Задача 11.2 Система автоматического наведения

1. Лучи света, параллельные оси системы (главной оптической оси линзы L_1), линза L_1 собирает в фокусе F_1 на расстоянии $d = F_2 + b$ от оптического центра линзы L_2 . Эта точка будет являться предметом для линзы L_2 . Записав формулу тонкой линзы

$$\frac{1}{F_2} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d} \qquad (1),$$

получим:

$$f = \frac{F_2(F_2 + b)}{b} \qquad (2).$$

Поперечное увеличение линзы L_2 :

$$\frac{r_0 - a}{a} = \frac{f}{F_2 + b} \qquad (3).$$

Таким образом, расстояние от изображения до оси системы:

$$r_0 = a\left(1 + \frac{F_2}{b}\right) \qquad (4).$$

2. Лучи, идущие под углом α к оси системы, линза L_1 собирает в точке, лежащей на побочной оптической оси на том же расстоянии F_1 от плоскости линзы. Расстояние от оси системы до этой точки равно:

$$h = F_1 tg\alpha \approx \alpha F_1 \qquad (5).$$

Расстояние от точки-предмета до оптической оси линзы L_2 (из-за ее вращения) изменяется в пределах от $a + h$ до $a - h$, при этом расстояние от изображения до этой оси изменяется от $r_{max} - a$ до $r_{min} - a$.

Выражение для поперечного увеличения линзы в первом случае будет иметь вид:

$$\frac{r_{max} - a}{a + h} = \frac{f}{d} = \frac{F_2}{b} \qquad (6).$$

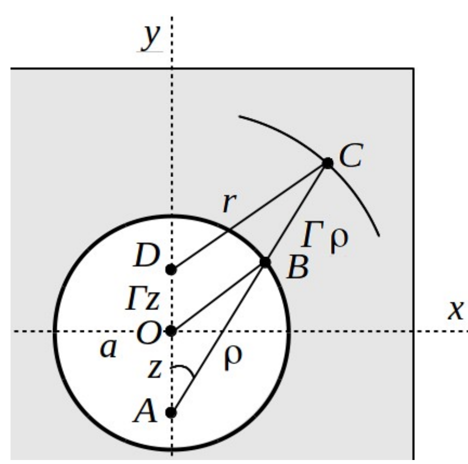
Тогда максимальное расстояние от оси системы до изображения точки:

$$r_{max} = a\left(1 + \frac{F_2}{b}\left(1 + \frac{F_1\alpha}{a}\right)\right) \qquad (7).$$

Проведя аналогичные вычисления для минимального расстояния, получим:

$$r_{min} = a\left(1 + \frac{F_2}{b}\left(1 - \frac{F_1\alpha}{a}\right)\right) \qquad (8).$$

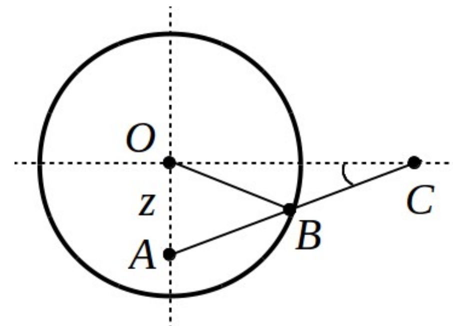
3. На рис.1 изображен вид системы спереди. Ось системы проходит через точку O. Точка-предмет находится на расстоянии $z = F_1\alpha$ от оси в точке A. Ось линзы L_2 двигается по окружности радиуса a, центр линзы находится в точке B. На заднем плане изображена часть экрана S. В точке C находится изображение. При условии $b = F_2$ Поперечное увеличение равно $\Gamma = \frac{F_2}{b}$, поэтому: $BC = AB \cdot \Gamma = \Gamma\rho$.



Поставим на оси OY точку D так, что $OD = \Gamma \cdot OA$. Тогда треугольники ADC и AOB будут подобными. А это значит, что расстояние $r = \Gamma a$ и будет таким при любом положении зеркала.

Таким образом, изображение на экране описывает окружность с радиусом $r = \Gamma a$ и центр ее находится на расстоянии Γz от оси системы.

4. При пересечении второго детектора взаимное расположение линзы предмета и изображения будет таким, как на рис. 2.



При этом:

$$\rho = a \quad (9),$$

$$\sin\alpha = \frac{z}{2a} \quad (10).$$

Линза при этом поворачивается на угол:

$\phi = \pi / 2 + \alpha$(15)

Поэтому между срабатываниями 1-го и 2-го датчиков пройдет время:

$$\tau_1 = \frac{1}{\omega}\left(\frac{\pi}{2} + \arcsin\left(\frac{F_1\alpha}{2a}\right)\right) \quad (11).$$

Время между срабатываниями 2-го и 3-го равно:

$$\tau_2 = \frac{1}{\omega}\left(\frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{F_1\alpha}{2a}\right)\right) \quad (12).$$

Время между срабатываниями 3-го и 4-го равно τ_2, а между срабатываниями 4-го и 1-го — τ_1.

5. Как следует из выражений (16) и (17), чем больше отклонение цели вдоль оси Oy, тем больше время между срабатываниями датчиков 1-2 и 4-1, соответственно, меньше — между датчиками 2-3 и 3-4. Простейший алгоритм работы системы управления — сравнить промежутки времени между срабатываниями датчиков, выбрать наименьший и поворачивать нос ракеты в направлении, задаваемом соответствующими датчиками.