

УДК 681.78

АППАРАТНОЕ СНИЖЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ НАСАДКЕ НА ТЕОДОЛИТ ПУЛ-Н

В.В. Коротаев, А.А. Мараев, П.П. Похитонов, А.Н. Тимофеев

В статье рассматриваются возможности снижения погрешности позиционирования с помощью оптико-электронной насадки на теодолит с оптической равносигнальной зоной (ПУЛ-Н) для управления строительными машинами путем применения высокоэффективных полупроводниковых излучающих диодов и модернизации оптической системы.

Ключевые слова: позиционирование, зона оптическая равносигнальная, энергетическая чувствительность.

Введение

Существуют приборы для позиционирования рабочих органов машин, выполняющих земельные работы, относительно базовой плоскости. Среди этих приборов эффективно применяется прибор с оптической равносигнальной зоной (ОРСЗ), выполненный как насадка на теодолит [1].

В таких приборах базовая равносигнальная плоскость формируется объективом 4 задатчика базового направления (ЗБН) 1 (рис. 1) путем проецирования на максимальную дистанцию работы машины ребра разделительной прямоугольной призмы 2. От каждой грани призмы отражается изображение излучающей площадки одного из двух инфракрасных полупроводниковых излучающих диодов (ПВД) 3 с различными частотами (f_1 и f_2) излучения. Пучок лучей, посылаемых ЗБН, оказывается «разрезанным» горизонтальной плоскостью на две части – верхнюю, модулированную частотой f_1 , и нижнюю с частотой f_2 . Эта граница и является базовой плоскостью.

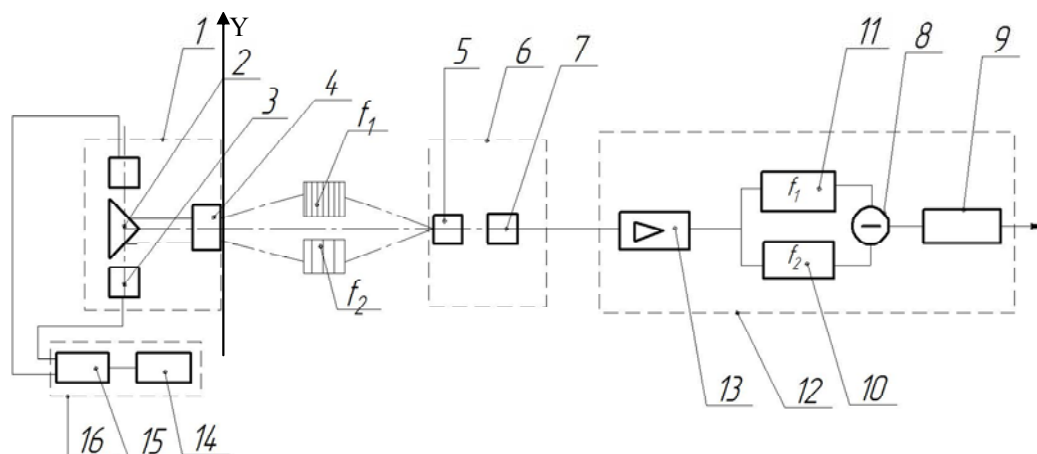


Рис. 1. Структурная схема ПУЛ-Н

Труба ЗБН включает объектив 4, в корпусе – разделительную призму 2 и два одинаковых канала подсветки, каждый из которых содержит полупроводниковые излучающие диоды 3 (типа АЛ107Б). Эти ПВД 3 питаются модулированным током от блока 16, состоящего из генератора 14 и делителя частоты 15 (f_1 и f_2). Приемная часть (ПЧ) 6

содержит объектив 5, в фокальной плоскости которого закреплен фотоприемник 7 (фотодиод ФД-К-155). ПЧ соединена с блоком усилителей 12, содержащим усилитель 13, электронные фильтры 10 и 11, вычитающее устройство 8 и электронное пороговое устройство 9, вырабатывающее команды управления [2].

Развитие техники и оптических технологий позволяет повысить характеристики аппаратных средств оптико-электронных приборов, в том числе и с оптической равносигнальной зоной. Как известно, чтобы повысить точность позиционирования с помощью насадки с ОРСЗ, необходимо увеличивать энергетическую чувствительность устройства [3]. Оценке путей повышения энергетической чувствительности за счет инструментальных усовершенствований рассматриваемого устройства с учетом появившихся новых более совершенных электронных компонентов и технологий и посвящена настоящая статья.

Влияние притупления призмы на энергетическую чувствительность

Энергетическая чувствительность системы с ОРСЗ определяется формулой [1]

$$W = \frac{2\tau'\pi S_1 S_2}{z^2 l_n} L \sin \omega t, \quad (1)$$

где τ' – пропускание атмосферы, S_1 – площадь выходного зрачка ЗБН, S_2 – площадь входного зрачка ПЧ, z – расстояние между ЗБН и ПЧ, l_n – линейный размер переходной зоны [1], L – яркость источника оптического излучения, ω – частота модуляции, t – время. Из формулы (1) видно, что увеличить энергетическую чувствительность можно, увеличивая яркость излучателя L и уменьшая ширину переходной зоны l_n .

Яркость ПИД можно приближенно определить формулой [1]

$$L = \frac{4KP_e}{\pi[d \sin(\theta/2)]^2},$$

где K – коррекционный множитель, P_e – мощность излучения, θ – значение угла излучения ПИД для уровня силы излучения, равной 50 % от максимальной, d – размер излучающей поверхности ПИД. Из последней формулы видно, что для увеличения яркости желательно повышать мощность излучения ПИД при уменьшении угла излучения. В настоящее время появились высокоэффективные ПИД, например фирмы Siemens (SFH 485 P), удовлетворяющие указанным требованиям.

Как известно из литературы, размер линейного участка в плоскости фокусировки будет определяться по формуле [1]

$$l_n = k_1 \delta \varphi z + D_1 |z - z_0| / z_0, \quad (2)$$

где k_1 – коэффициент формы распределения aberrаций объектива ЗБН; $\delta \varphi$ – максимальное значение угловой сферической aberrации объектива ЗБН; D_1 – диаметр выходного зрачка объектива ЗБН; z – дистанция до рассматриваемого сечения пучка ЗБН; z_0 – дистанция фокусировки ЗБН. Однако призма 2 (рис. 1) не может быть выполнена с идеально острым ребром между рабочими поверхностями (на данный момент достигнут размер притупления ребра 5 мкм), поэтому она вносит дополнительную добавку c' (рис. 2) к линейному размеру переходной зоны l_n , которая равна

$$c' = \frac{cz_0}{f'},$$

где c – размер притупления призмы, z_0 – дистанция фокусировки ЗБН, f' – фокусное расстояние объектива ЗБН. В итоге выражение 2 преобразуется к виду

$$l_n = k_1 \delta \varphi z + D_1 |z - z_0| / z_0 + cz / f'.$$

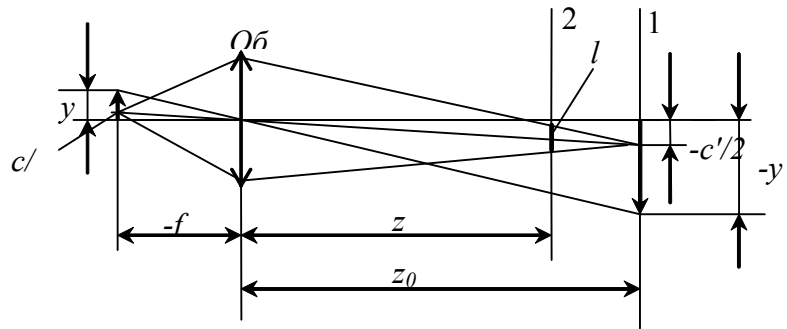


Рис. 2. Формирование переходной зоны с учетом притупления на призме

Увеличение размера переходной зоны приводит к уменьшению энергетической чувствительности W . Для исследования степени влияния параметров проведен сравнительный анализ по результатам теоретических расчетов.

На рис. 3 приведены графики энергетической чувствительности при разных значениях максимальной сферической aberrации объектива ЗБН и размера притупления ребра призмы при выбранной дистанции фокусировки $z_0 = 60$ м. Для расчета использованы характеристики ПИД марки АЛ107Б.

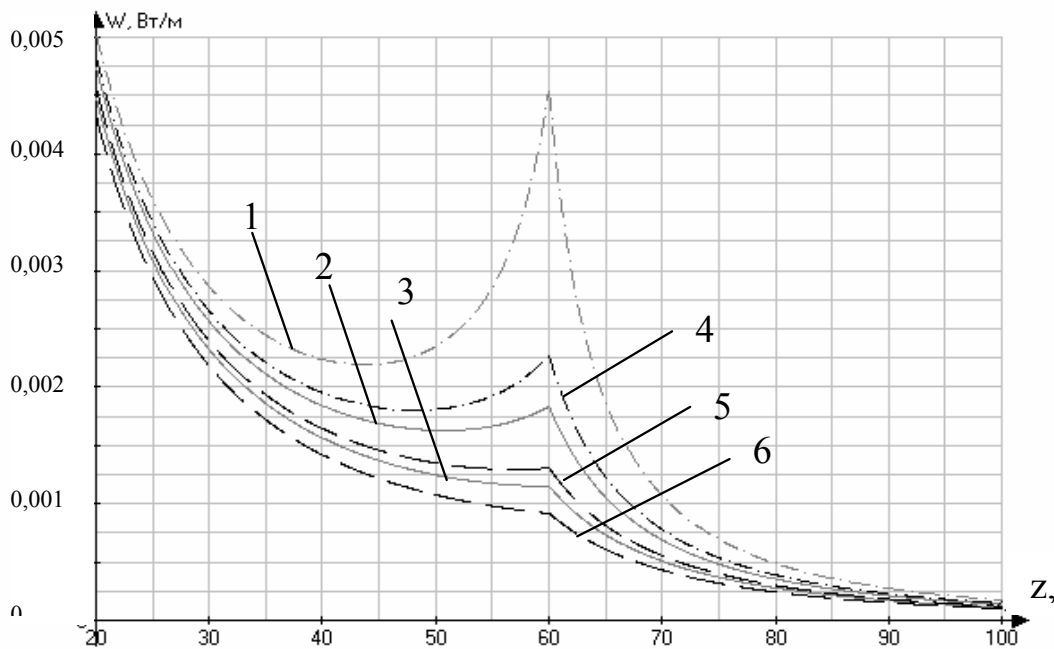


Рис. 3. Зависимость энергетической чувствительности W от дистанции z при различных параметрах оптической системы: 1) $\delta\varphi = 10''$, $c = 0$ мкм – идеализированный график; 2) $\delta\varphi = 10''$, $c = 5$ мкм; 3) $\delta\varphi = 10''$, $c = 10$ мкм; 4) $\delta\varphi = 20''$, $c = 0$ мкм – идеализированный график; 5) $\delta\varphi = 20''$, $c = 5$ мкм; 6) $\delta\varphi = 20''$, $c = 10$ мкм

Из хода кривых видно, что максимальное значение энергетической чувствительности принимает на дистанции фокусировки z_0 , при наименьших значениях $\delta\varphi$ и c ее значение почти в два раза выше, чем при наибольших значениях этих параметров (кривые 2 и 6 графика соответственно). Возрастание энергетической чувствительности в области фокусировки наблюдается только в случаях 2 и 5, так как функция $W(z)$ «успевает» проходить свой минимум до дистанции фокусировки. Кривыми 1 и 3 представлены идеализированные графики чувствительности (при притуплении, равном 0) при максимальных сферических aberrациях $10''$ и $20''$ соответственно. Видно, что при $\delta\varphi =$

10" имеются почти в 2 раза большие возможности для достижения высокой энергетической чувствительности в области фокусировки.

Одним из вариантов решения этой проблемы можно считать внесение конструктивных изменений, а именно замену прямоугольной разделительной призмы на призм-куб 2 (рис. 4) с отражающим покрытием на половине гипотенузной грани. В этом случае граница нанесенного покрытия может быть выполнена с точностью до единиц микрометров, в то время как в отражательной призме достигается минимальный размер притупления ребра между рабочими гранями не менее 5 мкм.

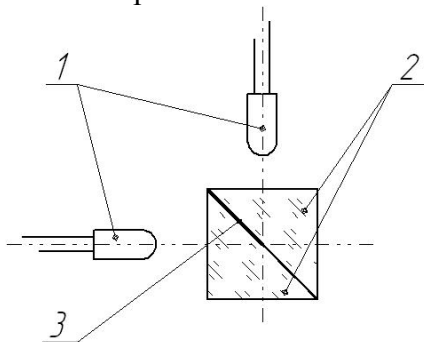


Рис. 4. Оптическая схема каналов подсветки: 1 – ПИД, 2 – призма-куб, 3 – отражающее покрытие на половине гипотенузной грани

Уменьшение размера ребра увеличивает энергетическую чувствительность. Пусть используемый в системе объектив имеет предел разрешения $N = 20\text{--}50$ лин/мм, и этот предел разрешения обусловлен только сферической аберрацией. При фокусном расстоянии объектива $f' = 69,9$ мм сферическая аберрация $\delta\varphi = 0,0004$ рад, и, принимая $k_1 = 1,6$, $z = z_0 = 60$ м, получим при $c = 5$ мкм $W = 3,09 \cdot 10^{-4}$ Вт/м, а при $c = 1$ мкм $W = 3,36 \cdot 10^{-4}$ Вт/м. К тому же наблюдается уменьшение погрешности, вызванной снижением яркости источников излучения с течением времени.

Погрешность, вызванная снижением яркости источников излучения из-за их старения

Применяемые в рассматриваемой оптико-электронной системе источники излучения обладают свойством уменьшать свою яркость с течением времени. При одинаковом снижении яркости полупроводниковых излучающих диодов, облучающих различные грани разделительной призмы, изменения положения оптической равносигнальной зоны не происходит. Однако при неодинаковом изменении яркости произойдет смещение оптической равносигнальной зоны в сторону грани с большей облученностью. Величину смещения от неодинаковой яркости источников [1] с учетом притупления можно определить выражением

$$dy = 0,25 \cdot \left(k_1 \delta\varphi z + \frac{D_1 |z_0 - z|}{z_0} + \frac{cz}{f'} \right) \delta L,$$

где k_1 – коэффициент формы распределения аберраций объектива прожектора; $\delta\varphi$ – максимальное значение угловой сферической аберрации объектива; D_1 – диаметр выходного зрачка объектива; z – дистанция до рассматриваемого сечения пучка; z_0 – дистанция фокусировки; δL – относительный разбаланс яркостей источников излучения в прожекторе; c – размер притупления разделительной призмы; f' – фокусное расстояние объектива ЗБН.

При характеристиках объектива, указанных выше, и относительном разбалансе яркостей $\delta L = 0,4$ получим границу неисключаемой систематической погрешности:

$$\text{при } c = 5 \text{ мкм } dy = \left(k_1 \delta \phi z \delta L + \frac{cz}{f'} \right) / 4 = 4,91 \text{ мм};$$

$$\text{при } c = 1 \text{ мкм } dy = \left(k_1 \delta \phi z \delta L + \frac{cz}{f'} \right) / 4 = 4,05 \text{ мм}.$$

Видим, что уменьшение притупления c позволяет снизить величину неисключаемой систематической погрешности на 17,5 %.

Заключение

В статье впервые было получено выражение зависимости линейной величины переходной зоны от размера притупления ребра призмы, проведен сравнительный анализ распределения энергетической чувствительности при разных характеристиках задатчика. Таким образом, модернизация ПУЛ-Н возможна:

- применением высокоэффективных источников излучения с большей мощностью излучения в меньшем угле расходимости;
- совершенствованием оптической системы путем применения источников с другим спектральным составом;
- применением призмы-куба со светоделительным покрытием на гипотенузной грани, полученным методом литографии.

В дальнейшем планируется проведение экспериментальных исследований на макете с призмой-кубом.

Работа выполнялась в рамках НИР по программе «Развитие научного потенциала высшей школы».

Литература

1. Джабиев А.Н., Мусяков В.Л., Панков Э.Д., Тимофеев А.Н. Оптико-электронные приборы и системы с оптической равносигнальной зоной: Монография / Под общ. ред. Э.Д. Панкова. – СПб: СПб ИТМО, 1998. – 238 с.
2. Погарев Г.В., Киселев Н.Г. Оптические юстировочные задачи: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-е, 1989. – 206 с.: ил.
3. Цуккерман С.Т., Гридин А.С. Приборы управления при помощи оптического луча. – Л.: Машиностроение, 1969. – 204 с.

Коротаяев Валерий Викторович	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, korotaev@grv.ifmo.ru
Мараев Антон Андреевич	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, студент, antoshka87@gmail.com
Похитонов Петр Петрович	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, студент, sea_pirat@mail.ru
Тимофеев Александр Николаевич	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, ст.н.с., доцент, timofeev@grv.ifmo.ru