

*Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования*



**«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный технический университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

**Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»
Кафедра «Лазерные и оптико-электронные системы»**

Домашнее задание

по курсу:

«Автоматизированное проектирование оптических систем»

Преподаватель _____ Тимашова Л.Н.

Студент гр. РЛ2-62Б _____ Иванченко А.М.

Москва, 2022

Задание: синтезировать оптическую систему с характеристиками:

Угловое поле, $2W$	Относительное отверстие, A	Диагональ МПИ, d_M	Размер элемента, a_3
1°	1:5	6 мм	5 мкм

Габаритный расчёт

Чтобы синтезировать систему с таким угловым полем, воспользуемся телеобъективом на базе телескопической системы Галилея (ТСГ) и фокусирующего объектива (ФО).

Фокусирующий объектив – светосильный объектив М.М.Русинова.

Телескопическая система преобразует малое входное угловое поле в умеренное угловое поле ФО.

В результате синтеза длина объектива должна быть меньше его фокусного расстояния.

Исходная оптическая система объектива «Телеобъектив»

1.1 Условия работы

Из $-\infty$ в F' ;

Угловое поле $2W = 2^\circ$;

Параметры МПИ

Размеры $a_M \times b_M = 3,6 \times 4,8 \text{ мм}^2$;

Диагональ $d_M = 6 \text{ мм}$;

Размер элемента $a_3 = 5 \text{ мкм}$;

Оптическая частота элементов $\nu_M = \frac{1}{2a_3} = 100 \text{ мм}^{-1}$;

Параметры объектива «Телеобъектив»

Угловое поле $2W = 1^\circ = 0,0174533$

Фокусное расстояние $f' = \frac{d_M}{2W} = 343,7 \text{ мм}$

Из условия $A = 1:5$

Разрешающая способность в плоскости изображения $\nu' = 100 \text{ мм}^{-1}$;

Коэффициент передачи модуляции $m(\nu' = 100) \geq 0,5$.

1.2 Конструкция телеобъектива ТО = ТСГ+ФО

Фокусирующий (светосильный) объектив (ФО) содержит:

2-хлинзовый склеенный объектив;

2-х линзовый склеенный толстый мениск;

Линзу Смита;

входной зрачок на первой поверхности

$$\text{ФО} = \text{СКЛ} + \text{ТМ} + \text{ЛС}.$$

Телескопическая система Галилея

Содержит 1-й компонент с положительной оптической силой и 2-й компонент с положительной оптической силой.

ТСГ выполняет 2 функции –

преобразует малое угловое поле $2W = 1^\circ$ в умеренное угловое поле фокусирующего объектива;

Корректирует aberrации фокусирующего объектива.

2 Синтез ФО

Примем угловое поле ФО равным $2W_{\text{ФО}} = 10^\circ$

2.1 Параметры ФО

Угловое поле $2W_{\text{ФО}} = 10^\circ = \frac{\pi}{18} \approx \frac{1}{6} \text{ рад.};$

Фокусное расстояние $f'_{\text{ФО}} = \frac{d_M}{2W} = 36 \text{ мм};$

Относительное отверстие $A_{\text{ФО}} > 2\lambda_{\text{МАКС}} \cdot \nu_M = 0,13 = 1:7;$

Примем $A_{\text{ФО}} = 1:4;$

Диаметр входного зрачка ФО:

$$D_{\text{ФО}} = f'_{\text{ФО}} \cdot A_{\text{ФО}} = 9 \text{ мм}$$

Разрешающая способность в плоскости изображения

$$\nu'_{\phi O} = \nu_M = 100 \text{ мм}^{-1};$$

Коэффициент передачи модуляции $m(\nu'_{\phi O} = 100) \geq 0,5$;

Задний фокальный отрезок $S'_{\phi O} = 1 \text{ мм}$.

Синтез системы в программе ZEMAX

В качестве фокусирующего объектива используем объектив, синтезированный в Лаб. 2.

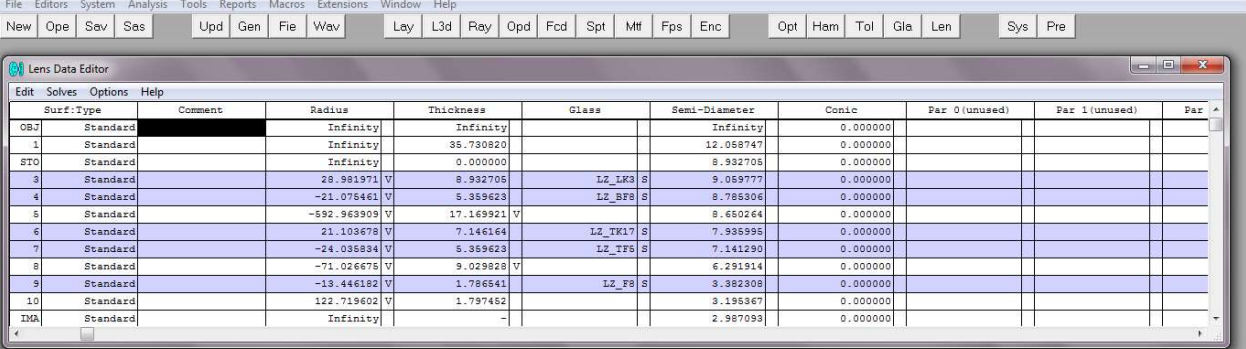
Параметры объектива Лаб. 2 (СКЛ+ТМ+ЛС)

$$\Delta\lambda = 0,48 - 0,65 \text{ мкм};$$

$$f'_{\phi O} = 19 \text{ мм};$$

$$2W_{\phi O} = 10^\circ;$$

$$A_{\phi O} = 1:2.$$

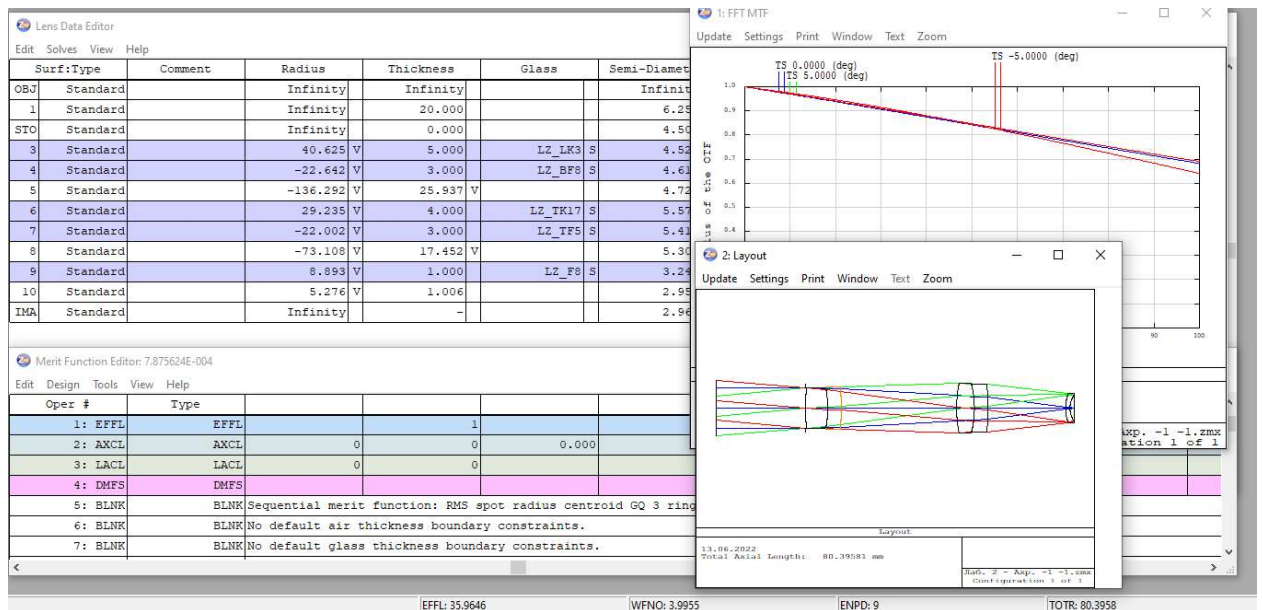


Surf.	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic	Par 0 (unused)	Par 1 (unused)	Par 2 (unused)
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity	0.000000			
1	Standard		Infinity	35.730820		12.058747	0.000000			
STO	Standard		Infinity	0.000000		8.932705	0.000000			
3	Standard		28.991971	V	8.932705	L2_LK3 S	9.059777	0.000000		
4	Standard		-21.075461	V	5.359623	L2_BF8 S	8.785306	0.000000		
5	Standard		-592.963909	V	17.169921	V	8.650264	0.000000		
6	Standard		21.103678	V	7.146164	L2_TK17 S	7.935595	0.000000		
7	Standard		-24.035834	V	5.359623	L2_TF6 S	7.141290	0.000000		
8	Standard		-71.026675	V	9.029828	V	6.291914	0.000000		
9	Standard		-13.446182	V	1.786541	L2_F8 S	3.382308	0.000000		
10	Standard		122.719602	V	1.797452		3.195367	0.000000		
IMA	Standard		Infinity	-		2.987093	0.000000			

EFFL: 33.9793 WFNO: 1.89834 ENPD: 17.8654 TOTR: 92.3127

Преоптимизируем ΦO для условий работы в телеобъективе

$$f'_{\phi O} = 36 \text{ мм}, 2W_{\phi O} = 10^\circ \text{ и } A_{\phi O} = 1:4.$$



МПФ для $f'_{\Phi 0} = 36\text{мм}$, $2W_{\Phi 0} = 10^\circ$ и $A_{\Phi 0} = 1:4$.

Синтез телескопической системы Галилея (ТСГ)

1-й компонент ТСГ положительный, обращен к пространству объектов.

2-й отрицательный компонент расположен в непосредственной близости к фокусирующему объективу.

Параметры ТСГ

Входное угловое поле $2W = 1^\circ$

Выходное угловое поле $2W' = 2W_{\Phi 0} = 10^\circ$;

Угловое увеличение $\Gamma = \frac{2W'}{2W} = 10^x$;

Положение входного и выходного зрачков

Выходной зрачок совпадает с входным зрачком ФО.

Входной зрачок расположен перед ТСГ.

Диаметр выходного зрачка $D' = D_{\Phi 0} = 9\text{мм}$;

Относительное отверстие 1 и 2 компонентов равны $A_1 = A_2$;

Примем $A_1 = A_2 \ll 1$, $A_1 = A_2 = 1:5$.

2-й компонент – отрицательная плосковогнутая линза, обращенная вогнутой поверхностью к ФО с радиусом r_2 .

Параметры отрицательной плосковогнутой линзы (2-й компонент)

Фокусное расстояние $f'_2 = \frac{D_{\Phi 0}}{A_1} = -45 \text{ мм};$

Показатель преломления $n_2 = 1,75;$

Число Аббе $\mu_2 = 28;$ Стекло ТФ5;

$r_2 = f'_2(n_2 - 1) = 34 \text{ мм};$

Толщина $d_2 = 3 \text{ мм};$

Параметры положительной плосковыпуклой линзы (1-й компонент)

Линза обращена выпуклой поверхностью к пространству объектов.

Фокусное расстояние $f_1 = -f'_2 * \Gamma = 450 \text{ мм};$

Показатель преломления $n_1 = 1,75;$

Число Аббе $\mu_2 = 50;$ Стекло СТК19;

$r_1 = r_2 * \Gamma = 340 \text{ мм};$

Толщина $d_1 = 10 \text{ мм};$

Расстояние между компонентами (приближенная формула)

$d_{12} = f'_2 + f'_1 = 405 \text{ мм};$

Вводим перед ФО 6 строчек для задания параметров ТСГ (перед STO).

В «GENERAL» вводим диаметр входного зрачка

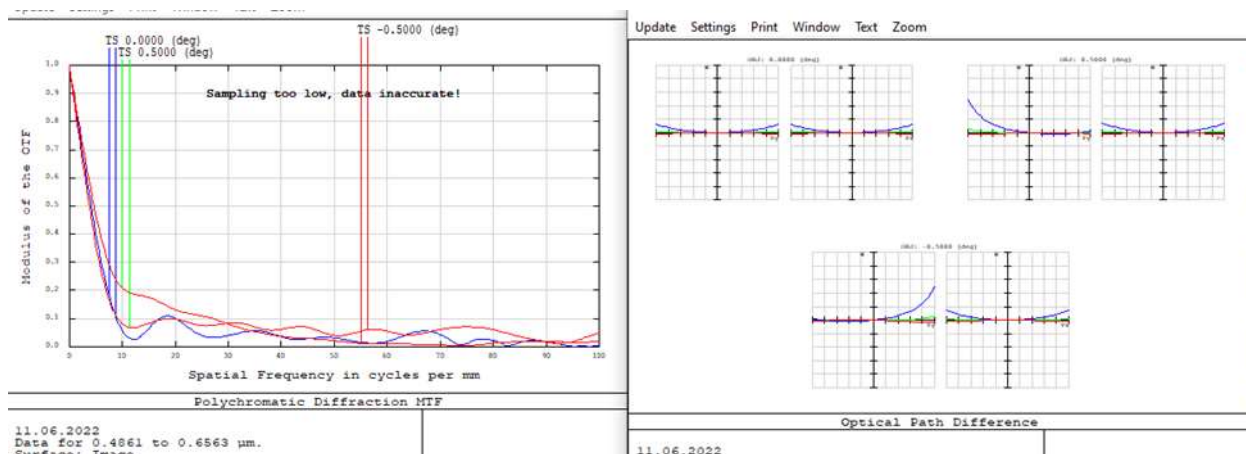
Диаметр входного зрачка $D = D' * \Gamma = D_{\Phi 0} * \Gamma = 90 \text{ мм}.$

Корректировка расстояния между компонентами d_{12}

Расстояние до плоскости изображения ФО $S'_{\Phi 0} = 1 \text{ мм}$ обеспечивается при

$d_{12} = 404,45 \text{ мм},$ фокусное расстояние $f' = 365,013 \text{ мм}$

3 2-линзовая ТСГ+ФО

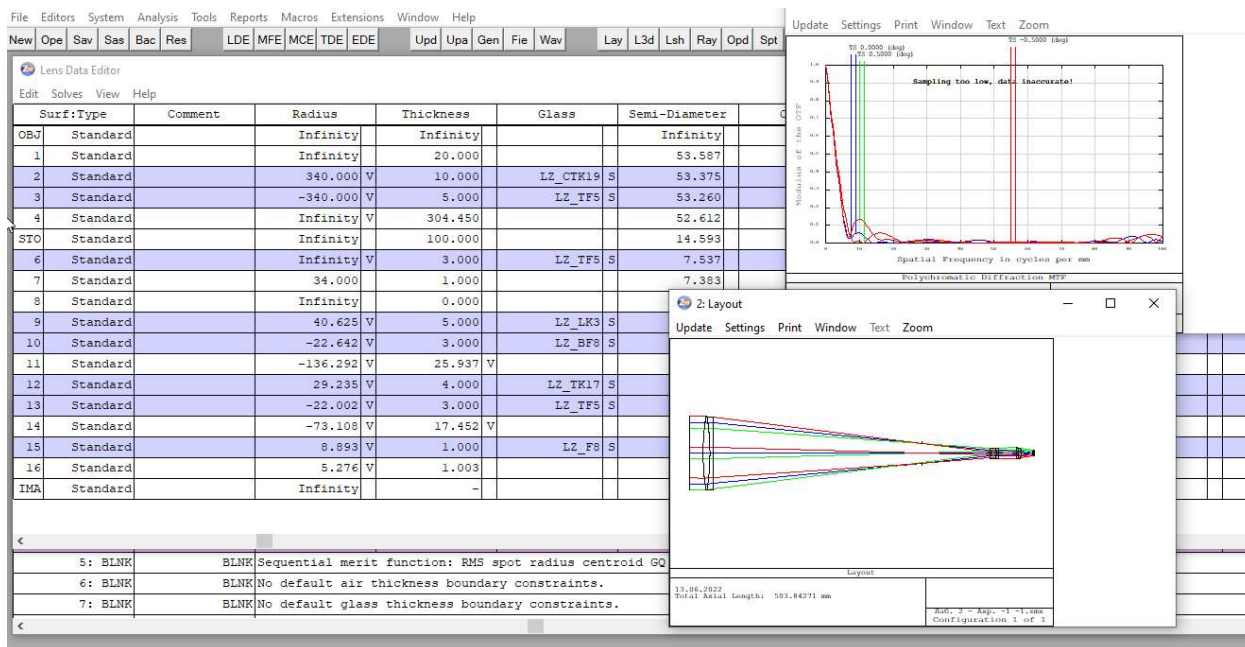


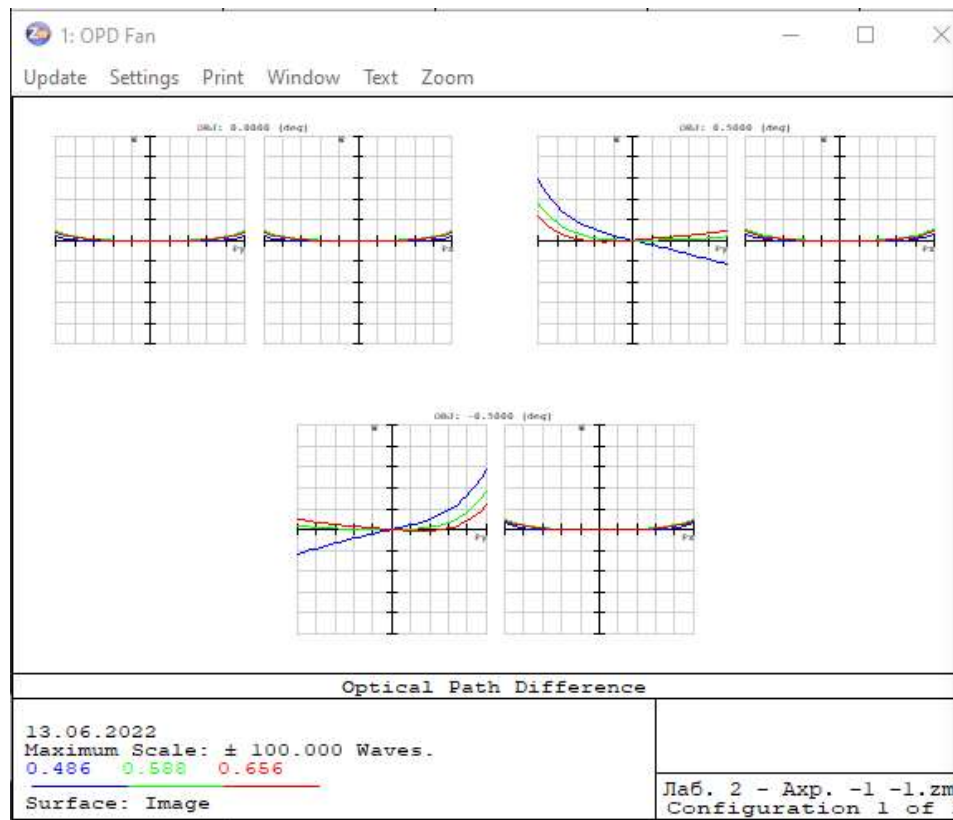
МПФ ТО с 2-хлинзовой ТСГ со смещенным зрачком

Качество остается плохим, в основном из-за сферической aberrации и хроматизма положения.

Для уменьшения этих aberrаций заменить выпуклоплоскую первую линзу на двухлинзовую склейку.

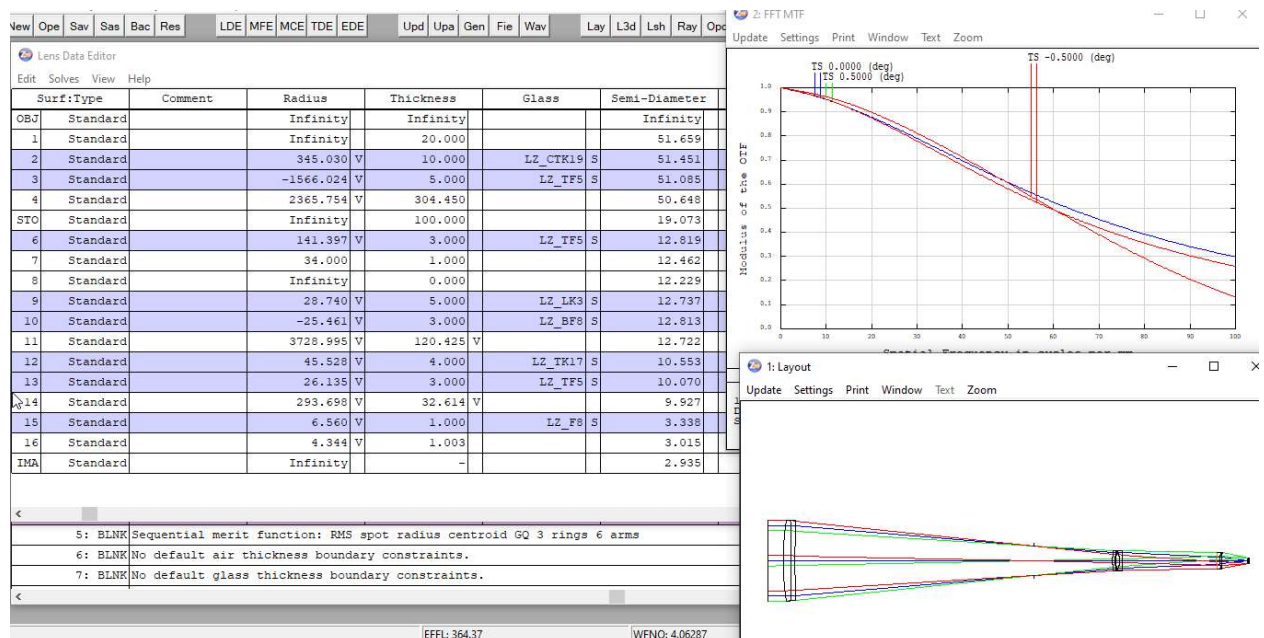
5 ТСГ (со склейкой) +ФО

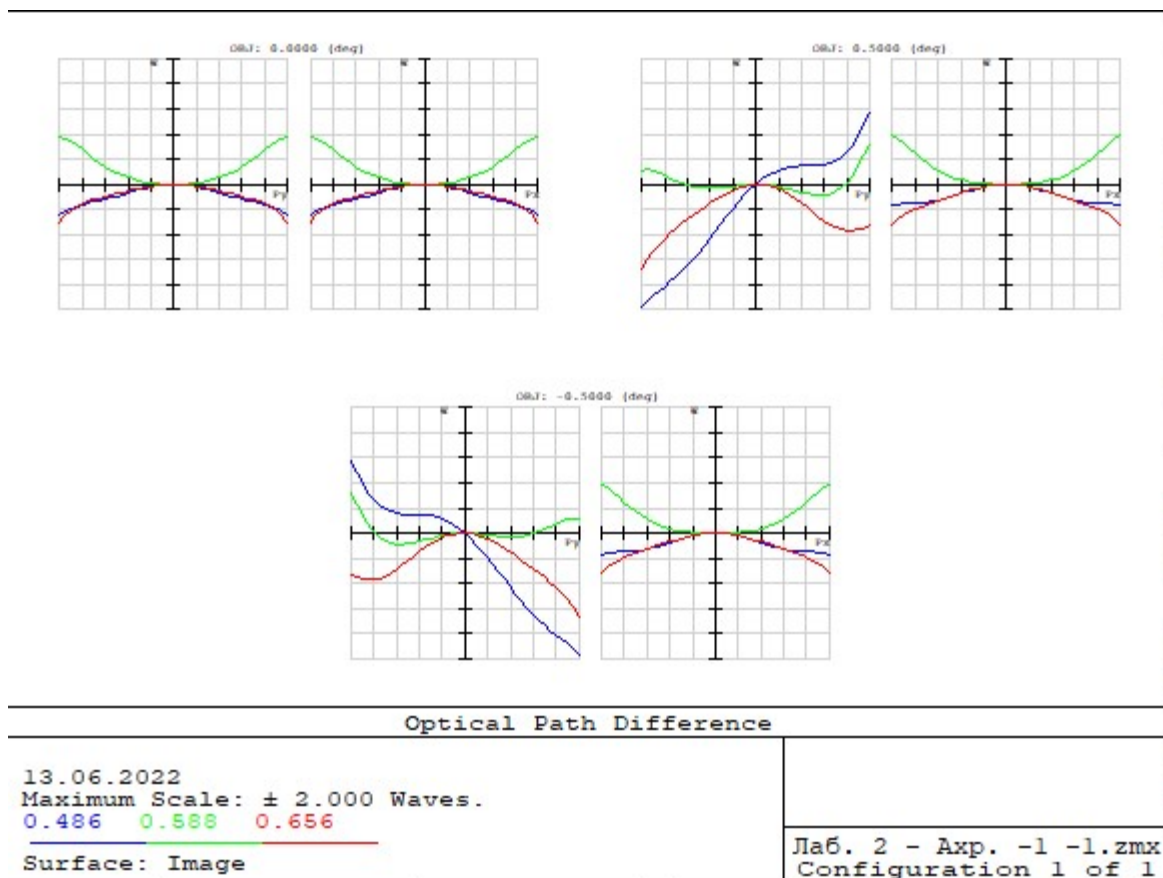




Исходные волновые aberrации

Результаты оптимизации





Качество неудовлетворительное.

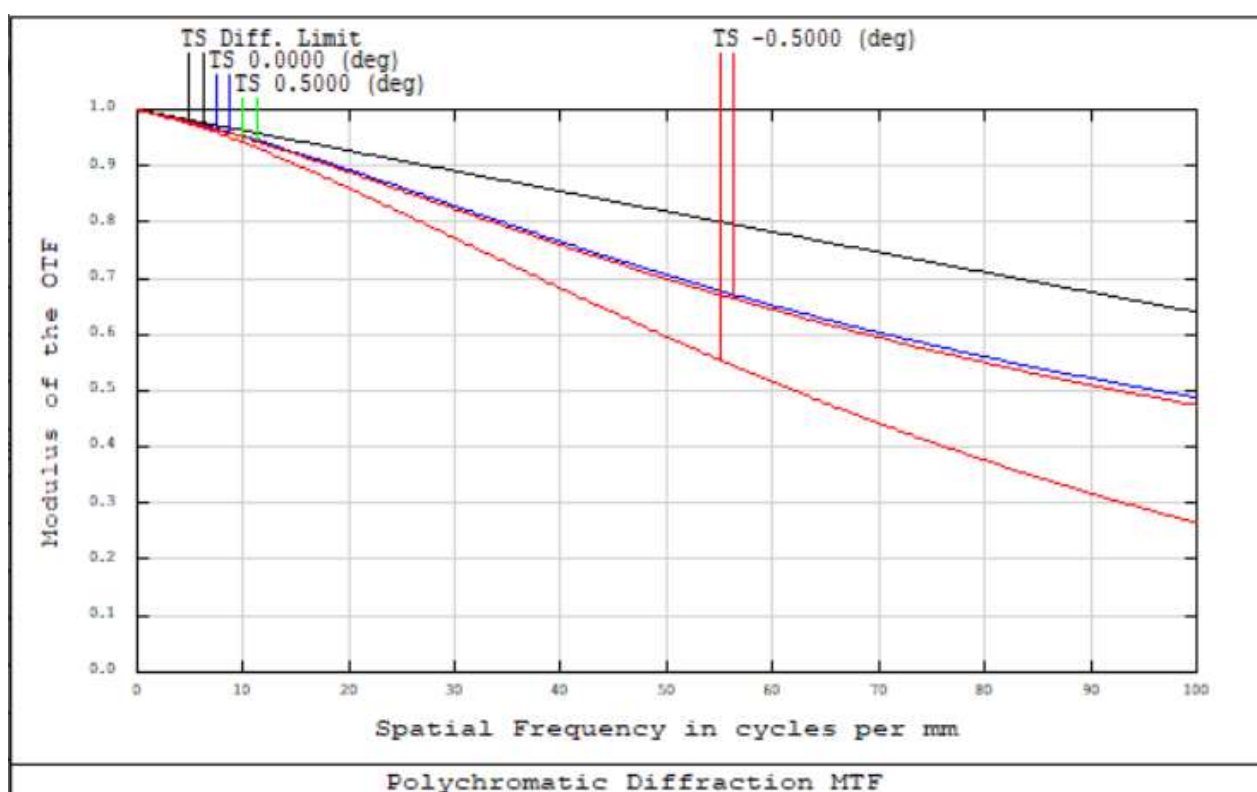
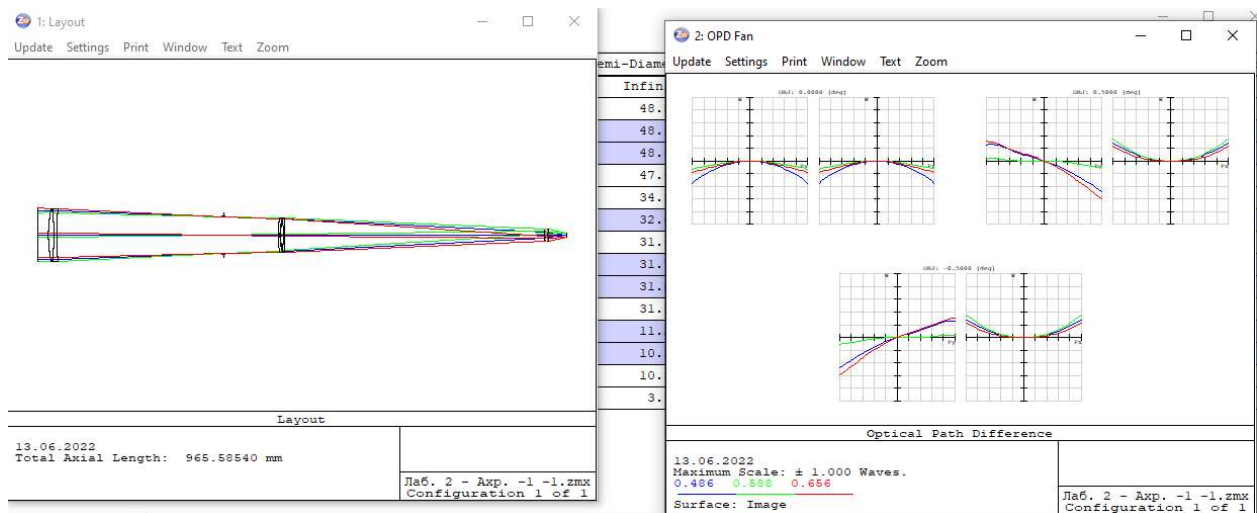
7 ТСГ (со склейкой) +ФО (без линзы Смита)

Длина системы – 611 мм.

Оптимизация, Hammer-оптимизация.

Результаты оптимизации

Lens Data Editor						
Edit Solves View Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	S
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		
1	Standard		Infinity	20.000		
2	Standard		225.511 V	10.000	LZ_BF21	S
3	Standard		-432.256 V	5.000	LZ_CTK19	S
4	Standard		424.393 V	304.450		
STO	Standard		Infinity	100.000		
6	Standard		222.417 V	3.000	LZ_TF5	S
7	Standard		109.110 V	1.000		
8	Standard		108.115 V	5.000	LZ_BF1	S
9	Standard		-372.022 V	3.000	LZ_TF1	S
10	Standard		1955.027 V	472.834 V		
11	Standard		34.219 V	4.000	LZ_TK21	S
12	Standard		19.451 V	3.000	LZ_BF11	S
13	Standard		168.312 V	34.301		
IMA	Standard		Infinity	-		

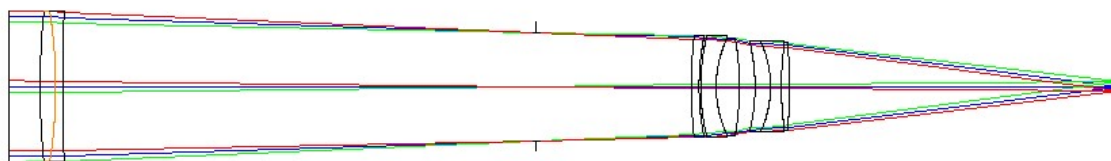


$$f' = 36\text{мм}, 2W = 10^\circ; A_{\phi 0} = 1:4 \quad A = 1:4; d_{\Sigma} = 965\text{ мм}$$

КПМ на частоте матрицы $m(\vartheta_M = 100\text{ мм}^{-1}) > 0.2$

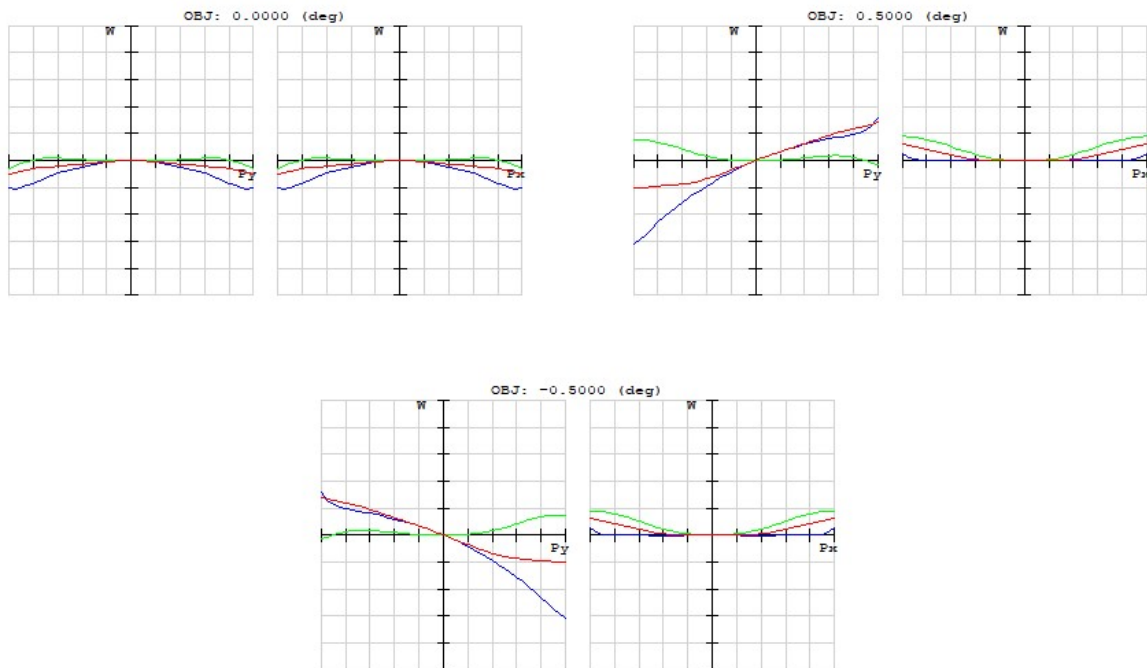
Добавим склейку на последнюю поверхность для исправления аберраций

Результаты оптимизации

[illegible]

14.06.2022
Total Axial Length: 715.37390 mm

супер оптимизация.zmx
Configuration 1 of 1

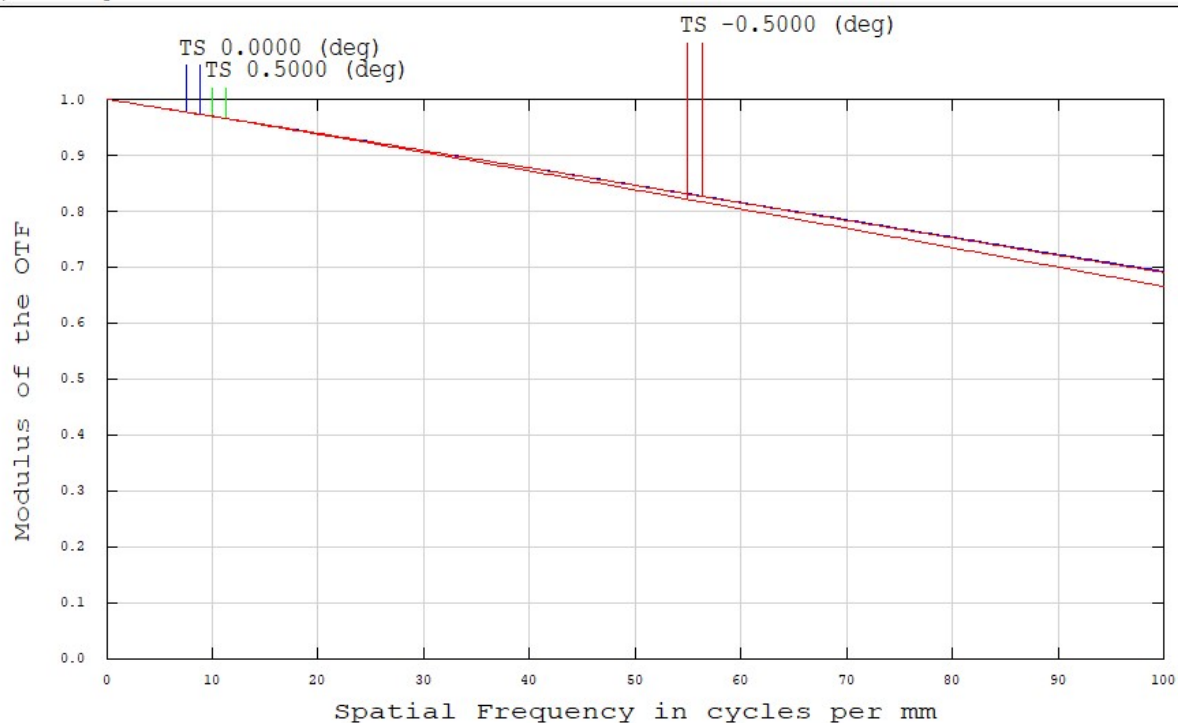


Optical Path Difference

14.06.2022
Maximum Scale: ± 0.500 Waves.
0.486 0.588 0.656

Surface: Image

супер оптимизация.zmx
Configuration 1 of 1



Polychromatic Diffraction MTF

14.06.2022
Data for 0.4861 to 0.6563 μm .
Surface: Image

супер оптимизация.zmx
Configuration 1 of 1

Полученная система близка к дифракционной, КПМ на частоте матрицы $m(\nu_M = 100 \text{ мм}^{-1}) > 0,5$. Но длина системы (от первой поверхности до плоскости изображения $d_\Sigma = 965 \text{ мм} > f'$

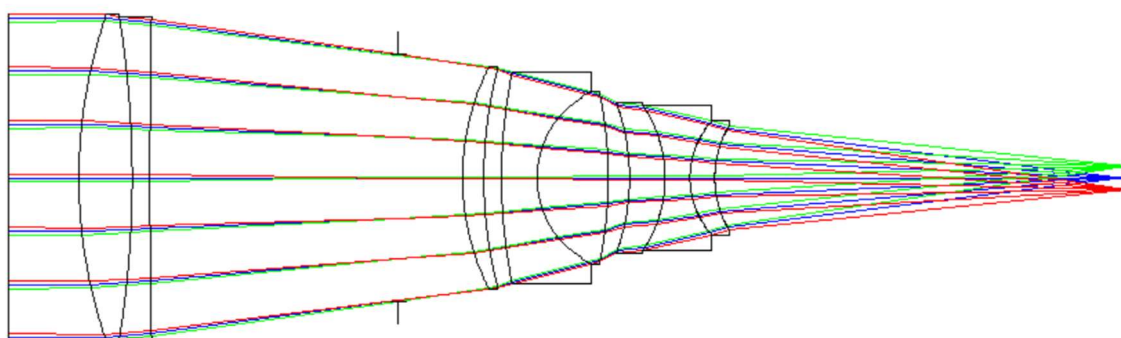
8 Уменьшение длины оптической системы

Самый большой воздушный промежуток – между компонентами ТСГ. Последовательно уменьшаем расстояние между компонентами на несколько мм и после каждого изменения проводим оптимизацию.

При уменьшении длины системы в процессе оптимизации осуществляется взаимная компенсация aberrаций компонентов системы. Однако при длине 315 мм качество снижается. Коррекционные возможности исчерпаны.

Длина системы 315 мм.

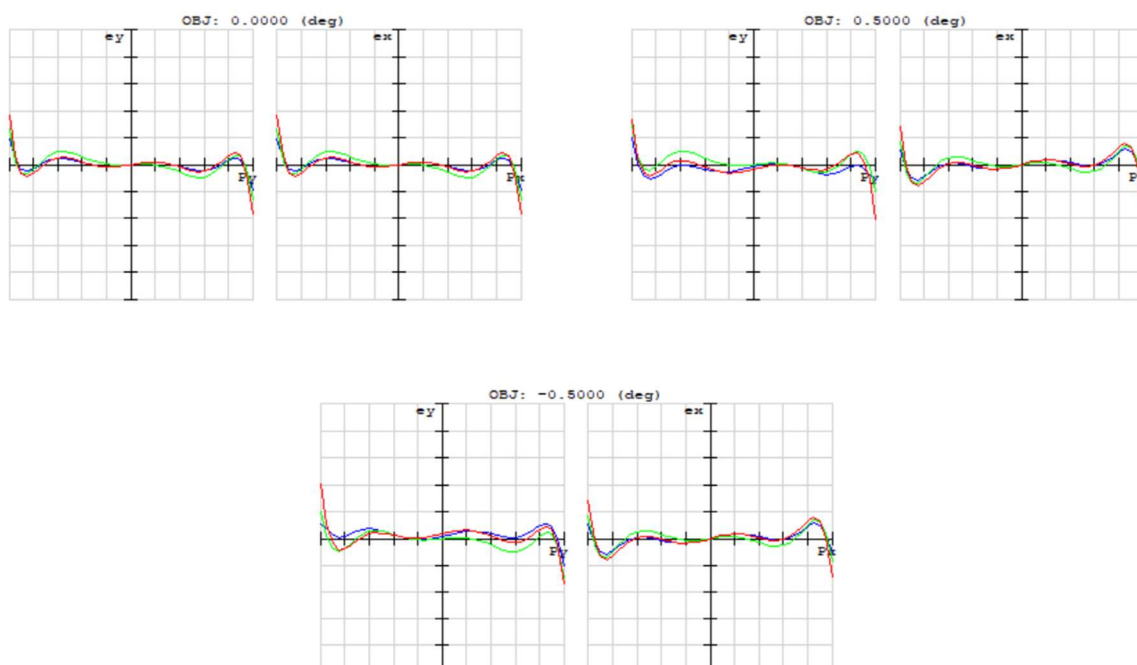
Surf>Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic	Par 0 (unused)	Par 1 (unused)	Par 2 (unused)
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		Infinity	0.000			
1	Standard	Infinity	20.000		46.138	0.000			
2	Standard	138.637 V	15.000	LZ_LK3 S	45.895	0.000			
3	Standard	-289.122 V	5.000	LZ_F4 S	45.469	0.000			
4	Standard	2342.959 V	70.000		44.611	0.000			
STO	Standard	Infinity	18.000		34.652	0.000			
6	Standard	69.084 V	6.000	LZ_BF16 S	31.495	0.000			
7	Standard	124.785 V	5.000		30.878	0.000			
8	Standard	150.810 V	10.000	LZ_F8 S	29.734	0.000			
9	Standard	26.724 V	20.000	LZ_TK23 S	24.158	0.000			
10	Standard	-120.660 V	6.000		23.634	0.000			
11	Standard	-62.187 V	10.000	LZ_TF3 S	21.110	0.000			
12	Standard	-36.245 V	7.000	LZ_R100 S	20.317	0.000			
13	Standard	23.831 V	7.000	LZ_TF4 S	16.037	0.000			
14	Standard	29.006 V	116.000		14.616	0.000			
IMA	Standard	Infinity	-		3.203	0.000			



Layout

15.06.2022
Total Axial Length: 315.00000 mm

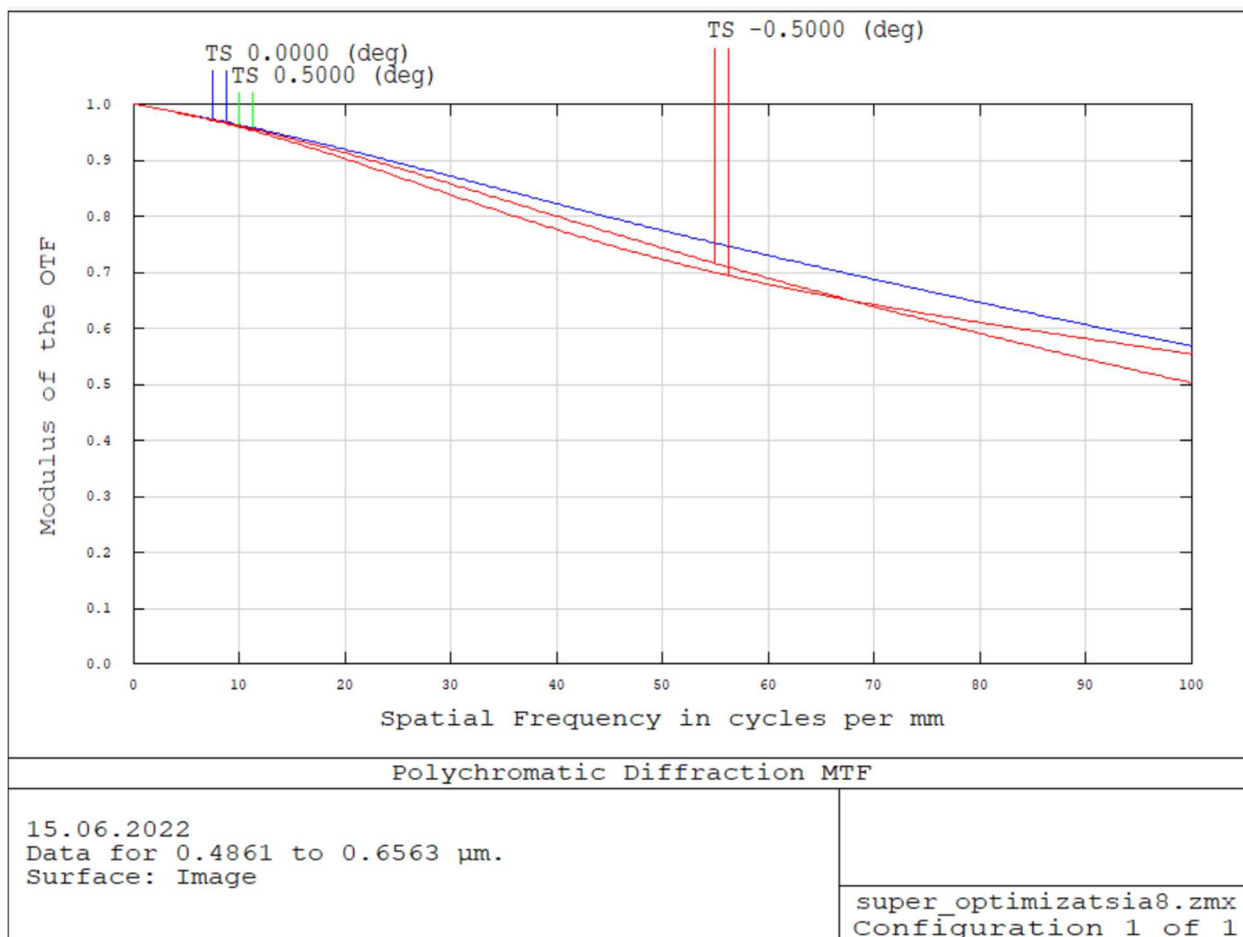
super_optimizatsia8.zmx
Configuration 1 of 1



Transverse Ray Fan Plot

15.06.2022
Maximum Scale: $\pm 50.000 \mu\text{m}$.
0.486 0.588 0.656
Surface: Image

super_optimizatsia8.zmx
Configuration 1 of 1



Параметры синтезированного телеобъектива

Угловое поле $2W=1^\circ$

Фокусное расстояние $f'=365$ мм

Относительное отверстие $A=1:5$

Коэффициент передачи модуляции $m(100\text{мм}^{-1})=0.5$

Диаметр изображения $2y'=6$ мм

Количество линз – 8

Длина $d_\Sigma = 347$ мм $< f'$