

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОКОНУСНОСТИ ЛОПАСТЕЙ НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЕТА

Михаил Владов¹, Георги Сотиров², Дмитрий Добров¹, Ангелина Чожгова³

¹Молдова, Кишинев, «Comelpro» SRL,
e-mail: office@comelpro.com

²Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: gsotirov@space.bas.bg

³Техническият Университет-София, филиал Пловдив
e-mail: ani_angeliq@abv.bg

Ключовые слова: лопасти несущего винта, вертолет

Резюме: В статье представлено обоснование погрешности измерения соконусности лопастей несущего винта вертолета для оптической системы измерения, в которой используется ПЗС линейка KLI-2113 с размером пикселя 14мкм и 2098 пикселей.

ESTIMATION ERROR OF THE OPTICAL SYSTEM FOR ROTOR BLADES MEASUREMENT

Mihail Vladov¹, Georgi Sotirov², Dmitrii Dobrov¹, Angelina Chozhgova³

¹Moldova, Chisinau
e-mail: office@comelpro.com

²Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: gsotirov@space.bas.bg

³Technical University- Sofia, Plovdiv Branch
e-mail: ani_angeliq@abv.bg

Key words: rotor blades, helicopter.

Abstract: The article presents accuracy of rotor blades measurement error for the optical measurement system, which uses a CCD line KLI-2113 with a pixel size 14μm and 2098 pixels.

1. Актуальность проблемы

Исходя из технических характеристик известных оптических систем измерения соконусности лопастей НВ [3], в которых заявленная абсолютная погрешность измерения несоконусности лопастей НВ не превышает значения ± 1 мм, мы выбираем для нашей аппаратуры пространственное разрешение не более 0,7 мм.

Расчет пространственного разрешения для оптической аппаратуры проведем исходя из простых геометрических соотношений, смотри рис.1, по формуле (1).

$$(1) \quad \frac{f}{R} = \frac{l_p}{\Delta r}$$

где f – фокусное расстояние объектива, R - расстояние от объектива до конца лопасти, l_p – линейный размер пикселя, Δr - пространственное разрешение для одного пикселя

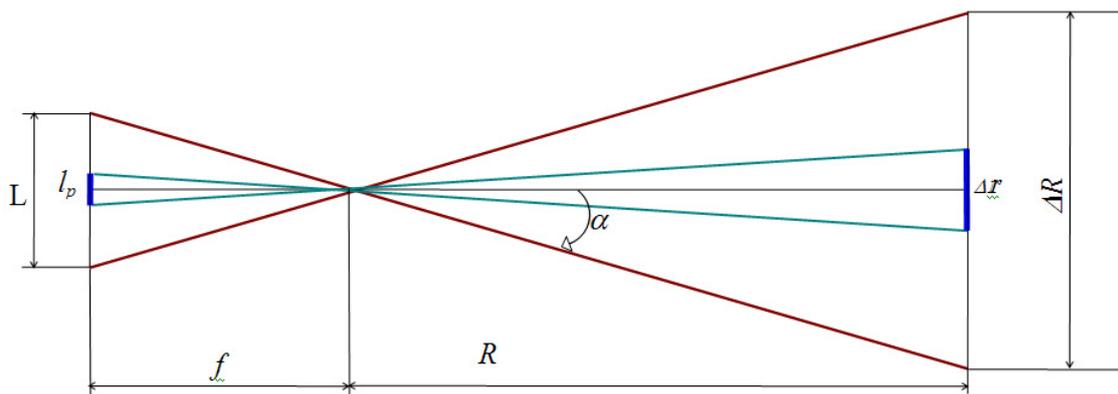


Рис. 1. Геометрическая проекция ПЗС линейки на поверхность лопасти НВ

Для получения пространственного разрешения в 0,7 мм, при расстоянии от объектива до конца лопасти 10 метров и длине пикселя в 14 мкм, согласно формулы (2):

$$(2) \quad f = \frac{Rlp}{\Delta r} \Rightarrow \frac{10 \cdot 14 \cdot 10^{-6}}{0,7 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow 0,2 \text{ м}$$

получаем фокусное расстояние объектива не менее $f = 0,2 \text{ м}$

Так как ширина проекции одной линии должна составлять 14 мкм, то пространственное разрешение объектива должно составлять не менее $1 / 0,014 \text{ мм/линию} = 72 \text{ линий/мм}$ или 36 двойных черно-белых линий.

Итак, параметры объектива для ПЗС-линейки KLI-2113 должны быть следующими:

- фокусное расстояние не менее 200 мм,
- разрешающая способность 72 линий/мм или 36 двойных черно-белых линий.

Рассчитаем ширину полосы обзора для ПЗС линейки KLI-2113 с размером пикселя 14 мкм. Исходя из формулы (3) получим:

$$\Delta R = \frac{RL}{f} \Rightarrow \frac{10 \cdot 2098 \cdot 14 \cdot 10^{-6}}{0,2} \Rightarrow \frac{2,94 \cdot 10^{-1}}{0,2} \Rightarrow 1,47 \text{ м}$$

Где ΔR - ширина полосы обзора, f – фокусное расстояние объектива, R - расстояние от объектива до конца лопасти, L - ширина ПЗС- линейки.

Из формулы (1) очевидно, что погрешность пространственного разрешения Δr для одного пикселя, при постоянных размерах пикселя l_p и фокусном расстоянии объектива f , прямо пропорциональна погрешности R -измеренного расстояния от объектива до конца лопасти.

Оценим погрешность изменения расстояния R от объектива до конца лопасти исходя из максимального угла установки лопастей, согласно [1] он равен $14,5^\circ$. При длине лопасти 10

метров, получаем расстояние : $\frac{10}{\cos 14,5} = \frac{10}{0,9861} = 10,14$ метров, что составляет 1,4% погрешности пространственного изменения расстояния до фокусного расстояния объектива;

А для случая максимального взмаха лопасти в $25,5^\circ$, согласно [4] и при длине лопасти

10 метров, получаем: $\frac{10}{\cos 25,5} = \frac{10}{0,9026} = 11,08$ метров, что составляет 10,8% погрешности пространственного изменения расстояния до фокусного расстояния объектива.

Несущий винт вертолета МИ-8/17 согласно [2] имеет диаметр 21,23 м, а длина максимальной окружности, описываемая НВ составляет $S=66,7$ м. Частота вращения вала НВ (при 95% показаниях счетчика) составляет 192 ± 2 об/мин или 3,2 об/сек, что составляет период вращения одной лопасти $T=0,3125$ s, а для пятилопастного НВ, лопастной период составляет 62,5 ms.

На рис.2 представлено графическая интерпретация положения лопастей НВ на временной оси с несведенным конусом.

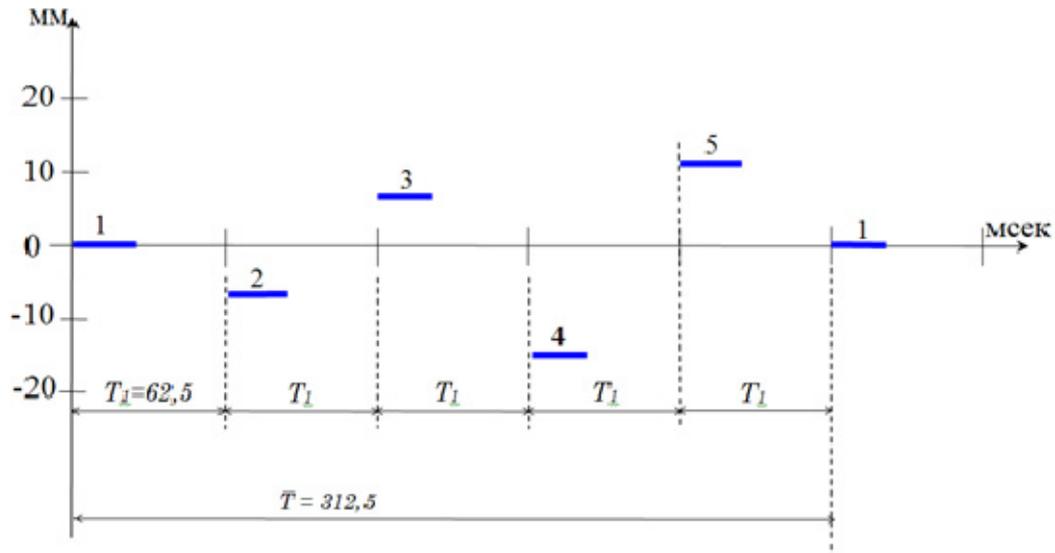


Рис. 2. Графическая интерпретация положения лопастей НВ при частоте вращения НВ 95%

Рассчитаем окружную скорость конца лопасти из известной формулы:

$$V = \frac{S}{T}, \quad (2)$$

где S - длина окружности, описываемая концом лопасти НВ, T - период вращения одной лопасти НВ.

Подставляя значения $S=66,7$ м и $T=0,3125$ s, в формулу 1 получим значение окружной скорости $V=213$ м/с.

При проекции одного пикселя в 0,7мм на лопасть НВ, при расстоянии от объектива до конца лопасти 10 метров, время прохода –экспонирования этого расстояния на пикселе ПЗС линейки равно (3):

$$(3) \quad T_1 = \frac{W}{V} = \frac{0,0007}{213} = 3,3ms$$

где W - длина проекции пикселя на лопасти НВ, V - окружная скорость конца лопасти.

Для ПЗС линейки KLI-2113, согласно (www.truesenseimaging.com), номинальное время экспозиции для накопления заряда на одном пикселе должно быть не менее 1 ms.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что для обеспечения требуемого экспонирования необходимо суммирование и обработка не менее 300 пикселей одновременно.

Изготовлен, смотри фото рис.1, макет сканера с ПЗС линейкой фирмы Кодак KLI-2113 [3], состоящей из 3-х параллельных друг другу светочувствительных линеек (с светофильтрами красного, зеленого и синего цветов) длиной в 2098 пикселей (светочувствительных элементов) каждая. Размеры пикселя составляют $14 \times 14 \mu m$. Для макета сканера ДЗЗ был использован объектив ТЕЛЕАР-Н с фокусным расстоянием 200 мм, углом поля зрения — 12° и разрешающей способностью 50 двойных черно-белых линий



Рис. 3. Фото макета сканера



Рис. 4. Фото макета лопастей НВ

Для оценки точности определения несоконусности лопастей НВ в макете вторая и четвертая лопасти были выведены из горизонтального положения на разные углы.

На рис. 5 представлены результаты цифровой обработки информации сканера макета лопаток НВ вертолета.



Рис. 5. Результаты цифровой обработки информации сканера макета лопаток НВ вертолета

Экспериментальной проверка измерений несоконусности лопастей макета НВ вертолета показала точность измерений в пределах ± 1 мм

Заключение

1. Для оценки точности определения соконусности лопастей несущего винта вертолета разработан сканер с ПЗС линейкой фирмы Кодак KLI-2113, состоящей из 3-х параллельных друг другу светочувствительных линеек (с светофильтрами красного, зеленого и синего цветов) длиной в 2098 пикселей (светочувствительных элементов) каждая.

2. Экспериментальной проверка измерений несоконусности лопастей макета несущего винта вертолета показала точность измерений в пределах ± 1 мм.

Литература:

1. www.narp.ru
2. Вертолет МИ-8МТ: Руководство по технической эксплуатации. Планер- М. Авиаэкспорт, 1988.- 220с.
3. www.truesenseimaging.com