

**ЛАЗЕРНАЯ СПЕКЛ-ВЕЛОСИМЕТРИЯ ОБЪЕКТОВ
СО СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ,
ВРАЩАЮЩИХСЯ В ПЛОСКОСТИ,
ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ НАПРАВЛЕНИЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛУЧА**

1. Введение

Лазерная спекл-велосиметрия является одним из эффективных методов измерения скорости движения объектов. При применении данного метода движущийся объект облучается лазерным лучом, при отражении от шероховатой поверхности которого формируется спелкартина, анализ изменений которой позволяет оценивать скорость движения объекта [1, 2]. С целью увеличения отношения сигнал/шум в принимаемом сигнале (следовательно, и дальности, на которой производятся измерения) используются световозвращающие покрытия (СВП), которые наносятся на поверхность объекта.

В работе [3] описана работа лазерного спекл-велосиметра, основанного на прямом фотодетектировании отраженного лазерного излучения от движущегося объекта с СВП и последующем спектральном анализе закономерностей изменения фототока на выходе фотоприемника. Показано, что ширина спектра сигнала в низкочастотной области является мерой тангенциальной составляющей скорости движения объекта. Данное исследование проводилось для случая, когда диаметр светового пучка существенно превышает размеры отдельного световозвращателя. Однако в случае, когда средний размер световозвращателя сопоставим с диаметром светового пучка, закономерности изменения фототока существенно изменяются, что обусловлено качественно другим характером формирования интерференционной картины совокупностью ограниченного числа элементарных световозвращателей.

Также в работе [4] на основе экспериментальных исследований анализировались потенциальные возможности метода лазерной спекл-велосиметрии объектов со световозвращающей поверхностью, вращающихся в плоскости, соответствующей направлению распространения лазерного луча. В отличие от известных результатов исследований в данной работе рассматривался случай, когда размер световозвращателя СВП сопоставим с диаметром зондирующего лазерного пучка.

Цель статьи – анализ возможностей применения метода лазерной спекл-велосиметрии объектов со световозвращающей поверхностью, вращающихся в плоскости, перпендикулярной направлению распространения луча при размерах световозвращателя СВП, сопоставимых с диаметром лазерного пучка.

2. Основная часть

Для получения необходимых данных был задействован экспериментальный макет, описанный в [4], схема которого изображена на рис. 1, где цифрами обозначены: 1 – твердотельный лазерный неодимовый лазер на ортованадате иттрия с удвоением частоты (длина волны – 0,53 мкм), 2 – коллиматор, 3 – вращающийся цилиндр, на поверхность которого нанесено СВП в виде микростеклошариков, 4 – линза, выполняющая роль коллектора рассеянного излучения, 5 – фотоприемник, сигнал с выхода которого поступал на вход цифровой карты ПК и затем обрабатывался с помощью программы Cool Edit. Частота оборотов цилиндра $\omega = 2\pi\nu$ плавно изменялась за счет изменения напряжения на электродвигателе.

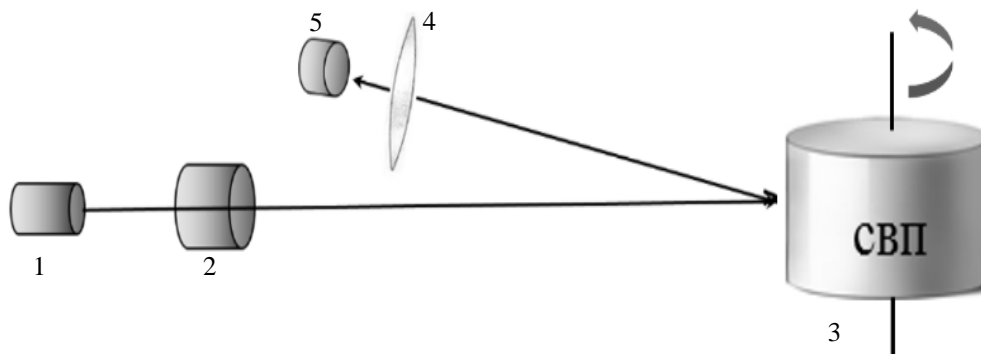


Рис. 1. Схема экспериментального макета

Согласно поставленной цели рассмотрим ситуацию, когда вращение объекта, покрытого СВП, происходит в плоскости, перпендикулярной направлению луча (рис. 2). При этом полагаем, что объект представляет собой диск, вращающийся с угловой скоростью ω , а небольшое отклонение от нормального падения характеризуется углом α .

Используя подход, описанный в [2], будем полагать, что существенные изменения интерференционной картины происходят при смещении участка поверхности на такой угол $\varphi = 2\pi\nu t$, что за время t участок поверхности пройдет по дуге такое расстояние l , что приводит к удалению (приближению) участка поверхности объекта к источнику света на расстояние

$$BC = l \sin \alpha = \frac{\lambda}{2}. \quad (1)$$

Так как

$$l = \varphi R = 2\pi\nu t R, \quad (2)$$

то

$$f = \frac{1}{t} = \frac{4\pi}{\lambda} R \nu \sin \alpha. \quad (3)$$

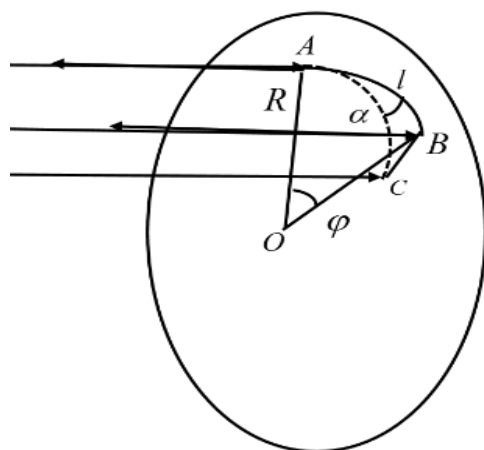


Рис. 2. Падение лазерного луча на вращающийся объект с СВП

Анализируя полученное соотношение, можно предположить линейный рост регулярной частоты фототока f при возрастании частоты оборотов диска, удалении светового пятна от оси вращения диска (т.е. от R), а также при увеличении степени отклонения луча от нормали к поверхности диска (т.е. от $\sin \alpha$). Экспериментально полученная зависимость изменения час-

тоты фототока f от частоты оборотов диска ν имеет линейный характер (как это и следует из соотношения (3)) представлена на рис. 3.

Оценка тангенса угла наклона прямой на рис. 3 по сравнению с расчетным значением согласно (3) указывает наличие коэффициента пропорциональности в 3,15, т.е.

$$f \approx 3,15 \frac{4\pi}{\lambda} R\nu \sin \alpha . \quad (4)$$

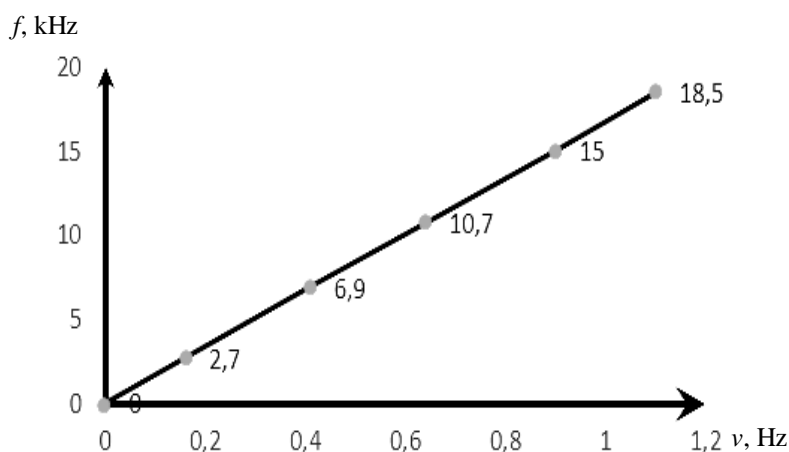


Рис. 3. Зависимость частоты фототока f от частоты оборотов диска ν

На рис. 4 представлена экспериментально полученная зависимость изменения частоты фототока f от угла падения луча α на поверхность вращающегося объекта – диска. По оси абсцисс отложены значения $\sin \alpha$, а по оси ординат – измеренные значения максимумов частоты f (кГц). Подобно рассмотренным выше данная зависимость носит линейный характер, что соответствует закономерностям соотношения (3).

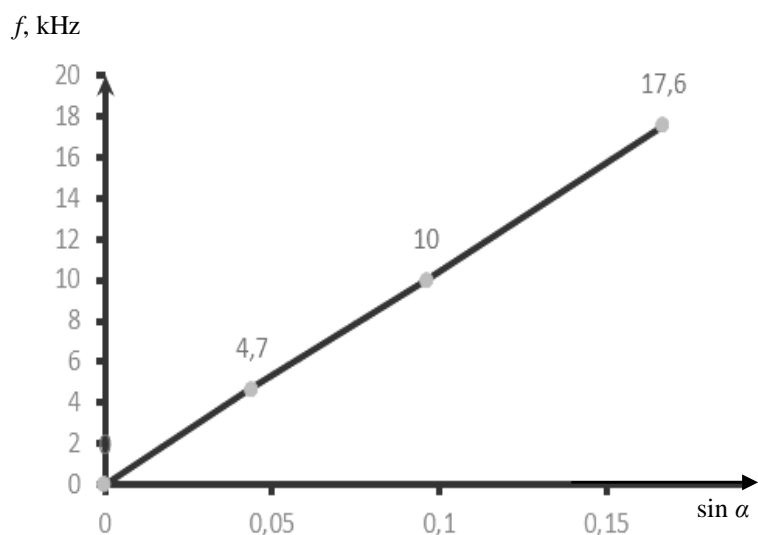


Рис. 4. Зависимость частоты фототока f от угла падения луча α

На рис. 5 иллюстрируется закономерность изменения частоты фототока f на выходе лазерного спекл-велосиметра при удалении освещенной области от оси вращения диска на расстояние R . Экспериментально полученная зависимость имеет линейный характер, что соответствует закономерностям соотношения (3). Таким образом, в целом экспериментальные зависимости находятся в адекватном соответствии с результатом теоретического анализа.

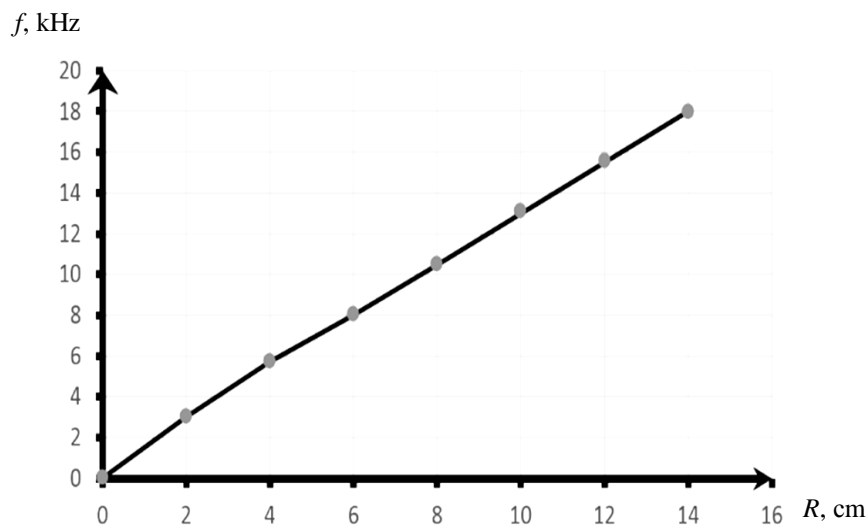


Рис. 5. Зависимость частоты фототока f от расстояния до освещенной области R

Выводы

Рассмотрены закономерности изменения фотока на выходе лазерного спектр-велосиметра при условии, что размер освещенной области объекта с СВП, вращающегося в плоскости, перпендикулярной плоскости падения лазерного луча, сопоставим с размером отдельного световозвращателя СВП.

Проведен анализ зависимостей частоты фототока на выходе от условий наблюдения: скорости вращения объекта, угла падения лазерного луча и расстояния до освещенной области. При этом данные теоретических и экспериментальных исследований находятся в адекватном соответствии.

Полученные аналитические соотношения и результаты могут служить методологической основой для построения нового класса относительно простых лазерных спекл-велосиметров, предусматривающих однолучевое лазерное зондирование движущихся объектов со СВП и прямое фотодетектирование рассеянного излучения.

Список литературы: 1. Джоунс, Р., Уайкс, К. Голографическая и спекл-интерферометрия : пер. с англ. – М. : Мир, 1986. – 328 с. 2. Аливердиев, А., Капонеро, М., Морикони, К. Разработка спекл-велосиметра для самодвижущейся установки // ЖТФ. – 2002. – № 72. – С. 116-121. 3. Доля, Г.Н., Катунин, А.Н., Мазанов, В.Г., Булай, А.Н. Измерение тангенциальной скорости движения объекта со световозвращающим покрытием при однолучевом зондировании // Системи обробки інформації. – 2014. – № 1(117). – С. 18-21. 4. Доля, Г.Н., Катунин, А.Н., Надь, А.О., Булай, А.Н. Лазерная спекл-велосиметрия вращающихся объектов со световозвращающей поверхностью // Системи обробки інформації. – 2015. – № 1(126). – С. 23-26.

Харьковский национальный
университет имени В.Н. Каразина
Национальный университет гражданской защиты Украины
Харьковский университет Воздушных Сил
имени И. Кожедуба

Поступила в редколлегию 17.11.2015