

УДК 608.2

ОПТИЧЕСКИЙ КАНАЛ ОБЗОРНО-ПОИСКОВОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В. А. Горячева, аспирант, ТулГУ, Тула, Россия;
orcid.org/0009-0000-1142-7745, e-mail: irina-gorjacheva31@rambler.ru

Рассматривается возможность замены двухканальной оптической системы одноканальной в обзорно-поисковой информационно-измерительной системе с возможностью уменьшения ее массогабаритных параметров и улучшения функциональных характеристик. Целью работы является повышение функциональных характеристик обзорно-поисковой информационно-измерительной системы за счет применения в ее составе телевизионной системы с объективом переменного фокусного расстояния. Рассматривается математическая модель, алгоритм синтеза и предлагаемая методика расчета n-компонентного объектива переменного фокусного расстояния телевизионной системы. Приводятся сравнительные характеристики двухканальной системы и полученной телевизионной системы с объективом переменного фокусного расстояния как составных частей обзорно-поисковой информационно-измерительной системы.

Ключевые слова: оптический канал, обзорно-поисковая информационно-измерительная система, математическая модель, телевизионная система, объектив с переменным фокусным расстоянием, двухканальная оптическая система, алгоритм синтеза, методика расчета.

DOI: 10.21667/1995-4565-2023-86-38-44

Введение

Современные обзорно-поисковые информационно-измерительные системы имеют канал технического зрения, который помимо радиолокационного канала, требующего применения различных инструментов обработки и передачи информации [1-3], оснащен оптической частью, удовлетворяющей соответствующим требованиям по обнаружению предмета в зоне наблюдения, распознаванию и идентификации предмета. В связи с этим оптическая часть должна иметь как широкое поле зрения, так и возможность более подробного рассмотрения предмета, что позволяют выполнить многоканальные системы. Такие системы расширяют возможности и повышают эффективность функционирования обзорно-поисковых информационно-измерительных систем в различных условиях, например в сумеречное время суток, туман и т.д. Многоканальные системы содержат также ТВ-каналы различного поля зрения и тепловизионные каналы.

Однако сложность совмещения оптических осей отдельных каналов, необходимость выполнения массогабаритных условий, а также требований к стоимости прибора не всегда позволяют применять многоканальные системы.

Решить данную проблему возможно, заменив, например, телевизионные каналы многоканальной оптической системы телевизионной системой с объективом переменного фокусного расстояния.

Телевизионная система с объективом переменного фокусного расстояния позволяет плавно изменять увеличение, сохраняя требуемое качество изображения во всем диапазоне изменения фокусных расстояний. Обладает как большим полем зрения при малых фокусных расстояниях, так и большим увеличением при больших фокусных расстояниях. Наблюдение с помощью такой системы осуществляется непрерывно при необходимости более детального рассмотрения просматриваемой области. Таким образом, применение телевизионной системы с переменным фокусным расстоянием взамен многоканальной оптической системы позволит выполнить требования к массе, габаритам и стоимости прибора, а также повысит функциональные возможности прибора.

Теоретическая часть

Имеется два разработанных телевизионных объектива, один из которых запатентован: термостабилизированный объектив видимой и ближней ИК-области спектра [4] и объектив для ближней ИК-области спектра [5], которые применяются в двухканальной оптической системе. Предлагается заменить двухканальную оптическую систему телевизионной системой с объективом переменного фокусного расстояния.

Однако в настоящее время существует сложность расчета объектива переменного фокусного расстояния. Поскольку единой методики расчета не существует [6, 9], а заимствование у ведущих организаций по расчету оптических систем не представляется возможным по целому ряду причин, предлагается применить разработанную методику расчета n -компонентного объектива с переменным фокусным расстоянием. Следует отметить, что данная методика пригодна и для n -компонентного объектива фиксированного фокусного расстояния.

В основу данной методики положен разработанный алгоритм синтеза исходной трех- и четырехкомпонентной оптической системы в паракиальной области, реализованный в программе расчета оптических систем, а в основу алгоритма положена разработанная математическая модель, описывающая трех- и четырехкомпонентную оптическую систему, и известный метод вариации параметров [7].

Приведем основные результаты.

Математическая модель трех- и четырехкомпонентной исходной оптической системы с переменным фокусным расстоянием [8] имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \varphi_1 + \varphi_4 - \varphi_1\varphi_4(L - d_4) + \varphi_2(\varphi_1 d_1 - 1)(\varphi_4(d_2 + d_3) - 1) + n\varphi_2 d_2(\varphi_4 d_3 - 1) \times \\ \times ((1 - \varphi_1 d_1)(\varphi_2 - 1/d_2) + \varphi_1) - \varphi_I = 0, \\ \varphi_1 + \varphi_4 - \varphi_1\varphi_4(L - s_4) + \varphi_2(\varphi_1 \bar{d}_1 - 1)(\varphi_4(\bar{d}_2 + \bar{d}_3) - 1) + n\varphi_2 \bar{d}_2(\varphi_4 \bar{d}_3 - 1) \times \\ \times ((1 - \varphi_1 \bar{d}_1)(\varphi_2 - 1/\bar{d}_2) + \varphi_1) - \varphi_{II} = 0, \\ s_4 = \varphi_{II} \left(1 - \varphi_1 (\bar{d}_1 + \bar{d}_2 + \bar{d}_3) + \varphi_2 \bar{d}_3 \left((\varphi_1 \bar{d}_1 - 1) \left(n(1 - \varphi_2 \bar{d}_2) + 1 + \bar{d}_2 / \bar{d}_3 \right) + n\varphi_1 \bar{d}_2 \right) \right), \\ d_4 = \varphi_I \left(1 - \varphi_1 (d_1 + d_2 + d_3) + \varphi_2 d_3 \left((\varphi_1 d_1 - 1) \left(n(1 - \varphi_2 d_2) + 1 + d_2 / d_3 \right) + n\varphi_1 d_2 \right) \right), \\ L = \bar{d}_1 + \bar{d}_2 + \bar{d}_3 + s_4, \\ d_2 = L - d_1 - d_3 - d_4, \end{cases}$$

где φ_I и φ_{II} – оптические силы системы в первом и во втором крайних состояниях соответственно; $M = \varphi_I / \varphi_{II}$; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – оптические силы первого, второго, третьего и четвертого компонентов оптической системы соответственно; d_1, d_2, d_3 – расстояния между компонентами в начальном состоянии оптической системы; $\bar{d}_1, \bar{d}_2, \bar{d}_3$ – расстояния между компонентами в конечном состоянии оптической системы, d_4 и s_4 – расстояния между четвертым компонентом и плоскостью изображений в начальном и конечном состояниях соответственно.

При этом была проведена замена $\varphi_3 = n \cdot \varphi_2$.

Также были введены ограничения на световые габариты исходной оптической системы, имеющие следующий вид:

$$\begin{cases} R_1 = R_2 + \bar{d}_1 \left[(y' + R_4 \cdot (1 - s' \cdot \varphi_4)) \cdot \frac{1}{s_4} - R_3 \cdot \varphi_3 - R_2 \cdot \varphi_2 \right], \\ R_2 = R_3 \cdot (1 - \bar{d}_2 \varphi_3) + \frac{\bar{d}_2}{s_4} (y' + R_4 \cdot (1 - s_4 \cdot \varphi_4)), \\ R_3 = R_4 + \frac{\bar{d}_3}{s_4} (y' + R_4 \cdot (1 - s_4 \cdot \varphi_4)), \end{cases}$$

где R_1, R_2, R_3, R_4 – световые радиусы первого, второго, третьего и четвертого компонентов соответственно, y' – половина диагонали приемника излучения.

Тогда, имея в своем распоряжении полученную математическую модель (которая была преобразована для использования метода вариации параметров) и применяя метод вариации параметров, был разработан алгоритм синтеза исходной трех- и четырехкомпонентной оптической системы в паракиальной области, представленный на рисунке 1 в виде блок-схемы.

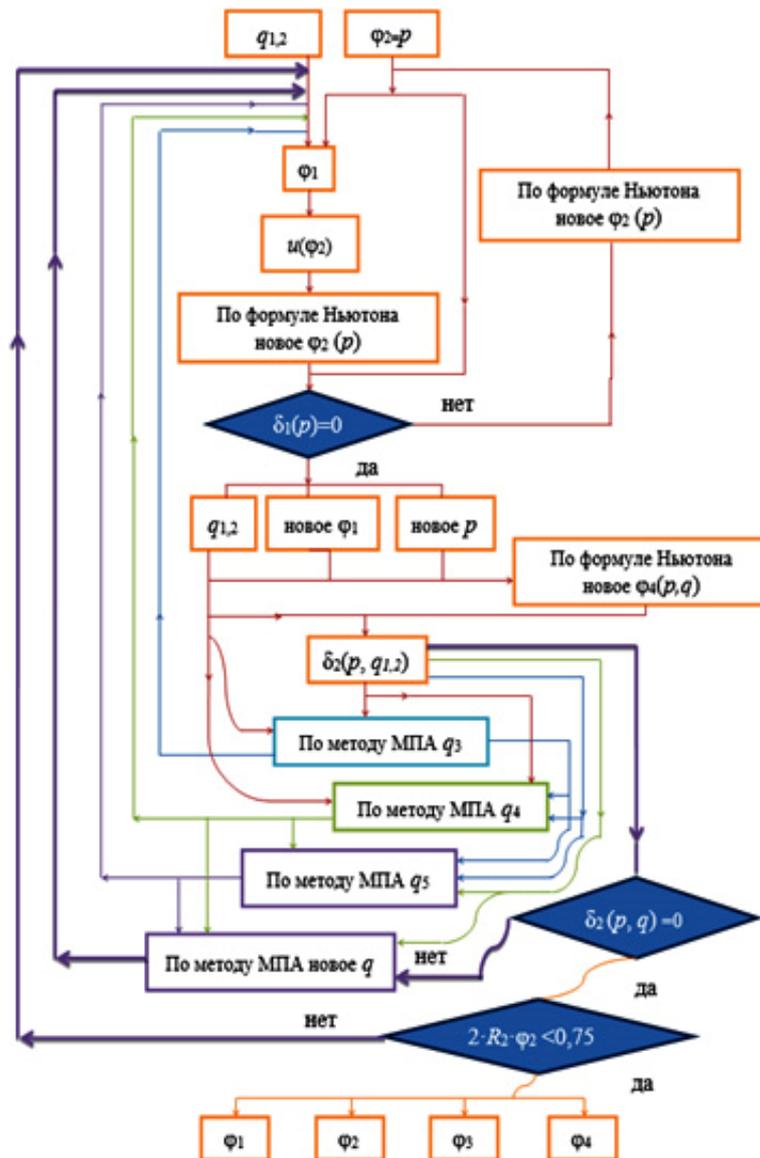


Рисунок 1 – Блок-схема синтеза исходной оптической системы
Figure 1 – Block scheme of initial optical system synthesis

Разработка данного алгоритма позволила автоматизировать процесс структурно-габаритного синтеза исходной оптической системы трех- и четырехкомпонентного объектива переменного фокусного расстояния, был написан макрос для программы по расчету оптических систем. С учетом этого, была разработана методика расчета n -компонентного объектива с переменным фокусным расстоянием, схема которого приведена на рисунке 2.

Разработанная методика расчета n -компонентного объектива с переменным фокусным расстоянием [10] включала в себя следующее: использовался интерфейс программы расчета оптических систем для задания начальных данных и для вывода результатов расчета; вызывался макрос, по результату работы которого имелась синтезированная исходная система, представленная паракиальными линзами; затем паракиальные линзы заменялись реальными

ми, при этом выполнялось условие, что если относительное отверстие компонента $D/f' < 0,7$, то он заменялся одной линзой или склейкой, при относительном отверстии компонента $D/f' > 1$ оптимальной заменой служили три одиночных линзы. Таким образом, синтезированная четырехкомпонентная система усложнялась и при необходимости разбивалась на n компонентов. Следует отметить, что данная методика позволяет рассчитать n -компонентный объектив, имеющий фиксированную длину, при этом количество подвижных компонентов может быть до $(n-1)$.

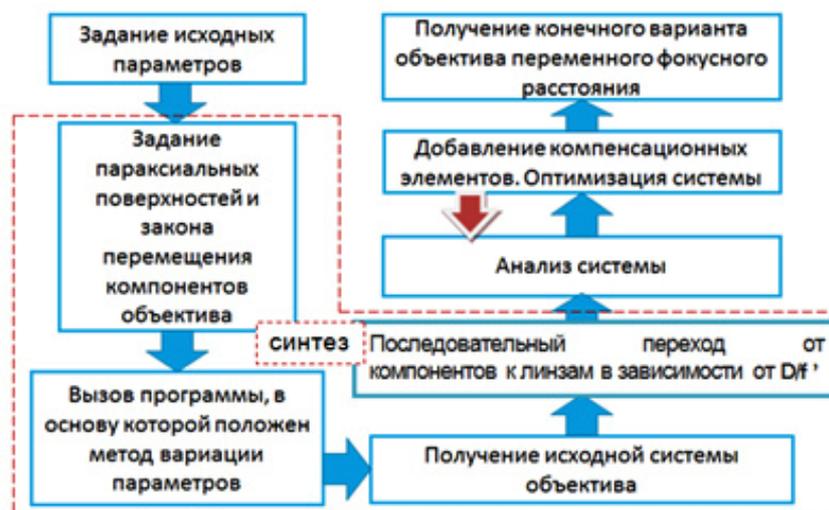


Рисунок 2 – Схема методики расчета n -компонентного объектива переменного фокусного расстояния
Figure 2 – Scheme of n -component zoom lens method

Экспериментальные исследования

По предлагаемой методике (приведенной выше) был рассчитан четырехкомпонентный объектив со следующими характеристиками [10]: спектральный диапазон $\lambda = 0,60 \dots 0,85$ мкм, диапазон изменения фокусного расстояния $f' = 15 \dots 300$ мм, кратность $20\times$, относительное отверстие $D/f' = 1:4$, угловое поле в пространстве предметов $2\omega = 2 \dots 36,5^\circ$.

В свою очередь телевизионные каналы, входящие в двухканальную оптическую систему, имеют следующие характеристики:

- объектив для ближней ИК-области спектра – спектральный диапазон $\lambda = 0,60 \dots 0,8$ мкм, фокусное расстояние $f' = 180$ мм, относительное отверстие $D/f' = 1:3,6$, угловое поле в пространстве предметов $2\omega = 3,6^\circ$;

- термостабилизированный объектив видимой и ближней ИК-области спектра – спектральный диапазон $\lambda = 0,40 \dots 0,85$ мкм, фокусное расстояние $f' = 75$ мм, относительное отверстие $D/f' = 1:4,1$, угловое поле в пространстве предметов $2\omega = 6^\circ$.

Сравним характеристики обзорно-поисковой информационно-измерительных систем, одна из которых состоит из двухканальной оптической системы, а другая – из телевизионной системы с разработанным объективом переменного фокусного расстояния (таблица 1).

Из таблицы 1 видно, что дальности обнаружения, опознавания и идентификации предмета стали выше при использовании в обзорно-поисковой информационно-измерительной системе оптической части с объективом переменного фокусного расстояния, т.е. функциональные характеристики системы улучшились. Замена двухканальной системы в обзорно-поисковой информационно-измерительной системе одним каналом с объективом переменного фокусного расстояния позволило сократить массогабаритные параметры прибора.

Таблица 1 – Характеристики оптической части обзорно-поисковой информационно-измерительной системы

Table 1 – Optical part characteristics of observation search and data-measurement system

Наименование характеристик	Двухканальная оптическая система		Телевизионная система с объективом переменного фокусного расстояния
	Объектив для ближней ИК-области спектра	Термостабилизированный объектив видимой и ближней ИК-области спектра	
	Значения		
Отношение фокусных расстояний каналов	2,4 ^x		20 ^x
Область длин волн, мкм	0,6...0,8	0,4...0,85	0,6...0,85
Угловое поле, град	3,6	6	2...36,5
Фокусное расстояние, мм	180	75	15...300
Относительное отверстие, отн. ед.	1:3,6	1:4,1	1:4
Дальность обнаружения предмета (при P≥0,9), км	9,5	4,8	0,5...15,5
Дальность опознавания предмета (при P≥0,9), км	3,1	1,4	5,3
Дальность идентификации предмета (при P≥0,9), км	2,1	0,8	2,7

Заключение

В статье предложена замена телевизионных каналов двухканальной оптической системы на телевизионную систему с объективом переменного фокусного расстояния в обзорно-поисковой информационно-измерительной системе. Приведен алгоритм синтеза и предлагаемая методика расчета объектива переменного фокусного расстояния, рассмотрены характеристики полученного объектива. Замена двухканальной системы в обзорно-поисковой информационно-измерительной системе одним каналом с объективом переменного фокусного расстояния позволило сократить массогабаритные параметры системы и улучшить ее функциональные характеристики.

Библиографический список

1. **Корячко В.П., Лукьянов О. В., Шибанов А.П.** Нахождение скрытого параллелизма протоколов для улучшения характеристик сети передачи данных полигонного измерительного комплекса // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 47. С. 68-75.
2. **Егошкин Н.А., Ушенкин В.А.** Совмещение высокодетальных изображений с использованием опорной цифровой модели рельефа при интерферометрической обработке радиолокационной информации // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 51. С. 72-79.
3. **Косарев О.В., Дементьева Е.Г., Катунцов Е.В., Лунтовская Я.А., Кателевский Д.А.** Алгоритм совмещения двумерных изображений методами контурного анализа // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2021. № 75. С. 24-33.
4. **Горячева В.А., Мазаев В.Л.** Термостабилизированный объектив видимой и ближней инфракрасной области спектра // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8. Тула: Изд-во ТулГУ, 2019. С. 298-303.
5. Пат. 2690098 РФ Объектив для ближней ИК-области спектра. МПК9 G02B 13/14; G02B 9/12; G02B 11/16; заявитель и патентообладатель: Акционерное общество «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А.Г. Шипунова»/ **Бушмелев Н.И., Горячева В.А.** [и др.] – № 2018135891; заявл. 11.10.2018; опубл. 30.05.2019, Бюл. № 16.

6. **Бездидько С.Н., Ширанков А.Ф.** Структурно-габаритный синтез исходных схем оптических систем // Оптический журнал. Т. 86, № 9. С.-Пб.: Изд-во ИТМО, 2019. С. 17-24.
7. **Фильчаков П.Ф.** Численные и графические методы прикладной математики: справочник. Киев: Наукова думка, 1970. 800 с.
8. **Горячева В.А.** Расчет оптических сил компонентов панкратического объектива в Zemax. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 6. Тула: Изд-во ТулГУ, 2020. С. 143-146.
9. **Куртман С.А., Поспехов В.Г.** Методика автоматизированного синтеза панкратических объективов в тонких компонентах // Прикладная оптика: сб. тр. IX междунар. конф. Санкт-Петербург, 2010, т. 1, ч. 1. С. 80-84.
10. **Горячева В.А.** Объектив с переменным фокусным расстоянием = Zoom lens / В.А. Горячева // Приборостроение-2022: материалы 15-й Международной научно-технической конференции, 16-18 ноября 2022 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. С. 85-87.

UDC 608.2

OPTICAL CHANNEL OF OBSERVATION SEARCH AND DATA-MEASUREMENT SYSTEM

V. A. Goryacheva, postgraduate student, TSU, Tula, Russia;
orcid.org/0009-0000-1142-7745, e-mail: irina-gorjacheva31@rambler.ru

The possibility of two-channel optical system to be replaced by one-channel one in observation search and data-measurement system with the possibility to decrease its weight and size parameters and increase its characteristics is studied. The aim is to increase characteristics of observation search and data-measurement system by means of television system with zoom lens. The math model, synthesis algorithm and suggested method of television system with n-component zoom lens calculation are proposed. Comparison characteristics of two-channel optical system and suggested television system with zoom lens being the parts of observation search and data-measurement system are given.

Keywords: optical channel, observation search and data-measurement system, math model, television system, zoom lens, two-channel optical system, synthesis algorithm, calculation method.

DOI: 10.21667/1995-4565-2023-86-38-44

References

1. **Koryachko V.P., Lukyanov O.V., Shibanov A.P.** Nahozhdenie skrytogo parallelizma protokolov dlja uluchsheniya harakteristik seti peredachi dannyh poligonogo izmeritel'nogo kompleksa. *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2014, no. 47, pp. 68-75. (in Russian).
2. **Egoshkin N.A., Ushenkin V.A.** Dem-assisted high resolution image coregistration for insar processing. *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2015, no. 51, pp.72-79. (in Russian).
3. **Kosarev O.V., Dementieva E.G., Katuntsov E.V., Luntovskaya Y.A., Katelevsky D.A.** Algorithm of two-dimensional images matching by countour analysis methods. *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2021, no. 75, pp. 24-33. (in Russian).
4. **Goryacheva V.A., Mazaev V.L.** Thermally stabilized lens of visible and near infrared spectrum. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. Vol. 8. Tula: publ. TSU, 2019, pp.298-303. (in Russian).
5. Pat. 2690098 RU. Near-IR spectrum lens. Int. Cl. G02B 13/14; G02B 9/12; G02B 11/16; proprietor(s): Aktsionernoe obshchestvo «Konstruktorskoe byuro priborostroeniya im. akademika A.G. Shipunova» (RU); inventor(s): **Bushmelev N.I., Goryacheva V.A.**, i.e. no. 2018135891; date of filing 11.10.2018; date of publication 30.05.2019, Bull. no. 16. (in Russian).
6. **Bezdid'ko S.N., Shirankov A.F.** Structural and size synthesis of the initial designs of optical systems. *Journal of Optical Technology*. 2019, vol. 86, no. 9, pp. 544-550.

7. **Filchakov P.F.** *Chislennye i graficheskie metody prikladnoi matematiki*. Spravochnik – Kiev: Naukova dumka, 1970, 800 p. (in Russian).
8. **Goryacheva V.A.** Calculation of zoom lens power groups in Zemax program. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. Vol.6. Tula: publ. TSU, 2020, pp.143-146. (in Russian).
9. **Kurtman S.A., Pospikhov V.G.** Metodika avtomatizirovannogo sinteza pankraticeskikh ob'ektivov v tonkikh komponentah. *Prikladnaya optika*. Sb. IX mezhdunarodnoi konfer. St. Petersburg, 2010, Vol. 1, part 1, pp. 80-84. (in Russian).
10. **Goryacheva V.A.** Zoom lens. *Priborostroenie-2022: materialy 15 Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii*, 16-18 November 2022, Minsk, Belarus/ ed.b.: O.K. Gusev [and i.e.]. Minsk: BNTU, 2022. pp. 85-87. (in Russian).