

ЗРИТЕЛЬНЫЕ ТРУБЫ ПЕРЕМЕННОГО УВЕЛИЧЕНИЯ

Николай Игоревич Колмогорцев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотоники и приборостроения, тел. (952)909-92-88, e-mail: Nikol-98@bk.ru

Татьяна Николаевна Хацевич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, профессор кафедры фотоники и приборостроения, тел. (383)343-29-29, e-mail: khatsevich@rambler.ru

Рассмотрены характеристики панкратических зрительных труб. Выявлено, что в большинстве современных моделей панкратических зрительных труб перепады по увеличениям и по полям не равны между собой. Методами компьютерного моделирования проведен синтез в параксиальном приближении оптической схемы с панкратической сменой характеристик в окулярной части. Анализ частного результата моделирования позволил выявить причину указанного неравенства.

Ключевые слова: зрительные трубы, увеличение, оптическая система, угол поля зрения, панкратическая смена увеличения

TELESCOPS WITH DIFFERENT MAGNIFICATION

Nikolay I. Kolmogorcev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (952)909-92-88, e-mail: Nikol-98@bk.ru

Tatiana N. Khatsevich

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Professor, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (383)344-29-29, e-mail: khatsevich@rambler.ru

The characteristics of pankratic telescopes are considered. It was found that in most modern models of pankratic telescopes, the ratio of the change in magnification and the ratio of the change in the angle of the field of view are not equal to each other. The synthesis of an optical system with a pacratic change of characteristics in the ocular part in the paraxial approximation was carried out using the methods of computer simulation. The analysis of a particular simulation result made it possible to identify the cause of the revealed inequality.

Keywords: telescopes, magnification, optical system, field of view, pankratic change of magnification

Введение

Основная тенденция совершенствования классических наблюдательных приборов в настоящее время связана с обеспечением в них режимов работы со сменным увеличением и возможности фото-видеорегистрации наблюдаемой сцены. Это в полной мере относится к зрительным трубам – оптическим прибо-

рам, предназначенным для наблюдения за удаленными объектами.

Три основные задачи наблюдательных оптических приборов – обнаружение, распознавание и идентификации объектов – не могут быть оптимально решены при использовании постоянного увеличения телескопической системы, лежащей в основе оптических приборов данного типа. Для наилучшего решения указанной триады задач требуется вести наблюдение при различных увеличениях и полях зрения. Это обстоятельство объясняет актуальность совершенствования оптических систем зрительных труб и появление новых моделей последних. Анализ характеристик современных зрительных труб показывает, что в них существенно возросли значения увеличений, применяется дискретная или панкратическая смена увеличений и полей зрения, оптическая ось окуляра часто размещается под углом к оптической оси объектива, в оптическую систему вводятся оптико-электронные каналы для регистрации и передачи наблюдаемого изображения и ввода дополнительной информации для наблюдателя [1].

Данное исследование посвящено созданию новых оптических систем панкратических зрительных труб. В данной статье рассматриваются различные подходы к решению поставленной задачи.

Классификация зрительных труб с переменным увеличением

Согласно [2], в зависимости от видимого увеличения различали зрительные трубы малого (до 4 крат), среднего (до 8 крат) и большого (до 22 крат) увеличений. В настоящее время диапазон «больших увеличений» существенно расширился: до 60 и более крат.

Зрительные трубы переменного увеличения делятся на две группы: зрительные трубы с дискретным изменением увеличения и панкратические зрительные трубы с плавно меняющимся увеличением.

Общая классификация зрительных труб (ЗТ) с дискретным изменением увеличения в соответствии с [3] включает:

- а) ЗТ с дискретным изменением фокусного расстояния объектива:
 - 1) ЗТ со сменными объективами;
 - 2) ЗТ с дискретным изменением за счет смены части объектива;
- б) ЗТ со сменными окулярами;
- в) ЗТ с дискретным изменением увеличения оборачивающей системы:
 - 1) ЗТ со сменными компонентами оборачивающей системы;
 - 2) ЗТ с перемещающейся вдоль оси оборачивающей системой;
 - 3) ЗТ с оборачивающей системой, поворачиваемой на 180° ;
- г) ЗТ с вращающейся системой Галилея.

В панкратических зрительных трубах выделяют:

- ЗТ с панкратическим объективом (вариообъективом);
- ЗТ с панкратической оборачивающей системой;
- ЗТ с панкратическим окуляром.

Зрительные трубы с дискретным изменением увеличения имеют существенный недостаток: во время смены увеличения наступает краткий момент, когда

наблюдатель теряет из виду предмет наблюдения. Панкратические ЗТ этого недостатка лишены. Однако в них тратится больше времени на переход от наименьшего увеличения к наибольшему. Оптические системы панкратических ЗТ по своему устройству сложнее, чем в ЗТ с дискретной сменой увеличения, т.к. они должны обеспечивать высокое качество изображения во всем диапазоне увеличений. Наличие как достоинств, так и недостатков в каждой из групп ЗТ, стимулирует разработчиков и производителей к поиску оптимального набора характеристик для создания новых конкурентноспособных изделий.

Характеристики панкратических зрительных труб

Согласно исследованию [4], отечественный рынок наблюдательных оптических приборов состоит из четырех сегментов: «Бинокли», «Зрительные трубы», «Монокуляры» и «Телескопы». Зрительные трубы составляют около 20 % от всех наблюдательных приборов. На рис. 1 представлена диаграмма доли указанных сегментов в объеме рынка наблюдательных оптических приборов в России (с указанием в процентах стоимостного объема рынка).

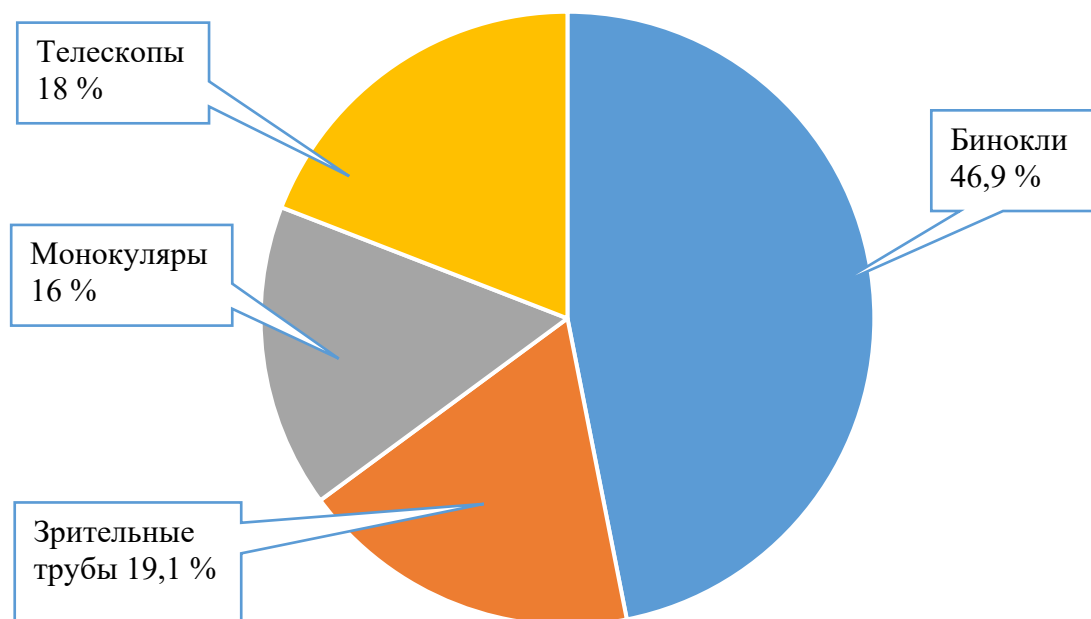


Рис. 1. Диаграмма доли сегментов рынка наблюдательных приборов

По информации, представленной на официальных сайтах отечественных предприятий «Новосибирский приборостроительный завод», «Ростовский оптико-механический завод», «Красногорский оптико-механический завод», «Загорский оптико-механический завод», «Казанский оптико-механический завод», установлено, что в группе наблюдательных оптических приборов практически

отсутствуют ЗТ с переменным увеличением, за исключением производимых предприятием «Казанский оптико-механический завод».

Для исследования характеристик панкратических ЗТ выбраны изделия следующих производителей: отечественного предприятия «Казанский оптико-механический завод» [5]; зарубежных компаний «BARSKA» [6], «Celestron» [7], «ZEISS» [8] и «LEICA» [9]. Основные характеристики ЗТ сведены в табл. 1.

Таблица 1

Зрительные трубы со сменным увеличением

Название компания	Наименование модели	Увеличение, крат	Фокусное расстояние объектива, мм	Диаметр объектива, мм	Угол поля зрения, градус	Масса, кг	Длина, мм
«Celestron»	Ultima 65 Straight	18-55	386	65	1,7-0,7	1,1	406
	Ultima 80 Straight	20-60	480	80	2,0-1,0	1,6	483
	Ultima 100 Straight	22-66	540	100	1,8-1,0	2,0	559
	Ultima 100 - 45°	22-66	540	100	1,8-1,0	2,0	483
«BARSKA»	15-45x65 mm WP NatureScape ED Glass Spotting Scope	15-45	600	65	3,7-1,2	1,4	395
	20-60x 60mm WP Blackhawk Spotting Scope Angled Green AD12706	20-60	800	60	2,1-1,0	1,5	330
	20-60x80mm WP Level Angled Spotting Scope By Barska AD12360	20-60	900	80	1,4-0,9	1,5	420
«LEICA»	LEICA APO-TELEVID 82	25-50	440	82	2,3-1,6	1,5	313
«ZEISS»	ZEISS Victory Harpia 95	23-70	523	95	3,4-1,2	2,1	408
	ZEISS Victory Harpia 85	22-65	486	85	3,6-1,2	1,9	384
	ZEISS Conquest Gavia 85	30-60	494	85	1,9-1,3	1,7	396
«Казанский оптико-механический завод»	ЗТ 8-24x40	8-24	–	40	5,0-1,7	0,6	440
	ЗТ 15-60x66	15-60	–	66	3,2-0,5	1,2	475
	ЗРТ-457М	30/60	–	70	1,2-0,5	1,2	415

Все модели, приведенные в табл. 1, за исключением последней, являются панкратическими. В ЗРТ-457М реализована дискретная смена в окулярной части ЗТ. Угловое поле в модели ЗТ 15-60x66 при увеличении 60 крат из-за отсутствия

информации на официальном сайте указано по сайтам магазинов и может быть не точным.

Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что в большинстве моделей ЗТ с панкратической сменой увеличения:

- среднее значение перепада увеличений составляет 3 крата;
- среднее значение перепада угловых полей составляет 2,2 крата;
- наибольшее увеличение составляет от 45 до 70 крат;
- длина приборов может достигать 500 мм и более;
- диаметр объективов ограничивается 100 мм;
- масса приборов достигает до 2,1 кг.

Исследование, результаты и обсуждение

Обращает внимание тот факт, что в ЗТ (см. табл. 1) реализован значительно меньший перепад увеличений по сравнению, например, с панкратическими оптическими прицелами. В последних он достигает до 10 крат и более. По нашему мнению, причина кроется в том, что в оптических системах ЗТ чаще всего для оборачивания изображения применяются призмённые системы, а смена увеличения осуществляется панкратическим изменением в окулярной части. Выдвигается предположение, что панкратическая окулярная часть представляет собой систему с положительным передним фокальным отрезком, т. е. в нее включаются компоненты, расположенные по ходу лучей как перед полевой диафрагмой, так и после неё. Для обоснования выдвинутого предположения проведен структурный синтез оптической схемы ЗТ методом компьютерного моделирования в параксиальном приближении с использованием пакета программ «ZEMAX» [10].

Моделирование проведено для панкратической телескопической системы с диапазоном угловых увеличений от 20 до 60 крат. В качестве объектива применен двухкомпонентный, построенный по принципу телеобъектива, отрицательный компонент которого используется для внутренней фокусировки на конечное расстояние до объектов. Призмённая система исключена из рассмотрения. В окулярной части предусмотрено четыре компонента, первый и последний из которых сохраняют неизменное положение, а второй и третий перемещаются вдоль оптической оси для изменения фокусного расстояния окулярной части и, соответственно, углового увеличения телескопической системы. Моделирование выполнено в мультikonфигурационном режиме для увеличений 60, 50, 40, 30, 25, 20 крат. В оптимизационную модель для каждой из конфигураций включались дополнительные ограничения на положения выходного зрачка, общую длину системы, осевые расстояния между подвижными компонентами окуляра. Использование оптимизации позволило найти такие решения, в которых для заданного диапазона угловых увеличений определены оптические силы компонентов и характер подвижек внутренних компонентов окулярной части, при которых как общая длина схемы, так и положение выходных зрачков для всех конфигураций остаются неизменными. Пример одного из решений представлен на рис. 2. В нем

объектив имеет фокусное расстояние 570 мм, фокусное расстояние окулярной части меняется от 28,5 до 9,5 мм, удаление выходного зрачка 23 мм. Характер перемещений компонентов приведен на рис. 2, б).

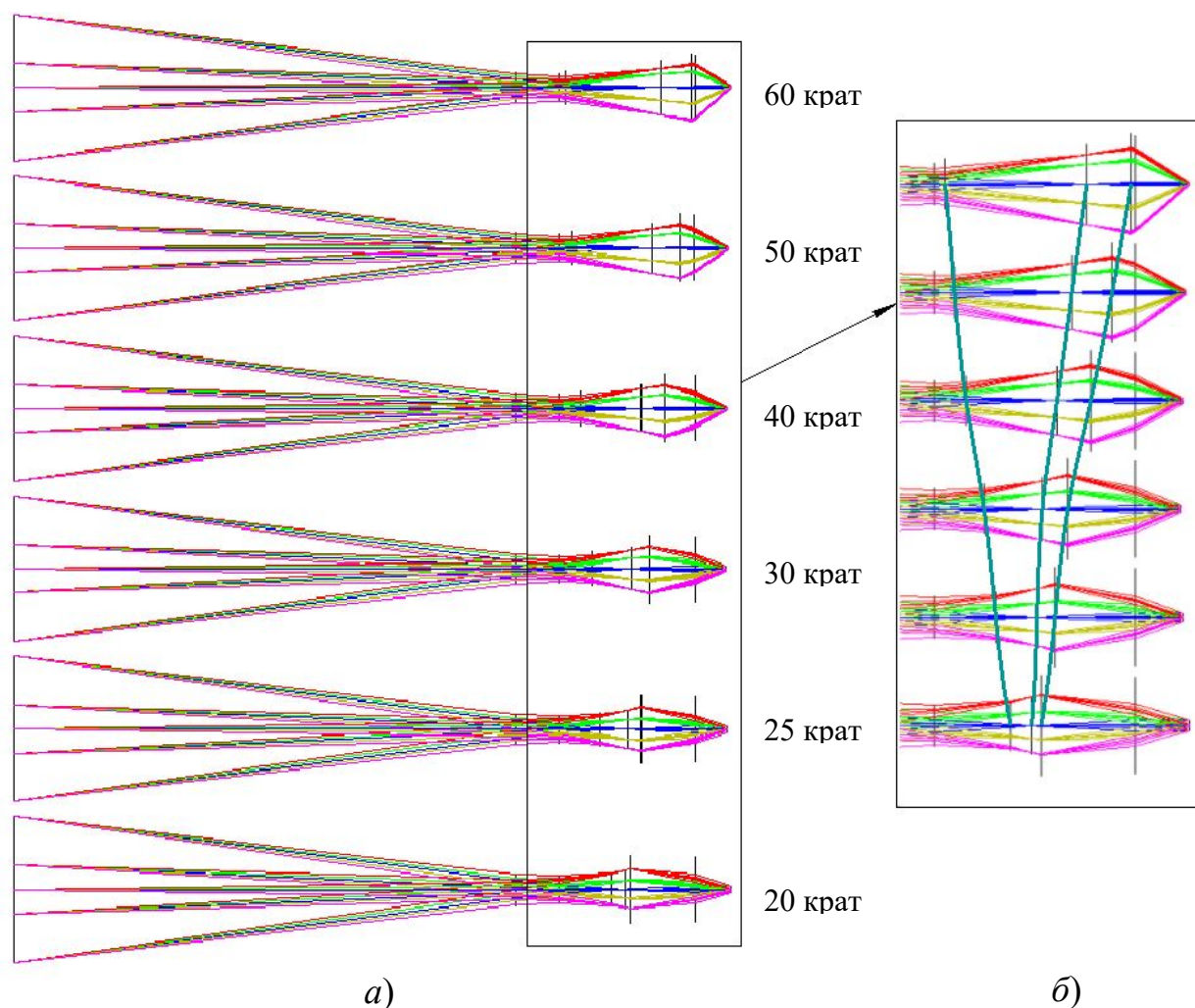


Рис. 2. Оптическая схема: а) общий вид; б) окулярная часть

В полученной схеме при смене увеличения происходит смещение вдоль оптической оси в плоскости промежуточного изображения и, соответственно, полевой диафрагмы. Если принять диаметр полевой диафрагмы постоянной для всех конфигураций, то можно определить угловое поле ЗТ в пространстве предметов. В табл. 2 для рассматриваемой схемы приведены значения угловых полей для различных увеличений.

Таблица 2

Угловое поле при различных увеличениях

Увеличение, крат	60	50	40	30	25	20
Поле зрения, градус	0,56	0,60	0,66	0,74	0,80	0,88

Анализ результатов, приведенных в табл. 2, показывает, что в рассматриваемой схеме при перепаде увеличений в 3 крата, перепад угловых полей составит примерно 1,6.

Результаты компьютерного моделирования телескопической схемы с панкратическим изменением фокусного расстояния в окулярной части объясняют причину того, что во многих моделях, перепад по полям меньше, чем перепад по увеличениям: перепад фокусных расстояний оптической системы, расположенной по ходу лучей до полевой диафрагмы, меньше, чем перепад увеличений зрительной трубы. Повышение перепада увеличений по полям требует регулировки диаметра полевой диафрагмы в ходе панкратической смены увеличений.

Заключение

В заключении отмечаются следующие результаты:

- разработка зрительных труб с панкратической сменой увеличения соответствует тенденциям развития этой группы приборов;
- дальнейшее направление исследования ориентированно на поиск наилучшего варианта структурного синтеза, который будет использоваться для создания панкратической зрительной трубы с конкурентными характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хацевич Т. Н., Колмогорцев Н. И. Зрительная труба большого увеличения в военной оптике // Калашниковские чтения : Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции – Ижевск, 2020. – С. 138-141.
2. Вавилов, С. И., Савостьянова М. В. Оптика в военном деле. – М. : Издательство академии наук СССР, 1948. – 391 с.
3. Пахомов И. И. Панкратические системы. – М. : «Машиностроение», 1976. – 160 с.
4. Анализ рынка наблюдательных оптических приборов в России [Электронный ресурс]. URL: <https://drgroup.ru/Analiz-rynka-priborov-opticheskikh-v-Rossii.html> (дата обращения: 05.04.2021).
5. АО «КОМЗ» [Электронный ресурс]. URL: <https://komz-shop.ru/> (дата обращения: 05.04.2021).
6. Celestron Ultima [Электронный ресурс]. URL: <http://celestron.ru/products/ultima-spotting-scopes/> (дата обращения: 05.04.2021).
7. LEICA зрительные трубы [Электронный ресурс]. URL: <https://store.leica-camera.com/ru/ru/zritelnye-truby/> (дата обращения: 05.04.2021).
8. Precision spotting scopes by barska [Электронный ресурс]. URL: <https://www.barska.com/optics-spotting-scopes/> (дата обращения: 05.04.2021).
9. ZEISS [Электронный ресурс]. URL: <https://www.zeiss.ru/consumer-products/nature-observation.html/> (дата обращения: 05.04.2021).
10. ZEMAX [Электронный ресурс] URL: <https://www.zemax.com/> (дата обращения: 05.04.2021).

© Н. И. Колмогорцев, Т. Н. Хацевич, 2021