

10, октябрь 2015

УДК 535.3+681.2

Исследование свойств двухгрупповой системы панкратического увеличения

***Балашов К.И.**, студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Оптические и оптико-электронные приборы и системы»*

Научный руководитель: Поспехов В.Г., д.т.н, доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Оптические и оптико-электронные приборы и системы»
pospehov@bmstu.ru*

В настоящее время мобильные телефоны стали конкурировать с цифровыми камерами в области фоторегистрации различных событий. Один из путей улучшения камер мобильных телефонов – замена объектива с постоянными оптическими характеристиками на панкратический объектив, встроенный в камеру мобильного телефона. Проблема заключается в согласовании габаритов объектива с габаритами мобильного телефона. Малая толщина мобильных телефонов (9-10мм) делает невозможным применить традиционную схему построения и размещения объектива, при которой оптическая ось объектива направляется перпендикулярно корпусу, так как длина известных схем панкратических объективов в несколько раз превышает толщину мобильного телефона. Считается, что более перспективными являются схемы перископического типа, у которых первая группа включает призму, отклоняющую оптическую ось на 90° перпендикулярно корпусу телефона [1]. Некоторые из схем такого типа рассмотрены в источниках [2-5]. Структурно оптические схемы перископического типа, как правило, включают четыре группы, первая и последние группы которых неподвижные, вторая и третья группы образуют систему панкратического увеличения (СПУ), перемещающуюся вдоль оптической оси для изменения фокусного расстояния. Отличие схем объективов заключается в типе СПУ и знаке оптической силы первой неподвижной группы. Особенности построения объектива, первая группа которого имеет отрицательную оптическую силу, а СПУ включает две положительные группы (тип А), рассмотрены в источнике [3,4]. Другая структурная схема, базирующаяся на первой группе

положительной оптической силы, СПУ из отрицательной и положительной группы типа Г рассмотрена в источнике [5]. Применение СПУ типа В с первой положительной группой и второй отрицательной группой в схеме панкратического объектива перископического типа мало изучено. Свойства СПУ типа В при условии $\beta > 0$ частично рассмотрены при построении панкратических окуляров [6].

В данной работе будут рассмотрены вопросы выбора параметров СПУ типа В при $\beta < 0$ и построения оптической схемы панкратического объектива перископического типа на этой основе. Для расчёта взаимного положения групп при изменении линейного увеличения можно использовать формулы, приведенные в работе [6], особенность заключается в выборе параметров L, K, f_2' для расчета основных параметров такой системы :

$$d=0,5L\pm\sqrt{0,25L^2-(K+1)f'_2L-\frac{(1-\beta)^2}{\beta}\cdot K\cdot f'^2_2}, \quad d - \text{расстояние между группами СПУ}; \quad a=\frac{K\left(\frac{1-\beta}{\beta}\right)f'^2_2+Kdf'_2}{f'_2(K+1)-d}, \quad \text{где } a - \text{расстояние до предметной точки А, совмещенной}$$

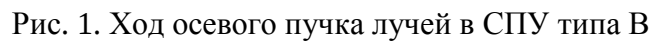
с задним фокусом F_1 ; $a' = \frac{K(1-\beta)f_2'^2 - df_2'}{f_2'(K+1) - d}$, где a' – расстояние от второй группы до точки изображения A' .

Показано, что при выборе параметров L, K, f_2 возможны случаи отсутствия решения для линейных увеличений β_1 и β_2 , значения которых являются корнями уравнения,

$\beta^2 + \beta \cdot \left(\frac{K+1}{K} \cdot - \frac{L}{f r_2^2} \frac{0,25 L^2}{k f r_2^2} - 2 \right) = 0$, полученного из условия $\sqrt{D} = 0$, где D – подкоренное выражение в формуле для определения величины d.

На рисунке 1 показан ход осевого пучка лучей в СПУ типа В при $L > 0$, $\beta < 0$,

$$K = \frac{f_1'}{f_2'} < 0, f_2' < 0, \text{ где } f_1', f_2' - \text{фокусные расстояния первой и второй группы СПУ.}$$


$$\beta_{\text{ext}} = -1), \text{ которые приводят к соотношению } f_2' = \frac{K+1}{4K} L.$$

На рисунке 2 нанесены гиперболы $f_2' = \frac{K+1}{4K}L$ и $f_2' = \frac{L}{4K}$, содержащие совокупность значений K, f_2' (при $L=1, \beta < 0$), между которыми лежит область предпочтительных значений параметров, рекомендуемых при нахождении положения подвижных групп СПУ типа В при изменении линейного увеличения.

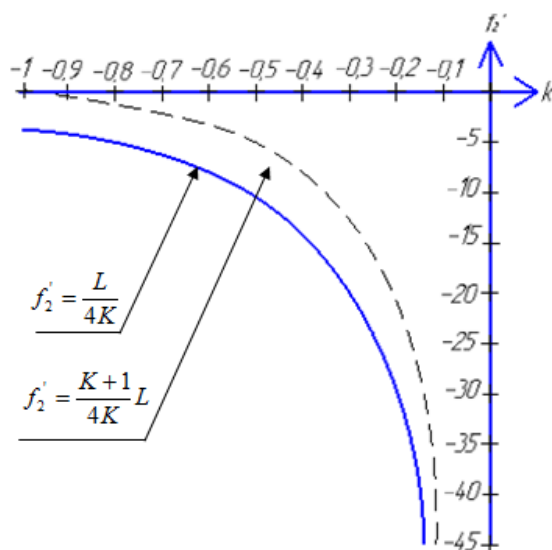


Рис. 2. Область предпочтительных значений K, f'_2 , ограниченная гиперболами

Гипербола $f'_2 = \frac{L}{4K}$ включает совокупность значений, представляющих собой максимальные значения (по абсолютной величине), при которых СПУ вырождается в систему постоянного увеличения при $\beta_{ext} = -1$, при других значениях увеличения решение уравнения для d отсутствует.

Исследование свойств СПУ типа В показали, что при определённом выборе параметров можно получить значительный отрезок – a (расстояние до точки объекта А) и допустимое значение отрезка – a' (расстояние до точки изображения А') при перепадах увеличения $M = 2,5 \dots 4,5^x$. Это открывает возможность сократить габариты панкратического объектива, имеющего первую группу отрицательной оптической силы, при условии согласования заднего фокального отрезка S_F' первой группы с отрезком – a СПУ. Анализ структуры, габаритов и оптических характеристик ряда объективов такого типа [4,6,7] позволили сформулировать требования к СПУ: перепад увеличения $M = 2,5 \dots 4,5^x$, длина системы $L = 20 \dots 25$ мм. Численные значения увеличений необходимо было определить из условия получения отрезка – a СПУ (по абсолютному значению) не менее -11.5мм на всём диапазоне изменения увеличения и отрезка – a' СПУ в пределах 1,3... 4 мм, путём выбора параметров K, f'_2 . Результаты расчётов взаимного положения групп, при $L = 25$ мм представлены в таблице.

K	$f'_2, \text{ мм}$	β	$d, \text{ мм}$	$a, \text{ мм}$	$a', \text{ мм}$
-0,9	-5	-0,2	9,902	-17,262	-2,164
		-0,4	4,851	-18,795	1,353
		-0,6	3,971	-17,418	3,612
		-0,8	3,689	-16,047	5,264
		-1	3,626	-14,861	6,513
		-1,2	3,668	-13,856	7,475
		-1,4	3,772	-13,002	8,226
		-1,6	3,916	-12,27	8,814
		-1,8	4,089	-11,637	4,089
		-2	4,284	-11,084	9,632
-0,7	-6,6	-0,2	-	-	-
		-0,4	4,994	-18,611	1,395
		-0,6	3,802	-17,1	4,097
		-0,8	3,43	-15,61	5,96
		-1	3,347	-14,351	7,302
		-1,2	3,402	-13,306	8,291
		-1,4	3,539	-12,434	9,027
		-1,6	3,73	-11,696	9,574
		-1,8	3,959	-11,066	9,975
		-2	4,221	-10,52	10,258
-0,5	-9,5	-0,2	-	-	-
		-0,4	5.159	-18.412	1.429
		-0,6	3.419	-16.719	4.862
		-0,8	2.896	-15.079	7.026
		-1	2.779	-13.74	8.481
		-1,2	2.857	-12.66	9.484
		-1,4	3.048	-11.777	10.175
		-1,6	3.316	-11.044	10.64
		-1,8	3.642	-10.426	10.932
		-2	4.018	-9.896	11.085

Наилучшие параметры K и f'_2 были выбраны, таким образом, чтобы обеспечить максимальный перепад увеличений M , при котором соблюдаются габаритные ограничения. Первое связано с расстоянием a , которое должно быть не меньше, чем 11,5 мм, второе - с расстоянием a' , которое должно быть больше 1,3 мм.

Выбор линейного увеличения β для оценки габаритных характеристик СПУ был основан на следующих моментах:

- 1) Минимальное увеличение СПУ ограничено суммарным фокусным расстоянием объектива, которое линейно зависит от $\beta_{\text{СПУ}}$, а также допустимого значения отрезка $-a'$ (см. рис.5). Расчеты показали, что следует принять $\beta_{\min} = -0,4$.

2) Максимальное значение увеличения СПУ β_{max} ограничено величиной отрезка а СПУ, и как видно из рисунка 4 составляет $\beta_{max} = -1,8 \dots -2,0$.

Изучение результатов позволило выбрать вариант параметров $K, f_2', \beta_{min}(\beta_{max})$ СПУ, который позволил построить исходный вариант панкратического объектива перископического типа для проведения синтеза и оптимизации aberrаций объектива.

Зависимости $d(\beta)$, $a(\beta)$, $a'(\beta)$ при $L=25$, $K = -0,9.. -0,7..-0,5$ представлены на рисунках 3, 4, 5 соответственно. Сплошная линия отображает зависимость при $K = -0,9$, штриховая - при $K=-0,7$, а пунктирная при $K=-0,5$.

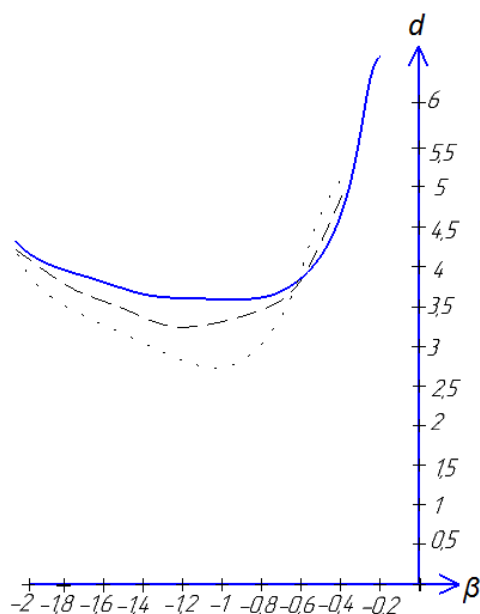


Рис. 3. Зависимость $d(\beta)$ при различных K

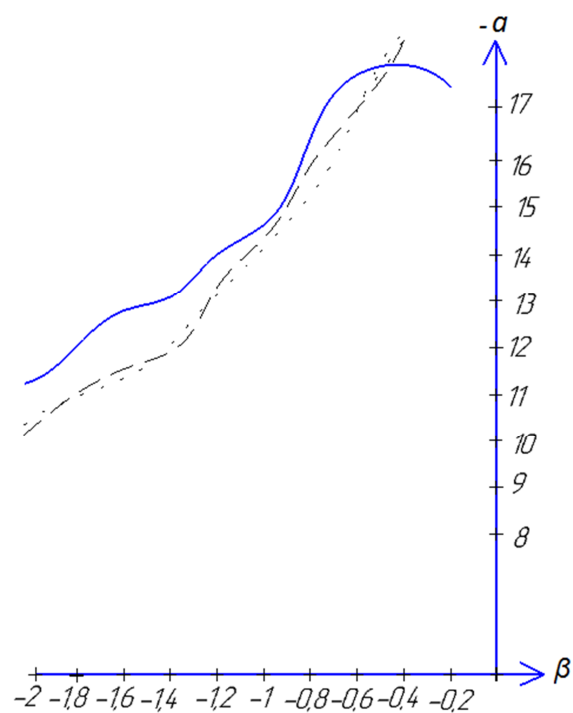


Рис. 4. Зависимость $-a(\beta)$ при различных K

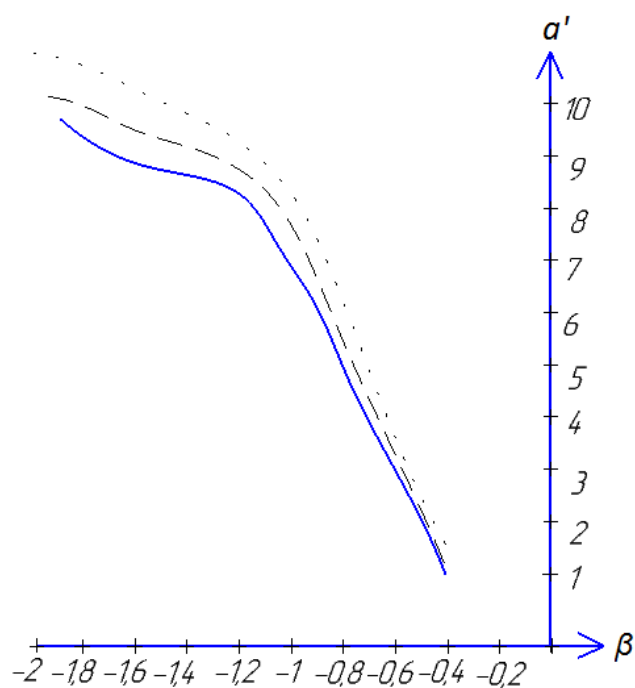


Рис. 5. Зависимость $a'(\beta)$ при различных K

Самый оптимальный вариант был выявлен при $K=-0,9$, $f'_2=-5$. При уменьшении K область приемлемых значений d , a , a' снижается, а при увеличении K до -1 положительных изменений не обнаружено по отношению к наилучшему варианту.

Предварительная оценка на данном этапе показала возможность построения объектива со следующими оптическими характеристиками: $f' = 5$ мм, $D = 1: 3,3$, $2Y' = 4,2$ мм при длине $L = 29$ мм.

Список литературы

1. Matsusaka K. Konica Minolta Co. Ultracompact optical zoom lens for mobile phone. Proc. Of SPIE, vol. 6502, 650203-1...9.
2. Yashicazu Shinohara Zoom lens, imagings apparatus and mobile phone. Patent No US 7940471 B2 Fujinon Corp. JP, May 10, 2011.
3. Поспехов В.Г., Крюков А.В. Исследование и расчёт малогабаритного панкратического объектива перископического типа // Труды МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. № 609: Оптические приборы и системы. С. 81-100.
4. Shinichi Mihara, Hirocszu Konishi Electronic Image pickyp system. Patent No US 7436599 B2 Olympus Corporation JP, oct. 14, 2008.
5. Shinichi Mihara Zoom lens and electronics imaging system using the same. Patent No US 7872807 B2 Olympus Corporation JP, Jan. 18, 2011.
6. Поспехов В.Г., Дягилева А.В. Габаритный и абберационный расчёт панкратических окуляров. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 55 с.