

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА КРУГОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ШКАЛ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ГЕНЕРАТОРА ИЗОБРАЖЕНИЙ CLWS-300, НА ИХ УГЛОВЫЕ ПОГРЕШНОСТИ

© 2012 г. Д. Ю. Кручинин, канд. техн. наук; О. Б. Яковлев, канд. хим. наук;  
М. П. Андронов, канд. физ.-мат. наук

Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
Екатеринбург

E-mail: OlegBJakovlev@yandex.ru

Рассмотрены результаты исследования влияния условий синтеза круговых оптических шкал, изготовленных с использованием лазерного генератора изображений, на их угловые погрешности.

*Ключевые слова:* круговая оптическая шкала, лимб, угловая погрешность, лазерный генератор изображений.

Коды OCIS: 110.5220

Поступила в редакцию 22.11.2011

### Введение

Угловые погрешности лимбов, изготовленных способом обратной фотолитографии [1, 2], в значительной степени определяются угловыми погрешностями фотошаблонов, которые изготавливаются с использованием лазерного генератора изображений CLWS-300 [3]. Ранее было установлено, что угловые погрешности круговых оптических шкал, синтезированных с помощью этого генератора, в значительной степени определяются конкретными условиями их синтеза [4]. Зависимость угловых погрешностей круговой шкалы, определяемая генератором изображений  $F_{\text{ги}}(x)$ , является суммой систематической  $F_{\text{ги1}}(x)$  и случайной  $F_{\text{ги2}}(x)$  зависимостей угловых погрешностей, определяемых генератором изображений,  $x$  – угловое положение штриха. Накопленная погрешность расположения диаметров осей штрихов  $F_{\text{ги}}(x)$  может достигать более 4".

С целью уменьшения угловых погрешностей круговых шкал, изготовленных с использованием лазерного генератора изображений, целесообразно определить факторы, которые могут на них влиять. К таким факторам можно отнести способ фиксации хромированной подложки на столе шпинделя генератора, угол и направление наклона этого стола.

Результат измерения угловых погрешностей круговой шкалы можно представить в виде [4]

$$F(x) = F_{\text{к}}(x) + F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x),$$

где  $F_{\text{к}}(x)$  является зависимостью угловых погрешностей, вносимых установкой контроля АС700, а  $F_{\text{п}}(x)$  – зависимость угловых погрешностей, вносимых подложкой.

Отделить  $F_{\text{к}}(x)$  от  $F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x)$  позволяет фазо-статистический метод [5].

### Методика проведения эксперимента

С помощью лазерного генератора изображений CLWS-300 на одной и той же подложке шесть раз была синтезирована круговая шкала, состоящая из 360 темных штрихов шириной 8 мкм, диаметр шкалы 90 мм. Нулевой штрих заужен с каждой стороны на 0,5 мкм. Для исследования использовалась та же самая полированная подложка, которая была использована в работе [4]. При каждом нанесении шкалы подложка устанавливалась на стол шпинделя генератора таким образом, чтобы положение зауженного штриха на подложке соответствовало положению нулевого штриха при первом нанесении шкалы в работе [4], что позволяет использовать полученную в указанной работе зависимость  $F_{\text{п}}(x)$ , обусловлен-

ную подложкой, для выделения зависимости  $F_{\text{ги}}(x)$ . Затем определялись угловые погрешности шкалы на установке АС700 – 18 измерений с поворотом подложки относительно оси шпинделя установки на  $20^\circ$ . Положение зауженного штриха фиксировалось по характерному единичному выбросу на зависимостях угловых погрешностей расположения границ штрихов. Результаты измерения обрабатывались с использованием фазо-статистического метода. Исследования проводились для угловых погрешностей расположения диаметров осей штрихов.

При проведении первой, третьей и пятой записей подложка фиксировалась на столе шпинделя генератора с помощью вакуума, при проведении второй, четвертой и шестой – она лежала свободно на столе шпинделя, от возможных перемещений ограничивалась с помощью пластического материала. При первой и второй записях стол шпинделя генератора располагался горизонтально (наклон стола не превышал  $0,5'$ ), при третьей, четвертой, пятой и шестой записях наклон стола составлял около  $3'$ . Угол между направлением наклона стола шпинделя генератора при третьей и четвертой записях и направлением наклона стола при пятой и шестой записях составляет около  $120^\circ$ , что обусловлено конструкцией генератора.

### Результаты эксперимента и обсуждение

В результате проведенных измерений и обработки результатов было получено 6 зависимостей  $F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x)$  (рис. 1). Накопленные угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов для этих зависимостей представлены в таблице. Вычитанием из полученных зависимостей ранее установленной зависимости  $F_{\text{п}}(x)$  [4] были получены зависимости  $F_{\text{ги}}(x)$  (рис. 2). Накопленные угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов для них также представлены в таблице.

На основании полученных данных можно утверждать, что угловые погрешности круговой оптической шкалы, изготовленной с помощью лазерного генератора изображений CLWS-300, определяются способом крепления подложки на столе шпинделя генератора, углом и направлением его наклона.

В случае записи на свободно лежащей подложке накопленные угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов при изменении направления и угла наклона сто-

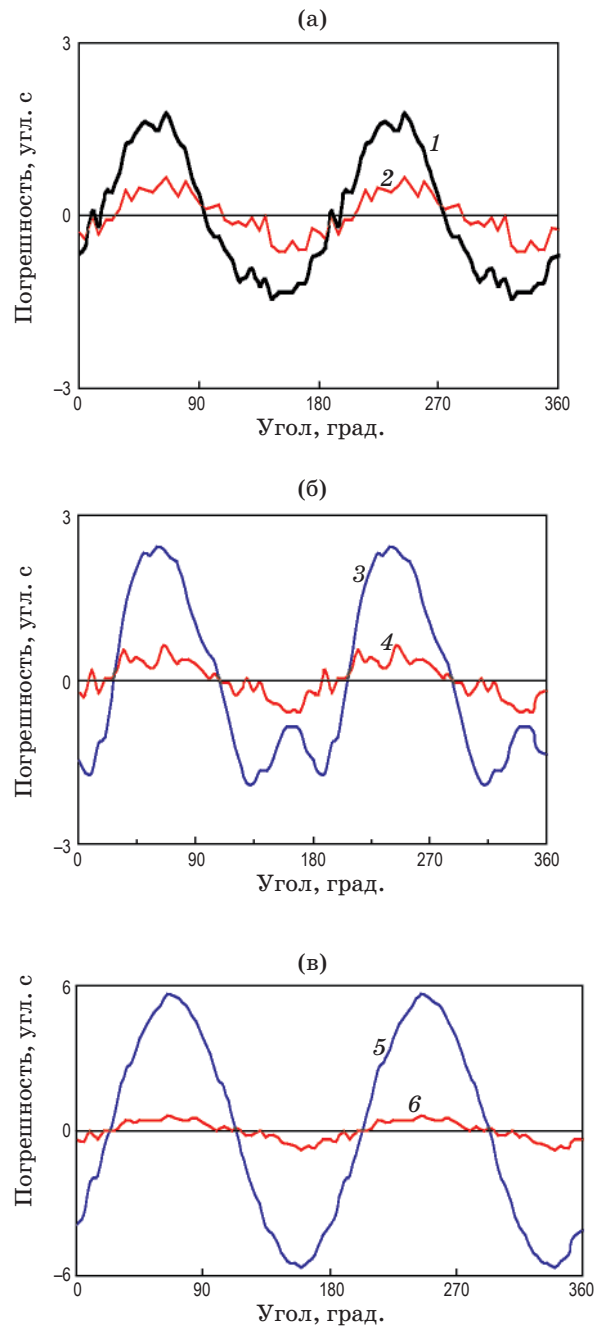


Рис. 1. Зависимости угловых погрешностей  $F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x)$ . Номера кривых соответствуют номерам записи.

ла шпинделя генератора достаточно постоянны. Так, в столбце 2 таблицы изменения зависимости угловых погрешностей находятся в пределах от  $1,21$  до  $1,49''$ , в столбце 3 – от  $1,07$  до  $1,41''$ , в обоих столбцах – от  $1,07$  до  $1,49''$ . Диапазон изменений составляет менее  $0,5''$ . Максимальные значения накопленных погрешностей (столбцы 2 и 3 таблицы) для сво-

Накопленные погрешности расположения диаметров осей штрихов

№ записи	Накопленные погрешности, угл. с		Способ фиксации подложки
	$F_{ги}(x) + F_{ц}(x)$	$F_{ги}(x)$	
1	3,19	2,29	вакуумный
2	1,29	1,41	свободный
3	4,33	4,07	вакуумный
4	1,21	1,07	свободный
5	11,30	10,60	вакуумный
6	1,49	1,26	свободный

бодно лежащей подложки не превышают 1,5". Полученные зависимости  $F_{ги}(x)$  обусловлены, в основном, второй гармоникой (рис. 2).

Использование вакуумной фиксации подложки приводит к значительному увеличению угловых погрешностей круговой шкалы. Для горизонтального расположения стола шпинделя генератора (первая запись) увеличение накопленной угловой погрешности расположения диаметров осей штрихов происходит в 1,6 раза (по сравнению со второй записью). При наклоне стола во время проведения записи накопленные погрешности могут увеличиться в 7 и более раз. Направление наклона стола в процессе записи может оказывать значительное влияние на угловые погрешности круговой шкалы. По-видимому, при вакуумной фиксации подложки происходит сильное искажение поверхности записи, что приводит к увеличению угловых погрешностей.

Таким образом, установлено, что в случае записи круговой оптической шкалы на свободно лежащей подложке накопленные угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов не превышают 1,5".

Наклон стола шпинделя генератора (в исследованных пределах) и направление его наклона не оказывают значительного влияния на величину накопленной погрешности. В этом случае не имеет особого смысла говорить о разделении зависимости угловых погрешностей  $F_{ги}(x)$  на систематическую и случайную.

Использование вакуумной фиксации подложки в процессе записи приводит к возникновению значительных случайных зависимостей угловых погрешностей  $F_{ги2}(x)$  круговой оптической шкалы.

\* \* \* \* \*

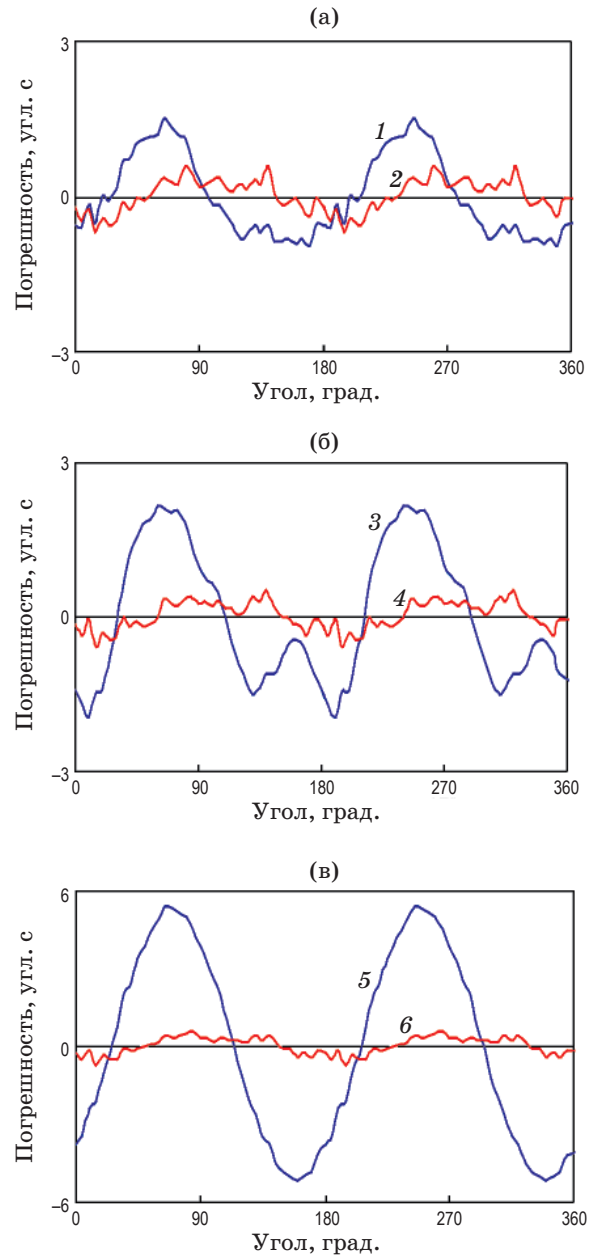


Рис. 2. Зависимости угловых погрешностей  $F_{ги}(x)$ . Номера кривых соответствуют номерам записи.

## Заключение

В результате проведенных исследований определены необходимые условия синтеза круговых оптических шкал с использованием лазерного генератора изображений CLWS-300, которые позволили минимизировать их угловые погрешности. Накопленные погрешности расположения диаметров осей штрихов синтезированных шкал не превышают 1,5", что меньше установленных изготовителем значений для этого генератора изображений (2") [3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кручинин Д.Ю. Способ изготовления оптических шкал обратной фотолитографией // Патент России № 2370799. 2009.
  2. Кручинин Д.Ю. Фотолитография в производстве круговых оптических шкал на Уральском оптико-механическом заводе // Оптический журнал. 2008. Т. 75. № 4. С. 92–94.
  3. Абрамов Ю.Ф., Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Кокарев С.А., Кручинин Д.Ю., Чугуй Ю.В., Яковлев О.Б. Модернизация оптического делительного производства Уральского оптико-механического завода на основе современных лазерно-компьютерных и фотолитографических технологий // Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 8. С. 61–65.
  4. Кручинин Д.Ю., Яковлев О.Б. Исследование угловых погрешностей круговых оптических шкал, изготовленных с использованием лазерного генератора изображений CLWS-300 // Оптический журнал. 2011. Т. 78. № 6. С. 47–50.
  5. Bartik S.A., Frizin S.E., Kiryanov V.P., Kiryanov A.V., Kokarev S.A., Kruchinin D.Y., Nikitin V.G., Yakovlev O.B. Development of a technique for the determination of metrological parameters of technological system CLWS-300/C for synthesis of high precision angular measuring structures // 10 th IMEKO TC7 Intern. Symp. Saint-Petersburg, 2004. P. 316–320.
-