

**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 спел-картина, 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 $\varpi = 2\pi\nu$ плавно изменялась за счет изменения напряжения на электродвигателе.

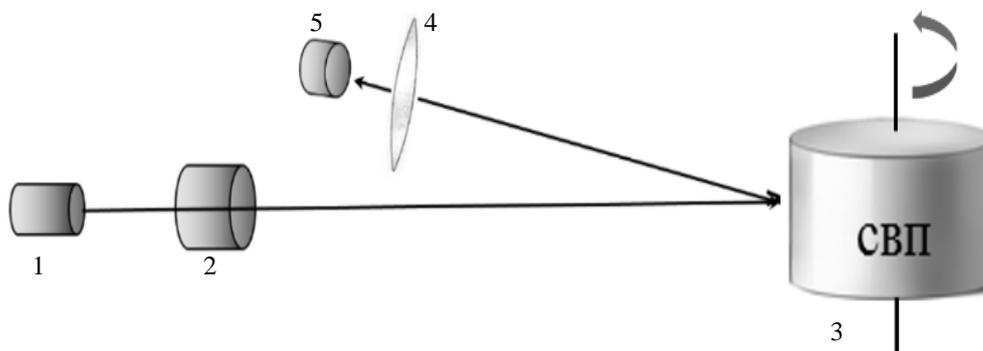


Рис. 1. Схема экспериментального макета

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

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

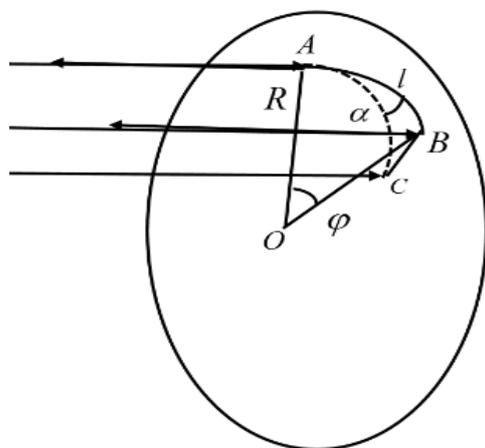


Рис. 2. Падение лазерного луча на вращающийся объект с СВП

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 частоты 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.

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

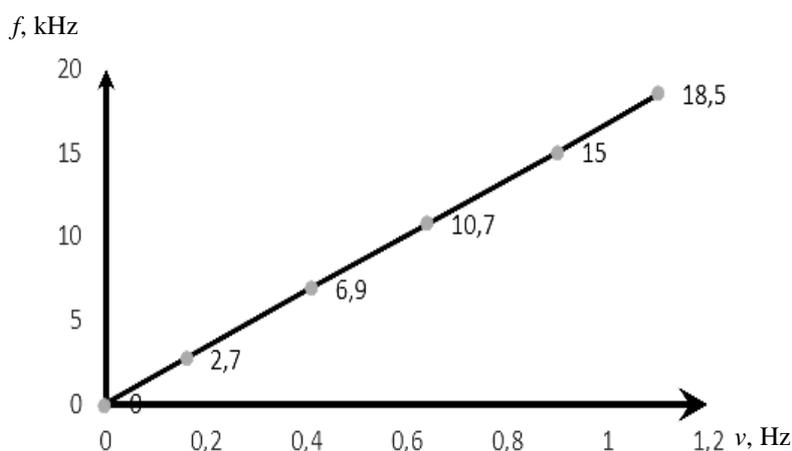


Рис. 3. Зависимость частоты фототока f от частоты оборотов диска ν

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).

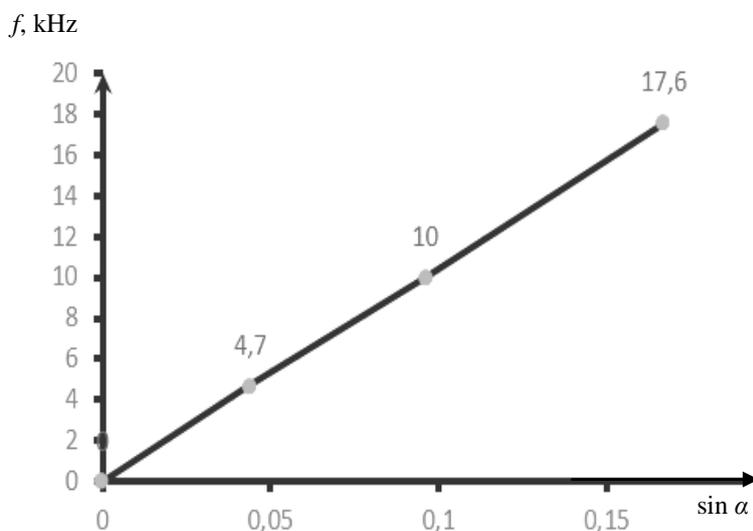


Рис. 4. Зависимость частоты фототока f от угла падения луча α

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.

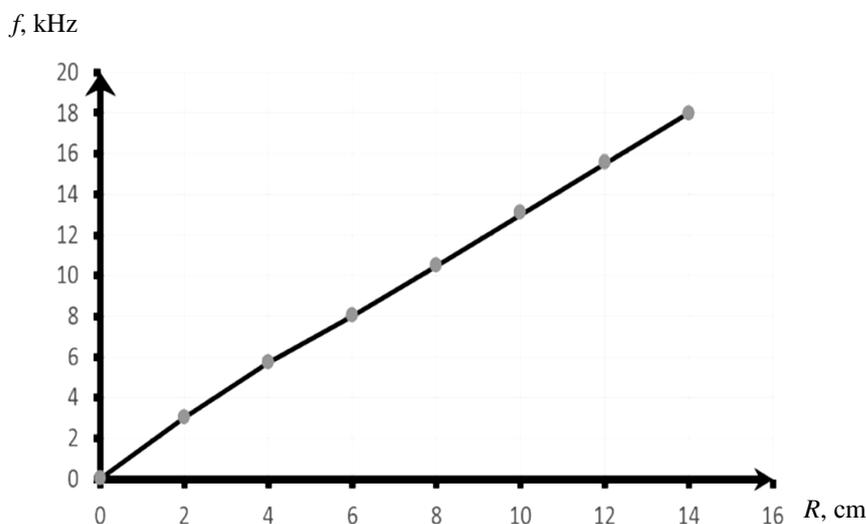


Рис. 5. Зависимость частоты фототока f от расстояния до освещенной области R

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 рассеяного 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

