения фаз на характеристику гидропаровой турбины, работающей по принципу сегнерова колеса // Известия ВУЗов, Транспортное и энергетическое машиностроение, 2007. №10. с. 25-29
7. Голдин А.С. Мильман Ю.А. Экспериментальное исследование расширяющихся сопел, работающих на сильно недогретой воде. // Теплоэнергетика 2003. №3. С.70=73

УДК: 535.41: 778.38

ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ НА ОБЪЕМНЫХ НОСИТЕЛЯХ

Т.Э. Кулиш, Д.А. Исмаилов, К.М. Жумалиев

*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек,
пр. Чуй 265-а
tkulich@mail.ru, ismailov_j@mail.ru, jkm56@mail.ru*

Аннотация. Рассматривается один из перспективных методов исследования в области неразрушающего контроля напряженно-деформированного состояния объектов - голографическая интерферометрия. Он позволяет контролировать дефекты материала на малом участке деформирования и не требует разрушения исследуемых объектов.

Ключевые слова: Голограмма, интерферометрия, регистрирующая среда, фотопластина, лазер.

HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY ON VOLUME RECORDING MEDIUM

T.E. Kulish, D.A. Ismailov, K.M. Zhumaliev

*Institute of Physics named after J. Jeenbaev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek,
pr. Chui, 265-a
tkulich@mail.ru, ismailov_j@mail.ru, jkm56@mail.ru*

Abstract. The one of the most promising methods in the field of non-destructive testing of the stress-strain state of objects is holographic interferometry. It allows you to control the material defects on a small part of deformation and does not require the destruction of the objects.

Keywords: Hologram, interferometry, high-resolution recording medium, photographic plate, laser.

В настоящее время голография в трехмерных регистрирующих средах нашла применение в различных областях науки и техники, в частности в изобразительной голографии, в создании голограммных отражательных фокусирующих элементов, в записи и последующем считывании информации с чрезвычайно большой емкостью, в динамической голографии и др. Объемные регистрирующие среды также успешно используются в голографической интерферометрии.

Нами предложен способ получения наложенных двухэкспозиционных интерферограмм в объемных регистрирующих средах [1]. Способ получения голографических интерферограмм может быть реализован как на плоских регистрирующих средах, так и в объемных регистрирующих средах, когда двухэкспозиционные голографические интерферограммы записываются в них в виде наложенных голограмм. При создании устройств на основе описанного

способа к характеристикам регистрирующих материалов для регистрации наложенных двухэкспозиционных интерферограмм с целью изучения того или иного процесса изменения объекта с определенной скоростью и длительностью предъявляется ряд требований. Характеристиками регистрирующего материала, представляющими наибольший интерес с этой точки зрения являются: предел емкости записи, дифракционная эффективность, светочувствительность и разрешающая способность.

Известно, что регистрирующие среды условно разделяются на плоские и объемные. Критерий перехода от двумерных к трехмерным регистрирующим средам определяется соотношением Клейна [2].

$$P \geq 1,6 \frac{d^2}{\lambda} \quad (1)$$

где P – толщина регистрирующего слоя;
 d – расстояние между интерференционными полосами;
 λ – длина волны излучения в регистрирующей среде.

Запись наложенных голограмм возможна на плоских носителях, однако с ростом количества наложенных голограмм, дифракционная эффективность восстановленного изображения с каждой голограммы уменьшается как $\frac{1}{N^2}$, понижается отношение сигнал/шум в плоскости изображения, а также значительную трудность представляет необходимость отклонения опорного пучка на большие углы вследствие их низкой угловой селективности [3].

С точки зрения записи наложенных голограмм гораздо большими потенциальными возможностями обладают объемные регистрирующие среды. Благодаря высокой угловой селективности объемных голограмм в одном и том же объеме регистрирующей среды возможно наложение большого числа голограмм от 100 до 1000.

Процесс записи наложенных голограмм плоской волны в объемных регистрирующих средах исследован в работе [4]. Более подробное изложение для фазовых и амплитудных голограмм приведено в [5]. В частности, в этой работе приведены соотношения определяющие предел емкости записи наложенных голограмм. Этим параметром в нашем случае определяется количество записываемых наложенных голограмм объекта в разных его состояниях и это, в свою очередь, позволяет установить длительность процесса изменения исследуемых объектов с большими оптическими возмущениями. Количество наложенных голограмм определяется следующим образом. Поскольку ненагруженное и последующее, нагруженное состояния объекта экспонируются по одному разу, а остальные состояния по два раза, то чтобы получить голографические интерферограммы n -нагруженного состояния необходимо проделать $2n$ экспозиций. В двухэкспозиционной интерферометрии, в результате интерференции двух волн образуется картина, интенсивности максимумов которой равна интенсивности волны, восстановленной однократно экспонированной голограммой. Поэтому $2n$ –

экспозиции можно рассмотреть как n -наложенные голограммы с требуемой дифракционной эффективностью.

Наиболее важной характеристикой регистрирующих сред в определении предела записи является дифракционная эффективность. Она для толстой синусоидальной поглотительной голограммы определяется формулой

$$\eta = \exp\left(-2\alpha\frac{d}{\cos\theta_i}\right) \operatorname{Sh}^2\left(\alpha_1\frac{d}{2\cos\theta_i}\right), \quad (2)$$

где α - средний коэффициент поглощения света;

α_1 - амплитуда модуляции поглощения;

d - толщина голограммы;

θ_i - полуугол между объектным и опорным пучками внутри среды.

Максимальное значение дифракционной эффективности для рассмотренной голограммы достигается при $\frac{\alpha_1 d}{\cos\theta_0} = \ln 3$ и равно $\eta_{max} = 3,7\%$.

Дифракционная эффективность толстой синусоидальной фазовой голограммы дается следующим выражением

$$\eta = \sin^2\left(\frac{\pi n_1 \alpha}{\lambda \cos\theta_{i1}}\right), \quad (3)$$

где n_1 – амплитуда модуляции показателя преломления.

Если в выражении (3) аргумент равен нечетному числу $\frac{\pi}{2}$, то

$$\eta_{max} = 100\%$$

Как будет показано ниже, наибольшей потенциальной емкостью записи голографической информации обладают фазовые голограммы.

Предел емкости записи обычно рассматривается со следующих точек зрения:

1. Предел емкости записи наложенных фазовых голограмм, накладываемых динамическим диапазоном, в котором объемная голограмма представляется как диэлектрическая решетка без потерь, и показатель преломления среды Δn изменяются линейно связано с экспозицией. При таком предположении количество наложенных голографических интерферограмм определяется формулой

$$N_\phi = \frac{\Delta n \cdot \pi \cdot d}{2(\arcsin(\eta))^{1/2} \cdot \lambda \cdot \cos(\theta_i)} \quad (4)$$

где λ – длина волны излучения в среде.

На рисунке 1 приведен график зависимости $N_\phi(d)$ при $\lambda=0,5$, $\theta_i = 20^\circ$, $\Delta n=10^{-3}$ и различных η .

Большое количество наложенных голограмм в толстых фазовых голограммах достигается за счет уменьшения дифракционной эффективности голограмм или увеличением толщины регистрирующих сред.

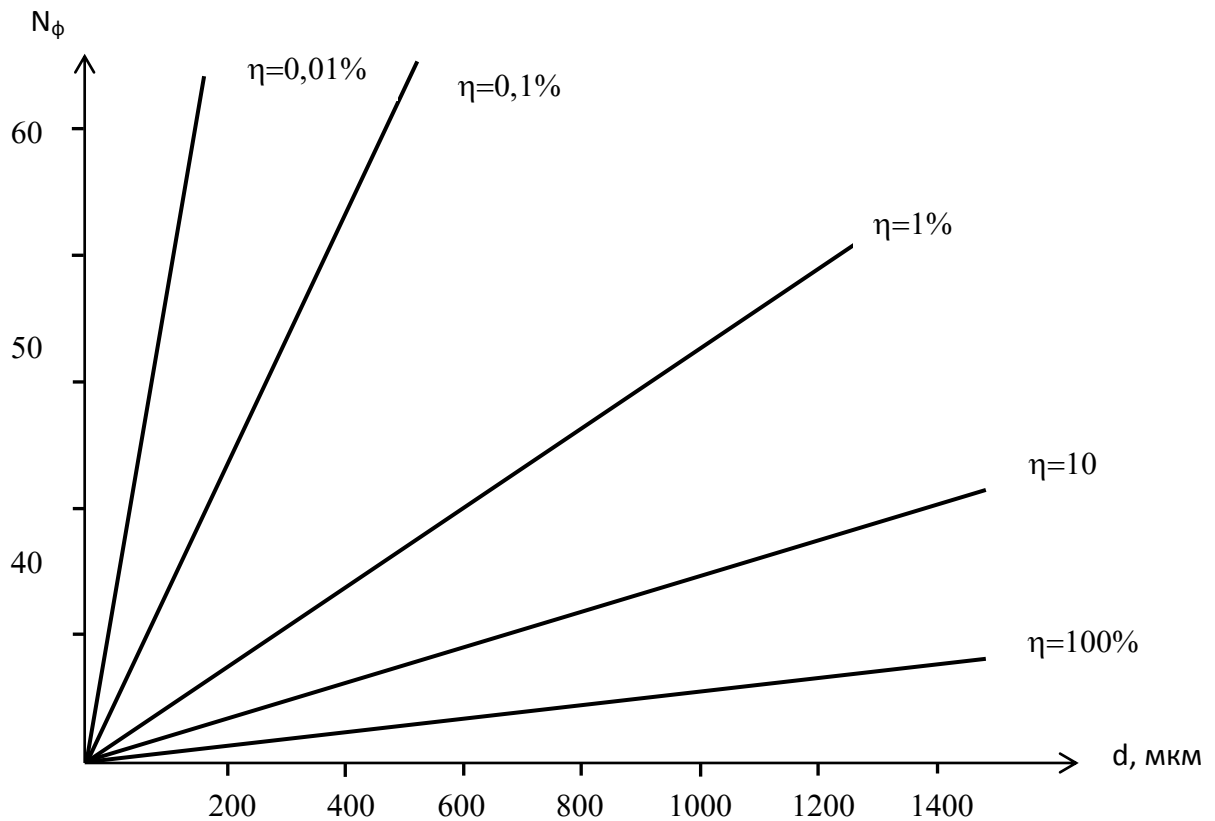


Рис. 1. Зависимость количества наложенных голограмм N от толщины голограммы d

2. Рассмотрим предел емкости записи наложенных голографических интерферограмм в случае поглощающих материалов. Пусть в процессе записи используется весь имеющийся диапазон поглощения $\Delta\alpha$ среды для записи. Тогда количество записываемых наложенных голографических интерферограмм определяется формулой

$$N_n = \frac{1}{3(3\eta)^{1/2}} \quad (5)$$

При $\eta=3,7\%$, т.е. предельно большом значении дифракционной эффективности записывается одна голограмма. На рисунке 2 приведен график зависимости $N_k(\eta)$.

Дифракционная эффективность каждой голограммы, записанная в поглощающих материалах в виде наложения падает как $\frac{1}{N^2}$, вследствие этого количество записываемых наложенных интерферограмм значительно ниже, чем в фазовых фотоматериалах.

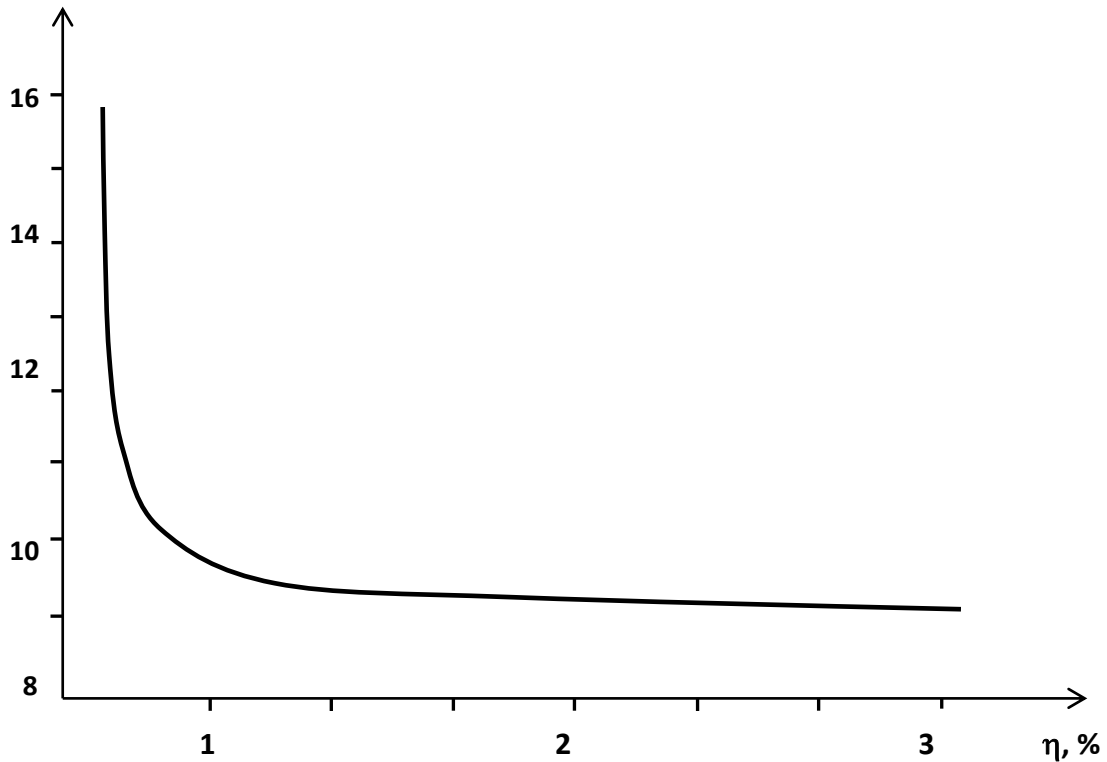


Рис. 2. Зависимость числа наложенных голографических интерферограмм от дифракционной эффективности каждой голограммы

3. Предел емкости записи наложенных голографических интерферограмм, связанный с угловой селективностью. Если все опорные пучки лежат в одной плоскости и диапазон углов опорного пучка вне материала для записи равен Φ , то полное число наложенных голографических интерферограмм равно

$$N_y = \frac{\Phi d}{AnL} \quad (6)$$

где d - толщина материала;

n - средний показатель преломления материала;

L - период решетки;

A - коэффициент угловой селективности, который для фазовых материалов равен $0,886 \div 0,799$ при $n=0 \div 100\%$, что соответствует увеличению n от 0 до $\lambda \cos \theta_i / 2d$, и для поглощающих материалов $A=0,886 \div 0,895$ при $n=0 \div 3,7\%$, что соответствует увеличению α от 0 до $\ln 3 \cos \theta_i / d$

На рис. 3 приведен график зависимости числа наложенных голограмм от толщины $N_y(d)$ при $\Phi=30$, $\lambda=0,5 \mu\text{м}$, $n=2,0$, $\theta=45$ (вне среды) $n=2,0$, $L = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = 0,35 \mu\text{м}$ и $A=0,886$.

Из графика видно, что зависимость прямолинейная.

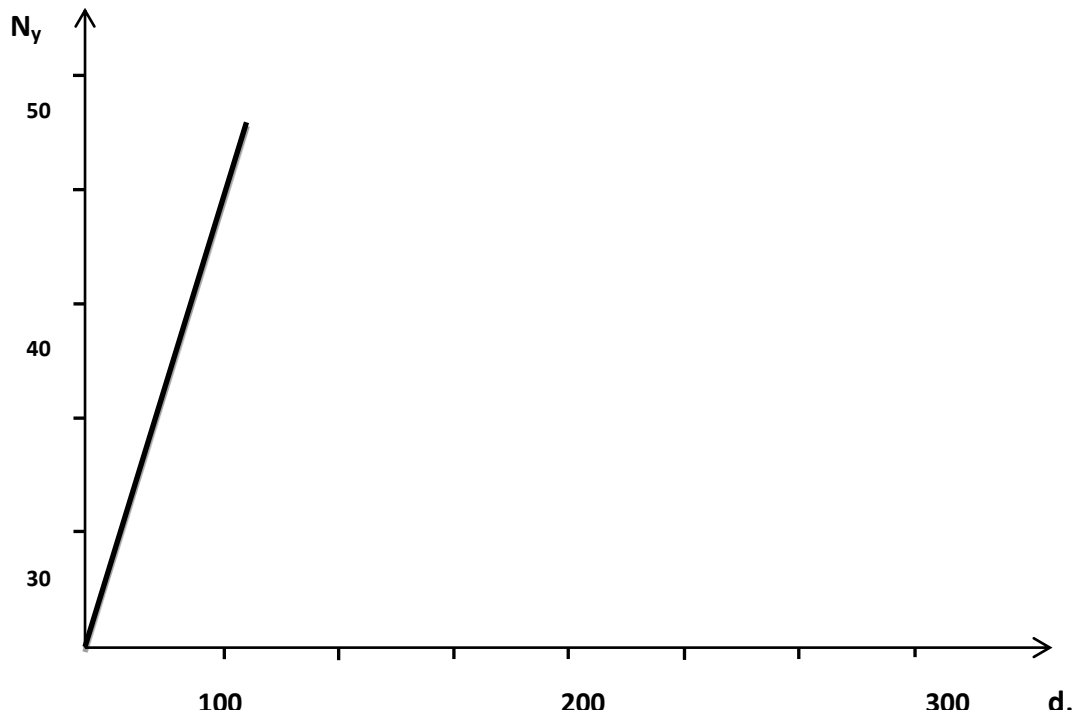


Рис. 3. Зависимость числа наложенных голографических интерферограмм, от толщины голограммы

4. Предел емкости записи наложенных голографических интерферограмм, связанный с взаимодействием соседних голограмм из-за случайного характера регистрируемой информации. При восстановлении наложенных голографических интерферограмм в пучок света, дифрагированный на одной из голограмм, вносится вклад от каждой из остальных голограмм. Количество восстанавливаемых наложенных интерферограмм при данном отношении сигнала шума (ОСШ) определяется формулой

$$N = \frac{d}{8\lambda(\text{ОСШ})^2} \quad (7)$$

Если ОСШ=5, при d=1 мм, можно записать 10 наложенных голографических интерферограмм.

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что количество записываемых наложенных голографических интерферограмм максимально в толстых фазовых материалах, и оно существенно ограничивается с взаимодействием соседних голограмм из-за случайного характера регистрируемой информации.

Светочувствительность фотоматериалов является одним из важных параметров для записи в них наложенных двухэкспозиционных интерферограмм. Она определяет время экспонирования голограмм, это в свою очередь важно для выбора той или иной методики, чтобы исследовать изменяющиеся объекты с требуемой скоростью. Критерием чувствительности

служит величина экспозиции, необходимая для достижения определенной дифракционной эффективности голограмм [6] и определяется формулой

$$E = \frac{\eta_{\tau} t_{\tau} P}{A} \quad (8)$$

где η_{τ} - эффективный коэффициент передачи энергии от лазера к фотоматериалу;

P - выходная мощность излучения лазера;

T_{τ} - время экспонирования;

A - площадь сечения пучка освещающего голограмму.

За время экспозиции t_{τ} максимальное изменение оптической длины пути предметного пучка от источника до голограммы в результате перемещения объекта не должно превышать $\lambda/2$. В противном случае интерференционная картина, образованная в результате сложения опорного и предметного пучка, окажется совершенно размытой. Максимальная допустимая скорость движения объекта оказывается в порядке [6]

$$v_{gon} = \frac{\lambda}{8\tau_{\tau}} \quad (9)$$

где λ - длина волны излучения лазера.

Подставляя выражение вместо τ_{τ} в (8) из (7) получим

$$v_{gon} = \frac{\lambda \eta_{\tau} P}{8EA} \quad (10)$$

На рис. 4 приведен график зависимости максимально допустимой скорости движения объекта от мощности лазерного излучения при $\lambda = 0,05 \text{ мкм}$, $A = 100 \text{ см}$, $\eta_{\tau} = 0,01$ и различных E_0 .

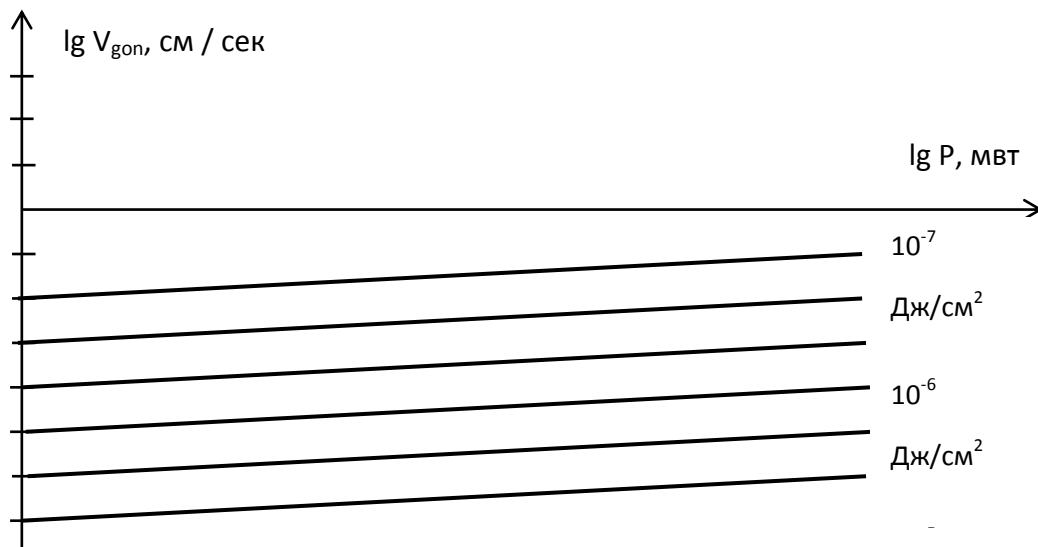


Рис. 4. График зависимости максимально допустимой скорости от мощности излучения лазера при различной E

Для удобства использован десятичный логарифмический масштаб. Оценим значение допустимой скорости объекта при регистрации наложенных голографических интерферограмм на фотоматериале ПЭ-2. Если в качестве источника излучения использовать аргоновый лазер ЛГ-106М, то при $E=4000 \frac{\text{Эрг}}{\text{см}^2}$, $A=100 \text{ см}^2$ и $\eta_{\tau} = 0,1$ допустимая скорость составляет около $1,5 \cdot 10^{-5}$ см/сек. Предложенный способ получения голографических интерферограмм к разрешающей способности регистрирующих сред предъявляет умеренное требование (1500-2000 лин/мм), когда голограмма записывается по двухлучевой схеме. При получении голограмм по методу Денисюка разрешающая способность должна быть не менее 5000 лин/мм. Пригодность конкретного фотоматериала для изучения того или иного процесса определяется его вышеприведенными характеристиками.

Список литературы

1. Исмаилов Д.А., Аккозиев И.А., Кулиш Т.Э., Хэ Чен Юй, Турдумаматов Т.Т. Метод голографической интерферометрии // Труды международного семинара «Голография и оптическая обработка информации», 2-4 сентября 1997. – С. 88-89.
2. Островский Ю.И., Бутусов М.М., Островская Г.В. Голографическая интерферометрия. - М.: Наука, 1977. - С. 336.
3. Запись серии двухэкспозиционных голографических интерферо-грамм на плоских регистрирующих средах // Наука и образование сегодня, № 7(30), 2018 г. / Исмаилов Дж.А., к.т.н., Кулиш Т.Э., н.с.
4. Abramson N., Vjelkhagen H. Industrial holographic measurements // Appl. Opt. – 1973. – V.12. – P.2792 – 2796.
5. Оптическая голография / Под. Ред. Г. Колфилда. Перевод с англ. – М.:Мир. - 1982. – С.735.
6. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография: Пер. с англ. - М.: Мир. - 1973. - 686 с.

УДК: 535.41: 778.38

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЦЕПЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОЦЕНОК ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М.Т. Мамырбеков, Д.А. Исмаилов, Т.Э. Кулиш

*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек,
пр. Чуй 265-а
mamyrbekov.mayrambek@gmail.com, ismailov_j@mail.ru, tkulish@mail.ru*

Аннотация. В настоящей статье приводятся результаты исследований информационной емкости оптических систем с точки зрения понятия оптических степеней свободы введенного Лауэ, которые в дальнейшем получили развитие в научных работах таких ведущих ученых как Габор и другие.

Ключевые слова: Оптические степени свободы, оптические системы, дифракционная картина, разрешающая способность оптической системы.

POSSIBILITIES OF USING THE CONCEPT OF OPTICAL DEGREES OF FREEDOM FOR INFORMATIONAL EVALUATIONS OF OPTICAL SYSTEMS

M.T. Mamyrbekov, D.A. Ismailov, T.E. Kulish

*Institute of Physics named after J. Jeenbaev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek,
pr. Chui, 265-a
mamyrbekov.mayrambek@gmail.com, ismailov_j@mail.ru, tkulish@mail.ru*

Abstract. In this article shows the results of the study information capacity optical systems with from the point of view of the concept optical degrees of freedom in Laue and in a number of leading scientists as Gabor are given and ets.

Keywords: Optical degrees of freedom, optical systems, Diffraction pattern, Destructive ability of the optical system.

1. Пространственные оптические степени свободы и попытки их применения для оценок информационного содержания изображения

Для количественной оценки информационного содержания изображения пространственное поле должно быть дискретизировано - разделено на определенное число разрешимых областей, в которых сигналы могут быть независимыми. Действительно, $f(x)$ известна, если известны ее значения в наборе положений, разделенных промежутком $1/2v_x$, где v - пространственная частота.

Если при этом $f(x)$ обращаются в нуль за пределами интервала $-X/2 < x < X/2$, то можно заключить что изображение объекта имеет $S = X2\nu_x$ степеней свободы, т.е. целиком определяется S комплексными величинами. Однако при пологом уменьшении сигнала с частотой высокочастотная информация передается с дополнительной потерей числа различимых градаций в шумах. Тогда бывает трудно установить критическую частоту, после которой сигнал тонет в шумах. Точные информационные величины в битах могут быть представлены лишь в случае передачи набора точек с бинарными значениями сигналов. В реальных изображениях приходится иметь дело также с учетом числа передаваемых градаций изображения в заданном участке, также зависящего от параметров дискретизации светового поля.

В работе 1955 г. [3] Дж. Торальдо ди Франчу оценивал число оптических степеней свободы, используя детерминистское разделение, определяемое рассчитываемыми дифракционными явлениями, Этот расчет был направлен на получение максимального числа участков, в которых могли быть получены независимые значения сигналов, что дифракционная картина точки имеет форму $\sin(2\pi\alpha x/\lambda)/\pi x$, где λ - длина волны света, а x - координата, комплексную амплитуду $f_i(x)$ можно представить в виде свертки

$$f_i(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(s) \frac{\sin \frac{2\pi\alpha(x-s)}{\lambda}}{\pi(x-s)} ds \quad (1)$$

Так как

$$\frac{\sin(2\pi\alpha x/\lambda)}{\pi x} = \int_{-\alpha/2}^{+\alpha/2} \exp(2\pi i v x) dv, \quad (2)$$

то никакие частоты в спектре элементарной дифракционной картины не окажутся вне $-\alpha/\lambda < v < +\alpha/\lambda$.

Здесь оценка числа степеней свободы на основе теоремы выборки носит приблизительный характер. Действительно, $f(x)$ известна, если известны ее значения в наборе положений, разделенных промежутком $\pi/\Omega_x = 1/2\nu$. Если при этом $f(x)$ обращаются в нуль за пределами интервала $-X/2 < x < X/2$, то можно заключить что изображение объекта имеет

$$S = X 2\nu_x \quad (3)$$

степеней свободы, т.е. изображение целиком определяется S комплексными величинами. Величина S - число степеней свободы, называемое Торальдо также числом Шеннона, здесь оценивалось в случаях, когда функция $f_i(x)$ (1) имеет бесконечное распространение, что в действительности не реализуется.

Интегральное уравнение имеет решения,

$$\int_{-X/2}^{X/2} \psi_i(s) \frac{\sin 2\pi v_x(x-s)}{\pi(x-s)} ds = \lambda_i a_i \psi_i(x), \quad (4)$$

которые являются вытянутыми, сфероидальными и волновыми функциями $\psi_i(x)$, полностью находящимися в диапазоне $-X/2 < x < X/2$, с собственными значениями λ_i . Поскольку пространственное ограничение объекта в этой области выражено следующим выражением:

$$f'(x) = \int_{-X/2}^{X/2} f(s) \frac{\sin 2v_x(x-s)}{x-s} ds, \quad (5)$$

$f(x)$ может быть полностью определена суммой членов

$$f(x) = \sum_{i=1}^S \psi_i(x) a_i(x) \quad (6)$$

для всех значений x как

$$f'(x) = \sum_i \lambda_i \psi_i(x) a_i(x) \quad (7)$$

В работе [4] отмечается, что каждой функции $\psi_i(x)$ соответствует одна степень свободы.

Приведенные соображения справедливы, если частотная характеристика оптической системы имеет крутой или близкий к нему обрыв частотная

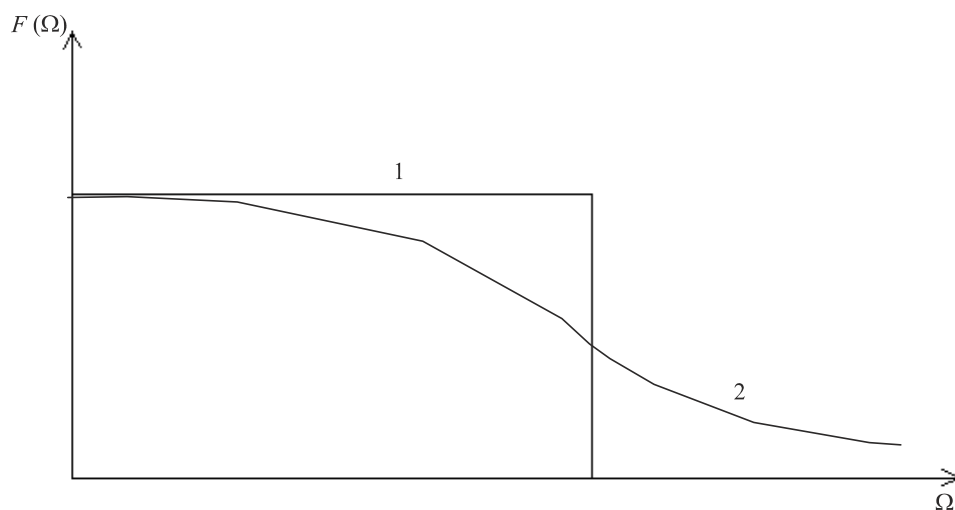


Рис.1. Идеальная и реальная частотные характеристики оптической системы

информация передается с дополнительной потерей числа различимых градаций в шумах (рис. 1, линия 2).

Очень часто в этом случае бывает трудно установить критическую частоту, после которой $m=0$. Точные информационные величины в битах могут быть представлены лишь в искусственном случае передачи набора точек с бинарными значениями сигналов. В реальных изображениях, когда необходимо осуществлять дискретизацию величины сигнала помимо координатных временных и других параметров светового поля, приходится иметь дело с более условными информационными единицами, определяемыми задаваемыми параметрами дискретизации.

2. Использование концепции степеней свободы для создания «сверхразрешающих» систем

Если Лауэ [1] еще до создания теории информации для систем связи утверждал, что оптические степени свободы определяют емкость оптических систем, то позднее, уже после создания теории информации, были выдвинуты дополнительные утверждения относительно оптических степеней свободы. Габор [2] в 1961 г. отмечал, что никакими методами невозможно получить большую информацию, чем та, которая определяется полным числом степеней свободы. Позднее, работе 1964 г. [5] рассматривалась возможность замены информации различных видов степеней свободы. Отмечалось, что за счет сокращения информации одного вида возможно увеличение количества информации в другом. Это утверждение Лукаш в работе 1966 г.

В своей работе Лукаш привел несколько схем оптических устройств, используя которые можно осуществить повышение разрешающую способность.

В частности, им предложен метод увеличения разрешающей способности оптической системы за счет сокращения числа временных степеней свободы с помощью движущихся дифракционных решеток. При этом ограничивается регистрируемая скорость движения объекта. Принцип действия заключается в том, что в последовательные промежутки времени передается информация о пространственных частотах, не захватываемых апертурой оптической системы. При этом объект освещался под разными углами падения так, что эти лучи имеют разные временные частоты, но взаимно когерентны между собой.

Оптическая схема, предложенная Лукашем, предусматривала расположение решеток вблизи объекта и перед изображением. Их положение, скорость и шаг решеток позволяет им быть оптически сопряженными. Сдвиг частот возникает при движении решеток благодаря доплеровскому смещению временных частот. В оптической схеме первая решетка перемещается в плоскости между объектом и линзой (возможно и в плоскости объекта) с определенной скоростью, а сопряженная с ней решетка с той же скоростью, но в обратном направлении. В нескольких различных полосах временных частот шириной $\Delta\nu$, лежащих в пределах полосы $\Delta\nu_{\max}$ исходного оптического сигнала, передается информация о пространственных частотах, не захватываемых апертурой оптической системы. Объект освещается лучами под различными углами падения так, что эти лучи имеют разные временные частоты, но

взаимно когерентны между собой. Сдвиг частот возникает при движении решеток благодаря доплеровскому смещению временных частот.

3. Роль оптической степени свободы в оценке информационных характеристик оптических систем.

Получение информации о некотором предмете или событии может быть представлено в виде опыта, который может иметь m исходов, причем вероятности появления каждого из m исходов равны соответственно $p_1, p_2, p_3, \dots, p_m$. Характеристика неопределенности, имевшей место до проведения опыта, может быть дана с помощью величины

$$H = -\sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i \quad (8)$$

Эту величину, по аналитическому представлению совпадающую с термодинамической энтропией в статистической физике Шеннон [8] назвал энтропией совокупности $p_1, p_2, p_3, \dots, p_m$ и положил в основу количественного определения информации. Результатом проведения опыта является получение некоторого количества информации I , соответствующего уменьшению энтропии [9]. Если энтропию до опыта обозначить через $H_{\text{апр}}$ (исходная, априорная мера неопределенности перед проведением опыта), а энтропию после проведения опыта через $H_{\text{апс}}$ (апостериорная неопределенность, оставшаяся после проведения опыта), то

$$I = H_{\text{апр}} - H_{\text{апс}}. \quad (9)$$

В частном случае, когда в процессе опыта устранена всякая неопределенность, $H_{\text{апс}} = 0$ и $I = H_{\text{апр}}$. Если в выражении для энтропии принять, что вероятности получения каждого i -го уровня отклика на воздействие света равны ($p_0 = p_1 = p_2 = \dots, p_m = 1/(m+1)$), то для передачи сигнала от одной степени свободы (элемента изображения) можно получить

$$I = \sum_{i=0}^m p_i \log_2 p_i = \log_2 (m+1), \quad (10)$$

где m - число различимых градаций (число уровней сверх нулевого).

При наличии только одного уровня кроме нулевого, мы имеем одну единицу информации, т.е. бит. В том случае, если изображение состоит из многих элементов N пространственных, спектральных или других, то при статистической независимости каждого элемента (когда отсутствует корреляция между любой парой элементов изображения),

$$I = N \log_2 (m+1). \quad (11)$$

Информационная емкость - один из важнейших параметров системы. Однако нужно иметь ввиду, что условие статистической независимости элементов изображения выполняется редко. При наличии такой зависимости

число m уменьшается и соответственно уменьшается информационная емкость по сравнению с системой, в которой эти элементы независимы.

Она определяется при независимости n последовательно сменяющихся друг друга изображений с N элементами и при равенстве для каждого изображения числа Nn , выражением

$$I = Nn \log_2(m+1). \quad (12)$$

При наличии зависимости сменяющихся друг друга элементов во времени записанного изображения, информационная пропускная способность, как и информационная емкость, сокращается и определяется с учетом зависимости числа m от частот смены кадров или их фрагментов.

При отдельном учете степеней свободы по пространству $N_S = N_x N_y N_z$ по времени n_t , по длинам волн Λ_λ , поляризации Π_α , информационная емкость могла бы быть оценена

$$I = N_S n_t \Lambda_\lambda \Pi_\alpha \log_2(m+1), \quad (13)$$

Это выражение может быть справедливо только при равном максимальном m для всех означенных степеней свободы, что осуществимо только в специальных случаях.

4. Степени свободы в реальных оптических системах и возможности их использования для оценки информационной емкости

Концепция оптической степени свободы предусматривает полную независимость сигнала каждого из интервалов, на которые делится световое поле объекта, будь то пространственные, временные, по длинам волн, поляризации или другие способы разделения. В светоинформационных системах такая дискретизация возможна лишь в отдельных случаях. Даже в том случае, когда на вход поступают данные, не смешанные из различных элементов, при дальнейшем прохождении информации через систему, происходит смешивание данных от одного элемента с информацией от других элементов, и таким образом нарушается независимость сигнала одного канала от сигналов других каналов. Тем не менее, в практических целях можно пренебречь некоторой величиной зависимости выходного сигнала данного канала, от сигнала подмешиваемого совокупностью других каналов. Если эта величина оказывается порядка величины флуктуаций, произведенных для разных измерений, то такое пренебрежение является справедливым во всех случаях. Если вводить информацию различной частоты (например, решетку из черных и светлых линий с равной и изменяющейся в сторону уменьшения шириной), то величина сигнала, за счет смешения соседних каналов будет передаваться с постепенным уменьшением контраста. За счет смешения данных в соседних каналах уровень светлого понизится, а уровень черного повысится, при этом их разность $S = S_{св} - S_{ч}$ уменьшится существенно, и, начиная с определенной пространственной частоты, их разность уже не может быть

обнаружена в шумах. Если полагать, что при низких частотах $\nu_x \rightarrow 0$, $S = S_0$, а при частоте ν_x $S = S_N$, то коэффициент γ взаимозависимости каналов (при передаче частоты ν_x необходимо по крайней мере $N_x' = 2\nu_x$ линейных элементов), выразится величиной

$$\gamma = 1 - S_N / S_0 . \quad (14)$$

Независимости сигналов от разных элементов соответствует $\gamma = 0$, (когда $S_N = S_0$). Если $\gamma = 1$ и $S_N = 0$, - данные в соседних каналах из-за их взаимосвязи не могут быть различены. При наличии пространственной плотности шумов $S_{ш}$, не зависящей от частоты - предельное значение, при котором γ может оставаться меньше единицы, определится величиной сигнала $S_N = K S_{ш}$, где K - коэффициент превышения сигнала над среднеквадратичным отклонением от него, при котором сигнал обнаруживается с заданной надежностью.

Концепция оптических степеней свободы с успехом была применена китайскими исследователями под руководством профессора Тао Чункана, в частности, для исследований объектов, содержащих решетки с субволновым периодом [12]. В частности, использование аналитической обработки в соответствии с рекомендациями Торальдо [3], а именно, с применением сфероидальных вытянутых волновых функций, позволило осуществить оценку характера профиля таких решеток с периодом, не превышающим 50 нм.

В заключение отметим, что в практически используемых системах сигнал от одного интервала всегда частично смешан с сигналом от другого интервала по причинам физического и технического порядка и в связи с пространственными и временными флюктуациями сигнала. В этих случаях для определения числа степеней свободы следует устанавливать вероятность того, что определенная, заданная часть сигнала, будет действительно относиться к данному интервалу. Такое представление степени свободы не вполне соответствует принятому в механике понятию степени свободы, но в оптике является удобным для практических целей и, в частности, для информационных оценок.

Рассмотренные выше соображения относились прежде всего к случаю освещения объектов когерентным светом. Очевидно, однако, что взаимосвязь числа степеней свободы и реальных информационных характеристик системы зависит также и от степени когерентности.

Список литературы

1. *Von Laue M.* The variability of ray beams // *Ann. Phys.* 1914. Vol. 44. P. 1197–1212.
2. *Gabor D.* Light and information // *Progress in Optics*. E.Wolf Ed. Vol. 1. North-Holland, Amsterdam, 1961.
3. *Toraldo di Francia G.* Resolving power and information // *Journ. OSA*. 1955. Vol. 45, No. 7. P. 497–501.

4. *Toraldo di Francia G.* Degrees of freedom of an image // Journ. OSA. 1969. Vol. 59, No. 7. P. 799–804.
5. *Гуревич С.Б.* Эффективность и чувствительность телевизионных систем. М.: Энергия, 1964.
6. *Lukosz W.J.* Optical systems with resolving power exceeding the classical limit // Journ. OSA. 1966. Vol. 56, No. 11. P. 1463–1472.
7. *Акаев А.А., Гуревич С.Б., Жумалиев К.М.* Ввод и хранение информации в голографической памяти. Бишкек: Учкун. 2002.
8. *Shannon C. E., Weaver W.* The mathematical theory of communication . Univ. of Illinois Press. Urbana. 1949. P. 3-28.
9. *Бриллюэн Л.* Наука и теория информации. М.: Физматгиз. 1960. 392 с.
10. *Гуревич С.Б.* Информационный подход к оценке чувствительности в фотографии и телевидении. I. Недостатки существующих оценок чувствительности и информационный критерий чувствительности // Журн. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр. 1962. Т.7, № 2. С. 133–140. II. Информационная чувствительность телевизионных и фотографических устройств и материалов // Там же. 1962. Т.7, № 3. С. 202–210.
11. *Микаэлян А.Л.* Оптические методы в информатике. М.: Наука. 1990. 232 с.
12. *Tao Chunkan, Tao Chunkuang.* Information theory in optics. Beijing: Science Press. 2005.

УДК 621.396

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА СЛАНЕ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОЛУЧЕННЫЕ В КИРГИЗИИ

¹К.Ш. Ашымканов, ²В.А. Коротков, ²К.В. Коротков, ²Е.П. Новичихин

¹Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а

²Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал

Аннотация. Различимость объектов на изображениях, полученных на открытой местности, уменьшается при наличии гидрометеоров в атмосфере. Степень влияния гидрометеоров на изображение объектов не одинакова. Горная местность, характерная для Киргизии, может вносить определенное своеобразие в искажение изображений при наличии гидрометеоров. В данной работе рассматриваются результаты применения модифицированного метода СЛАНЕ для компенсации негативного влияния гидрометеоров на изображения, полученные в Киргизии.

Ключевые слова: гидрометеоры, цифровые изображения, динамический диапазон, усиление контраста, улучшение различимости объектов.

APPLICATION OF THE MODIFIED CLAHE METHOD TO COMPENSATE FOR THE INFLUENCE OF HYDROMETEORS ON IMAGES OBTAINED IN KYRGYZSTAN

¹K.Sh. Ashymkanov, ²V.A. Korotkov, ²K.V. Korotkov, ²E.P. Novichikhin

¹*Institute of Physics named after J. Jeenbaev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a*

²*Institute of Radio Engineering and Electronics named after V.A. Kotelnikova RAS, Fryazinsky branch*

Abstract. The differentiation of objects in the images obtained in the open area, decreases with the presence of hydrometeors in the atmosphere. The degree of hydrometeors influence on the image of objects is not the same. It can cause false images (artifacts) to appear on the CLAHE-processed image. In this paper, a method is proposed that eliminates such artifacts. The purpose of this work is to increase the degree of the distinguishability of objects on the image which was distorted by hydrometeors. To achieve this goal, the results of the CLAHE method are compared with each other when different formats (RGB, HSV, and CIELAB) are used. In addition, the case of processing images with distortions, destroying the color balance, is considered.

The paper shows that the usage of preprocessing for a distorted image, allows compensating for possible artifacts, arising from the application of the CLAHE method. It is demonstrated, that applying the CLAHE method for color RGB images to each color component of the image, results in less dependence on the color of the fog (haze, dust, light) (compared to applying the CLAHE method to the HSV image).

Key words: *Hydrometeors, digital images, dynamic range, enhancement of contrast, improvement of distinguishability of objects.*

Введение

Наличие гидрометеоров в атмосфере ухудшает качество изображений. В первую очередь качество изображений страдает от уменьшения контрастов. Одним из методов повышения различимости объектов на изображении является метод эквализации (выравнивание гистограммы) Histogram Equalization (HE) [1].

Этот метод обычно увеличивает глобальный контраст изображения, особенно когда используемые данные изображения представлены близкими значениями контраста. Это позволяет областям более низкого локального контраста получить более высокий контраст. Выравнивание гистограммы позволяет эффективно распределять наиболее часто используемые значения интенсивности.

Недостатком метода является то, что он является неизбирательным. Это может увеличить контраст фонового шума, уменьшая полезный сигнал. Выравнивание гистограммы часто производит нереалистичные эффекты на изображении.

Модификацией этого метода является метод CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) [2-6]. Этот метод позволяет успешно обрабатывать довольно широкий класс изображений. Однако, в ряде случаев

при обработке изображений искаженных гидрометеорами (дымка, туман, морось, дождь, снег) этот метод дает изображения с присутствием артефактов и шумов. Следует отметить, что эти особенности CLAHE проявляются в случае достаточно сильных искажений изображения, вызванных гидрометеорами, влияющими с разной степенью на отдельные участки изображения.

Однако применение CLAHE может приводить к появлению артефактов на восстановленном изображении, вызванном пространственно неоднородным состоянием гидрометеоров.

Модификация CLAHE

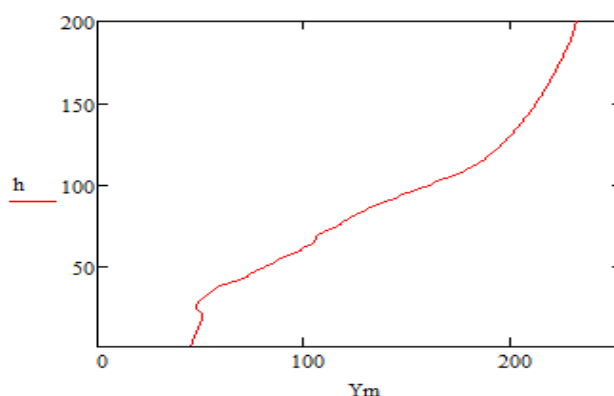
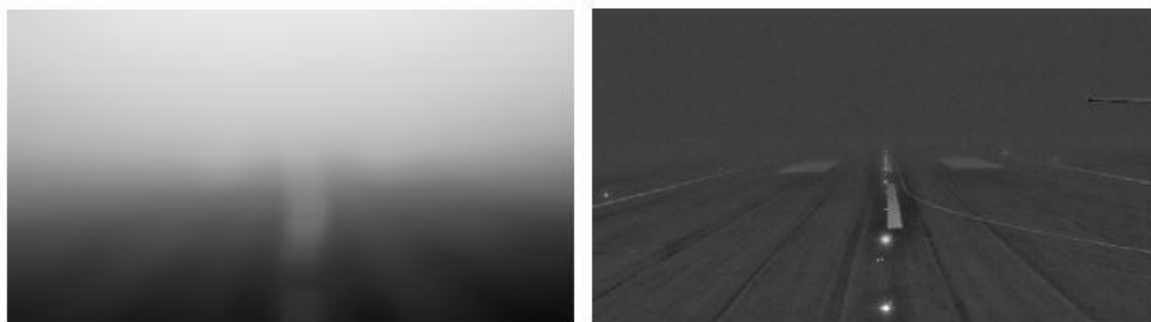
Модификацию метода CLAHE будем проводить согласно работе [7]. Для использования метода CLAHE изображение делится на отдельные прямоугольные непересекающиеся плитки. Для каждой плитки вычисляется интегральная гистограмма - CDF. Эта интегральная гистограмма получается с учетом выбранного ограничения P для исходной неинтегральной гистограммы яркостей плитки [2]. Для каждого пикселя яркостью Y находят четыре ближайших плитки. С помощью известных значений CDF, соответствующих Y , получают 4 значения эквализованной яркости Y_e . Использование билинейной интерполяции и четырех значений Y_e позволяет получить искомое значение яркости Y_{clahe} для выбранного пикселя [2]. Метод CLAHE выравнивает гистограмму для всего изображения с учетом гистограмм области из четырех плиток, окружающих каждый пиксель. Из-за того, что гистограммы плиток, составляющих изображение, вычисляются только один раз, метод CLAHE достаточно быстрый для использования в видеоустройствах, работающих в реальном времени [8-11].

На рис.1 приведены искаженное изображение рис.1а и изображение, восстановленное с помощью CLAHE – рис.1б. На рис.1б хорошо видны артефакты в виде горизонтальных полос.



Рис.1. (а) - искаженное изображение; (б) – изображение, восстановленные соответственно методом CLAHE и модифицированным CLAHE.

На рис.2а представлено изображение усредненной по плитки яркости Y_m . На рис.2б представлено изображение нормированной разности $Y - Y_m$, где Y – яркость изображения на рис.1а. На рис.2в представлен график зависимости Y_m от вертикальной координаты.



(В)

Рис.2. Изображения усредненной (рис.2а) и нормированной разности (рис.2б).

а) - усредненная по величине плитки яркость Y_m ;

б) - изображение нормированной разности $Y - Y_m$.

Y – яркость изображения на рис.1а, Y_m - усредненная по плитки яркость.

На рис.2а и графике на рис.2в видно, что Y_m увеличивается с увеличением вертикальной координаты. Этим и объясняется появление артефактов в виде горизонтальных полос.

Если использовать для каждой плитки интегральную гистограмму яркости CDF для эквализации, то полученная яркость будет лежать в пределах 0 – 255. Это верно для каждой плитки. В то же время яркость для каждой плитки лежит в своих пределах изменения Y . Причем эти пределы в среднем увеличиваются с увеличением вертикальной координаты, что иллюстрирует график на рис.2в. Поэтому при переходе от одной плитки к следующей по вертикали наблюдается скачок яркости. Конечно, использование билинейной интерполяции в CLANE [2] значительно сглаживает эти артефакты.

Если использовать в качестве исходного изображения не изображение на рис.1а, а изображение на рис.2б, то артефакты в виде полос не появятся.

На рис.3а и рис.3б приведены изображения, полученные с помощью CLANE и модифицированного CLANE (с использованием усреднению по плитке) соответственно.



Рис.3. Изображения, восстановленные соответственно методом CLANE - (а) и модифицированным CLANE - (б).

Сравнение изображений рис.3а и рис.3б позволяет сделать вывод о том, что модификация CLANE достигла цели – артефакты в виде полос практически исчезли.

На рис.4 приведены исходные, искаженные гидрометеорами (туманом) изображения – левая колонка и восстановленные модифицированным CLANE изображения. Все исходные изображения получены с помощью поиска в интернете с помощью ключевых слов «туманы в Киргизии».

Анализ восстановленных изображений позволяет сделать вывод о том, что качество полученного изображения зависит в основном от соотношения плотности тумана и качества искаженного изображения, определяемого количеством градаций яркости (в данном случае – 255). Современная аппаратура позволяет фиксировать с большим количеством градаций яркости (не менее 65 536).





(B)

(Г)



(Д)

(e)



(II)

(p)



(х)

(ц)

Рис.4. Изображения исходные, искаженные гидрометеорами (туманом) – левая колонка и изображения восстановленные модифицированным CLAHE – правая колонка.

Заключение

Присутствие гидрометеоров при получении изображений негативно влияет на различимость объектов, полученных на открытой местности. Горная местность, характерная для Киргизии, может вносить определенное своеобразие в искажение изображений при наличии гидрометеоров. В данной работе показано, что применения модифицированного метода CLAHE позволяет эффективно компенсировать влияния гидрометеоров на изображения, полученные в Киргизии.

Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
2. Zuiderveld, Karel (1994), Contrast limited adaptive histogram equalization, // Graphics gems IV , Academic Press Professional, Inc., 1994, pp. 474–485,
3. DilrajKaur, Pooja, A Critical Study and Comparative Analysis of Various Haze Removal Techniques, // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 121 – No.16, July 2015. pp.9-14.
4. Z. Al-Ameen, G. Sulong, A. Rehman, A. Al-Dhelaan, T. Saba, M. Al-Rodhaan. An innovative technique for contrast enhancement of computed tomography images using normalized gamma-corrected contrast-limited adaptive histogram equalization, // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing (2015) 2015:
5. C.C. Ting, B.F. Wu, M.L. Chung, C.C. Chiu, Y.C. Wu, Visual Contrast Enhancement Algorithm Based on Histogram Equalization. // Sensors. 2015, 15, 16981-16999.

6. G. Bianco, M. Muzzupappa, F. Bruno, R. Garciab, L. Neumann, A New Correction Method for Underwater Imaging. // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2015, 5, pp.25-32.
7. В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин. Модификация метода CLANE для компенсации влияния гидрометеоров. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №10. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/oct17/10/text.pdf>.
8. Z. Jia, H. Wang, R. Caballero, Z. Xiong, J. Zhao, A. Finn, Real-time content adaptive contrast enhancement for see-through fog and rain. // Conference Paper in Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1988. ICASSP-88.,
9. R. Kolhe, P. R. Badadapure, Survey on Haze Removal Algorithm for image, // International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM) ISSN : 2454-9150 Vol-03, Issue-04, July 2017.
10. A. GnanaPradeep, M. Gnanapriya. A Novel Contrast Enhancement Algorithm Using HSV Color Space, // (IJITR) International Journal Of Innovative Technology And Reserch, Volume No.4, Issue No.6, October – November 2016, pp.5072-5075.
11. А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин . «Метод улучшения различимости объектов при наличии гидрометеоров». // «Журнал Радиоэлектроники» [электронный журнал], N 10, 2015, URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jun15/10/text.html>.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	70-летие	
	д.ф.-м.н. Джаманкызова Н.К.	3
Н.К. Джаманкызов Ю.Х. Исманов	Интерпретация и идентификация интерференционных полос.....	5
Ю.Х. Исманов Н.К. Джаманкызов	Компьютерная голография трехмерных объектов.....	9
А.А. Асанов Н.К. Джаманкызов Н.Т. Ниязов	К разработке мини-энергогенерирующих установок на основе струйных технологий...	13
Н.Т. Ниязов Н.К. Джаманкызов А.А. Асанов Т. Дуйшеев	Применение струйных аппаратов в гидропаровых турбинах.....	20
Н.Т. Ниязов Н.К. Джаманкызов	Гидропаровая турбина, работающая по принципу сегнера колеса.....	27
Т.Э. Кулиш Д.А. Исмаилов К.М. Жумалиев	Голографическая интерферометрия на объемных носителях.....	37
М.Т. Мамырбеков Д.А. Исмаилов Т.Э. Кулиш	Возможности использования концепции оптических степеней свободы для информационных оценок оптических систем.....	45
К.Ш. Ашымканов, В.А. Коротков, К.В. Коротков, Е.П. Новичихин	Применение модифицированного метода clahe для компенсации влияния гидрометеоров на изображения полученные в Киргизии.....	52
Приложение 1	Аннотационная рубрика научных статей.....	61
Приложение 2	Памятка для авторов.....	66

АННАТАЦИОННАЯ РУБРИКА НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Настоящая рубрика посвящена юбилею д.ф.-м.н. Джаманкызову Н.К. зав. лаборатории «Ресурсосберегающих технологий» ИФ НАН КР для ознакомления читателей с научными статьями, опубликованных им в соавторстве за последние 5 лет в международных научных журналах и сборниках трудов конференций, входящие в реферируемые журналы платформы Scopus, Web of Science и другие.

УДК 535.4(076.5)

ESTIMATION OF OPTIMAL HOLOGRAM RECORDING MODES ON PHOTOTHERMOPLASTIC MATERIALS

N.K. Dzhamankyzov, Y.Kh. Ismanov, K.M. Zhumaliev, S.A. Alymkulov

Institute of Physics named after J. Jeenbaev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a

Abstract. A theoretical analysis of the hologram recording process on photothermoplastic media to estimate the required laser radiation power for the information recording as the function of the spatial frequency and the radiation exposure duration is considered in the paper.

It was found that materials with a low thermal diffusivity are necessary to increase the recording density in these media and the recording should be performed with short pulses to minimize the thermal diffusion length.

A solution for the heat conduction equation for photothermal materials heated by an interference laser field was found. The solution obtained allows one to determine the required value of the recording temperature for given spatial frequencies, depending on the thermal physical parameters of the medium and on the power and duration of the heating radiation.

Keywords: *diffraction efficiency, hologram, photothermoplastic materials, temperature, heating, pulse mode, laser.*

ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЗАПИСИ ГОЛОГРАММ НА ФОТОТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

Н.К. Джаманкызов, Ю.Х. Исманов, К.М. Жумалиев, С.А. Алымкулов

Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а

Аннотация. В статье рассматривается теоретический анализ процесса записи голограммы на фототермопластических средах для оценки необходимой мощности лазерного излучения для записи информации в зависимости от пространственной частоты и длительности воздействия излучения.

Было обнаружено, что материалы с низкой теплопроводностью необходимы для увеличения плотности записи на этих носителях, и запись должна выполняться с короткими импульсами, чтобы минимизировать длину термодиффузии.

Было найдено решение уравнения теплопроводности для фототермических материалов, нагреваемых интерференционным лазерным полем. Полученное решение позволяет определить требуемое значение температуры записи для заданных пространственных частот в зависимости от теплофизических параметров среды, а также от мощности и длительности нагревающего излучения.

Ключевые слова: дифракционная эффективность, голограмма, фототермопластические материалы, температура, нагрев, импульсный режим, лазер.

N. K. Dzhamankyzov, Y. Kh. Ismanov, K. M. Zhumaliev, S. A. Alymkulov Estimation of optimal hologram recording modes on photothermal materials // Optical Engineering.- 2018.- 57(1), 017113. [doi:10.1117/1.OE.57.1.017113]

УДК 535.41: 778.38

HOLOGRAPHIC INTERFEROMETER FOR THE STUDY OF PHASE MEDIA, WHICH HAS FOUR OUTPUT CHANNELS OF DIFFERENT SENSITIVITY

Y.Kh. Ismanov, N.K. Dzhamankyzov

Institute of Physics named after J. Jeenbaev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a

Abstract. Computer simulation of the interferometer combining properties of low-sensitive Talbot interferometer and high-sensitive holographic interferometer is considered. The interferometer has four output channels having different sensitivity. Channel sensibility can be varied by mean of spatial filtration. The base of the interferometer is the holographic Talbot effect.

The efficiency of this interferometer was verified by computer simulation method. Some results of the computer simulation are presented in the article. These results were compared with results obtained in optical experiments under the same conditions.

A wide range of sensitivity of the interferometer makes it possible to use the interferometer to study complex phase objects, primarily dynamic media.

Keywords: *holographic interferometer, Talbot interferometer, self-reproduction, interferometer sensitivity, phase object, space filtration.*

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФАЗОВЫХ СРЕД, ИМЕЮЩИЙ ЧЕТЫРЕ ВЫХОДНЫХ КАНАЛА РАЗЛИЧНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Ю.Х. Исманов, Н.К. Джаманкызов

Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а

Аннотация. Рассмотрено компьютерное моделирование интерферометра, сочетающего свойства малочувствительного интерферометра Тальбота и высокочувствительного голографического интерферометра. Интерферометр имеет четыре выходных канала, имеющих разную чувствительность. Чувствительность канала можно варьировать с помощью пространственной фильтрации. Основой интерферометра является голографический эффект Тальбота.

Эффективность этого интерферометра была подтверждена методом компьютерного моделирования. В статье представлены некоторые результаты компьютерного моделирования. Эти результаты сравнивались с результатами, полученными в оптических экспериментах в тех же условиях.

Широкий диапазон чувствительности интерферометра позволяет использовать интерферометр для исследования сложных фазовых объектов, в первую очередь динамических сред.

Ключевые слова: голографический интерферометр, интерферометр Тальбота, саморепродукция, чувствительность интерферометра, фазовый объект, пространственная фильтрация.

Y. Kh.Ismanov, N. K. Dzhamankyzov Holographic Interferometer for the Study of Phase Media, Which Has Four Output Channels of Different Sensitivity // International Journal of Optics.- 2019.- 2019, Article ID 2936172, 10 pages. [<https://doi.org/10.1155/2019/2936172>]

УДК 535.4(076.5)

THE TEMPERATURE MODES OF DEVELOPMENT OF HOLOGRAMS RECORDED ON PHOTOTHERMOPLASTIC MEDIA HEATED BY LASER RADIATION

N. K. Dzhamankyzov, Y. Kh. Ismanov

Institute of Physics named after J. Jeenbaev NAS KR, 720071, Kyrgyzstan, Bishkek, pr. Chui, 265-a

Abstract. The temperature mode of development of the latent image of a holographic recording on a photothermoplastic medium when heated by unmodulated laser radiation is studied. The solution of the non-stationary heat conduction problem for multilayer structures made it possible to obtain an analytical expression for the temperature of the recording surface, depending on the thermophysical parameters of the carrier layers and on the power of the heating source. An analysis of the features of the development of the latent image of a hologram at a high heating rate is made. A formula is obtained for calculating the threshold duration of the action of a heating source, which establishes the boundaries of high and low heating rates. The patterns of the dynamics of the development of the geometric relief of the surface depending on the rate of heating are determined. The possibility of controlling the information properties of a photothermoplastic medium by selecting the instant of switching off the heating or changing the power of the heating source is shown.

Keywords: hologram, photothermoplastic materials, temperature, heating, pulse mode, laser.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГОЛОГРАММ, ЗАПИСАННЫХ НА ФОТОТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ СРЕДАХ, НАГРЕВАЕМЫХ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Н.К. Джаманкызов, Ю.Х. Исманов

*Институт физики им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек,
пр. Чуй 265-а*

Аннотация. Исследован температурный режим восстановления скрытого изображения голографической записи на фототермопластической среде при нагреве немодулированным лазерным излучением. Решение нестационарной задачи теплопроводности для многослойных структур позволило получить аналитическое выражение для температуры записывающей поверхности в зависимости от теплофизических параметров несущих слоев и мощности источника нагрева. Проведен анализ особенностей восстановления скрытого изображения голограммы при высокой скорости нагрева. Получена формула для расчета пороговой продолжительности действия источника нагрева, которая устанавливает границы высоких и низких скоростей нагрева. Определены закономерности динамики развития геометрического рельефа поверхности в зависимости от скорости нагрева. Показана возможность управления информационными свойствами фототермопластической среды путем выбора момента отключения нагрева или изменения мощности источника нагрева.

Ключевые слова: голограмма, фототермопластические материалы, температура, нагрев, импульсный режим, лазер.

N. K. Dzhamankyrov, Y. Kh. Ismanov Temperature modes of development of holograms recorded on photothermoplastic media heated by laser radiation // *Optical Engineering*.- 2018.-57(6), 067103. [DOI: 10.1117/1.OE.57.6.067103]

THE PECULIARITIES OF HIGH-SPEED DEVELOPMENT OF LATENT IMAGES ON THIN PHOTOTHERMOPLASTIC FILMS

N.K. Jamankyrov, K.M. Zhumaliev

The theoretical task has been studied concerning peculiarities of the hologram latent image development on photothermoplastic (PTP) carriers at high rate of heating. At solving a system of differential equations of thermal conductivity the expression was found for temporal temperature course of the PTP layer surface. It follows from the solution analysis that there are modes of high and low rate of heating, which border is defined by heating radiation impact duration, and it depends only on thermo-physical properties of the carrier layers. It was established that at high heating rate of conducting layer $\psi \gg 1$, the temperature of the PTP film surface has no time to trace the conducting layer temperature variation, and softening point of the PTP film surface is achieved due to additional heating by thermal energy stipulated by temperature gradient. It is shown that the duration of developing pulse impact depends on power of heating radiation and this gives an opportunity for the record optimization by choosing the cutoff time of the heating source. It was found that the qualitative record on PTP carriers at $\psi \gg 1$ forms after the developing pulse cutoff

at rather high power of the heating source. Thus, by regulating the power of the source, the desired result can be obtained.

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛАТЕНТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ТОНКИХ ФОТОТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ

Джаманкызов Н. К., Жумалиев К. М.

Рассмотрена теоретическая задача об особенностях восстановления скрытого изображения голограммы на фототермопластических (ФТП) носителях при высокой скорости нагрева. При решении системы дифференциальных уравнений теплопроводности найдено выражение для временной зависимости изменения температуры поверхности ФТП-слоя. Из анализа решения следует, что существуют режимы высокой и низкой скорости нагрева, границы которых определяются продолжительностью воздействия нагревающего излучения и зависят только от теплофизических свойств несущих слоев. Установлено, что при высокой скорости нагрева проводящего слоя $\psi \gg 1$ температура поверхности ФТП пленки не успевает реагировать на изменение температуры проводящего слоя, а точка размягчения поверхности ФТП пленки достигается за счет дополнительного нагрева тепловой энергией, обусловленной градиентом температуры. Показано, что длительность формирующегося импульсного воздействия зависит от мощности нагревающего излучения, что дает возможность оптимизации записи путем выбора времени отключения источника нагрева. Установлено, что качественная запись на ФТП носителях при $\psi \gg 1$ получается при отключении восстанавливающего импульса при достаточно большой мощности источника нагрева. Таким образом, регулируя мощность источника, можно получить желаемый результат.

N. K. Dzhamankyzov, K.M. Zhumaliev The peculiarities of high-speed development of latent images on thin photothermoplastic films. // Optics and Photonics Japan.- Conference Guide, Tokio. - 2014 .- 34-40 pages.

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

Документы

- Сопроводительное письмо на имя главного редактора журнала печатается на бланке учреждения, представляющего статью.
- Рецензия.

Составные части статьи и порядок их следования

1. Объем материала от 4 до 10 страниц набранного текста оформленного в текстовом редакторе Microsoft Word, файл в формате .doc или .docx (шрифт 14, Times New Roman, интервал 1). Поля: верхнее, нижнее-20мм, левое-2,5мм, правое-15мм. Графический материал должен быть четким, разрешение не менее 300 пикселей

2. В верхнем левом углу указывается универсальная десятичная классификация (УДК)

3. Следующий абзац – название статьи указывается по центру (шрифт 14 полужирный ЗАГЛАВНЫМИ БУКВАМИ);

4. Во втором ряду фамилия имя отчество автора(ов);

5. В третьем ряду указывается полное название учебного заведения (место работы или учебы), город и страна.

6. Дальше через строку - аннотация не менее 50 слов на языке статьи (на русском и английском языках); *ключевые слова от 3 до 5 слов и словосочетаний* (на русском и английском языках)

8. Дальше через строку идет изложение материала (шрифт 14);

- **Введение** (состояние проблемы, задачи исследования);

- **Основная часть** – название в текст не вносится. Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание: постановка задачи, методы исследования, математическая модель, обсуждение результатов и т.д.

- **Заключение** (выводы).

9. После основного текста указывается список литературы (Список использованной литературы). Список литературы оформляется не по алфавиту, а по мере того, как она встречается в тексте статьи. Схема списка литературы:

Авторы (обычный шрифт) → **название статьи** (обычный шрифт) → **выходные данные** (город, издательство) → **цифровые данные** (год, страницы). (Острейковский В.А., Карманов Ф.И. Статистические методы обработки экспериментальных данных с использованием пакета MathCAD. М.: ИНФРА-М, 2015. 207 с.).

10. Рисунки и таблицы набираются шрифтом Times New Roman 12 с одинарным междустрочным интервалом. Рисунки, диаграммы и таблицы создаются с использованием черно-белой гаммы. Использование цвета и заливок не допускается! Все рисунки и таблицы должны иметь название.

11. Формулы следует набирать с помощью редактора формул Microsoft Equation и нумеровать в круглых скобках (2).

Отдельным файлом подаются сведения об авторе

контактный телефон: (Viber, WhatsApp, Telegram, Mail.Ru Агент)

e-mail: _____

12. Авторы и рецензенты несут полную ответственность за содержание, стиль и качество оформление статьи.

Басууга 20.06.2019-ж кол коюлду.
№30 офсет кагазы.
Форматы 84x60 1/16
Көлөмү 7,5 б.т.
Офсет ыкма менен басылды.
Нускасы 50. Заказ 2019

«Avrasya Press» басмаканансы
7-апрель 1 а. Тел: 0(312) 299 300
E-mail: avrasyapress2003@mail.ru
www.avrasyapress.com