



Оптические схемы светосильных телескопов апертурой 19-см – 80-см, разработанные в проекте НСОИ АФН. Обсерватории высокой заводской готовности, пути модернизации устаревших телескопов.

**Юдин А.Н.** *ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,*

**Кардашенко М.З.,** ЗАО «НПП «Проект-Техника»



**Совещание «МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И МОНИТОРИНГА  
ОПАСНЫХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ И КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА»  
22-23 ИЮНЯ 2011 г., Москва, ИНАСАН.**

# Содержание:

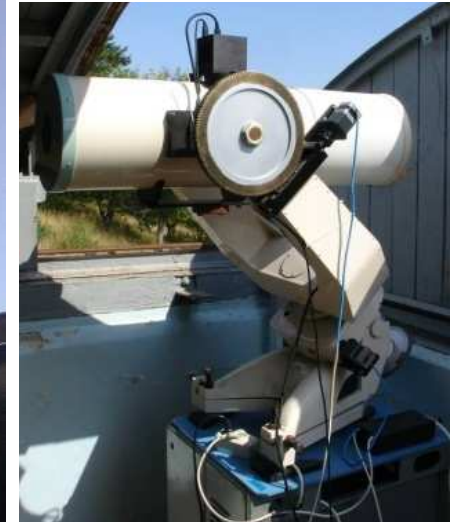
- 1. Инструменты, производимые в настоящее время.**
- 2. Обсерватории высокой заводской готовности.**
- 3. Перспективные разработки новых инструментов.**
- 4. Способы модернизации устаревших инструментов.**

# **1. Серия телескопов с большим полем зрения и монтировки, разработанные в рамках проекта НСОИ АФН**

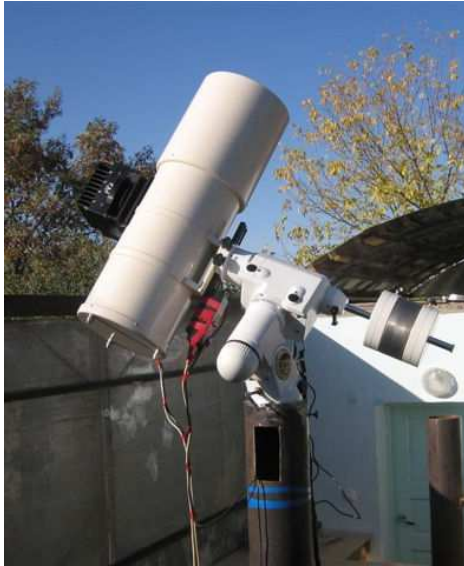
- **НСОИ АФН – открытый международный неправительственный проект, разработанный как независимый источник данных о космических объектах для научного анализа и космической ситуационной осведомлённости.**
- **НСОИ АФН – решение сложных задач мониторинга высокоорбитальных объектов, высокой ценовой эффективности – около 6 млн. измерений по 3300 накоплено в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.**
- **Изготовлен 41 телескоп 6 типов (4x12.5 см, 9x19.2 см, 11x22 см, 12x25 см, 6x40 см, 1x50 см); 28 телескопов 5 типов – в производстве (14x19.2 см, 3x25 см, 3x40 см, 3x50 см, 4x65 см) и 2 новых типа телескопов в разработке (80 см и 1.6 м)**
- **5 типов монтировок разработаны и производятся**



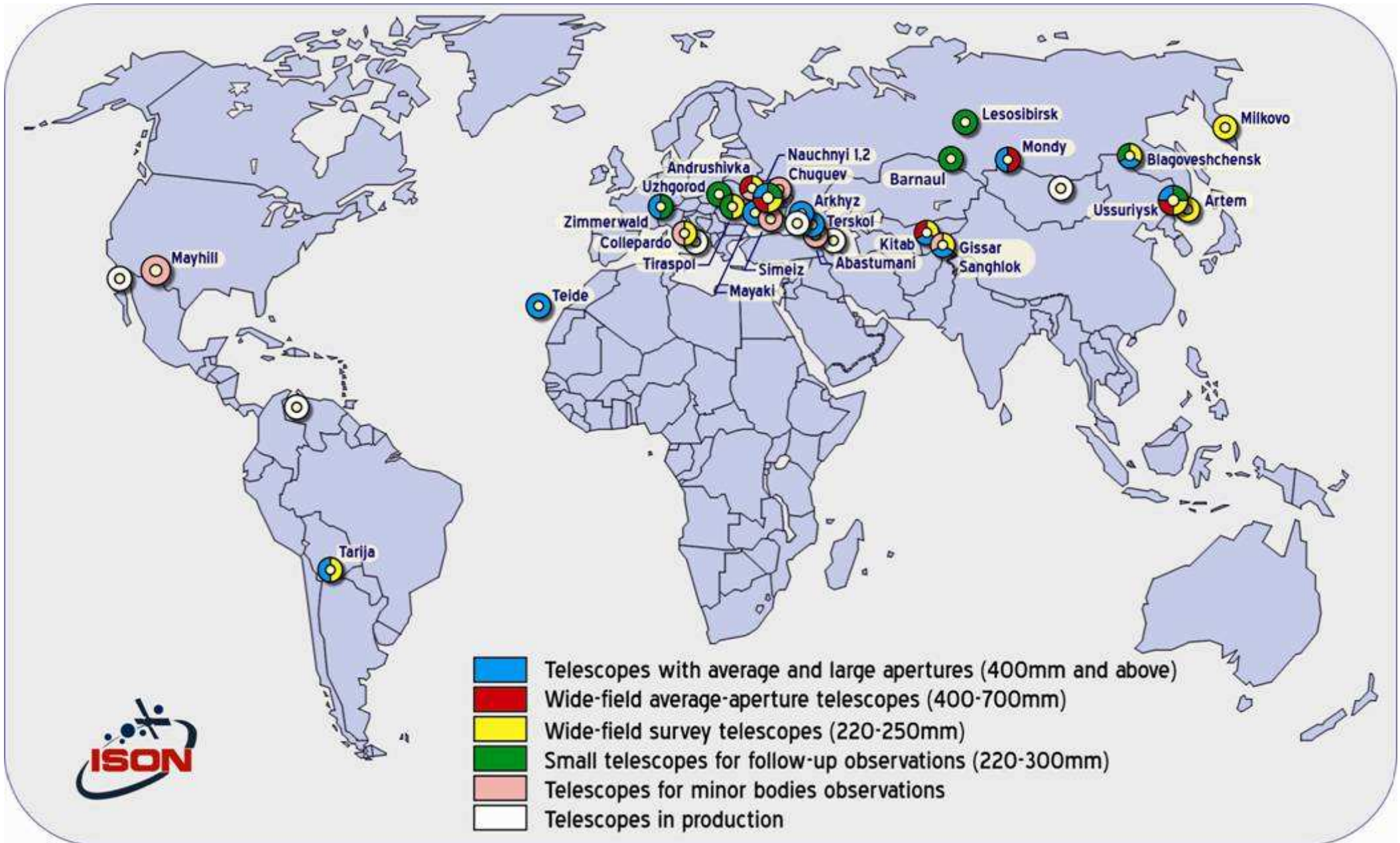
# Телескопы с апертурами от 12.5 см до 50 см с полями зрения от 2.3 до 15 градусов.



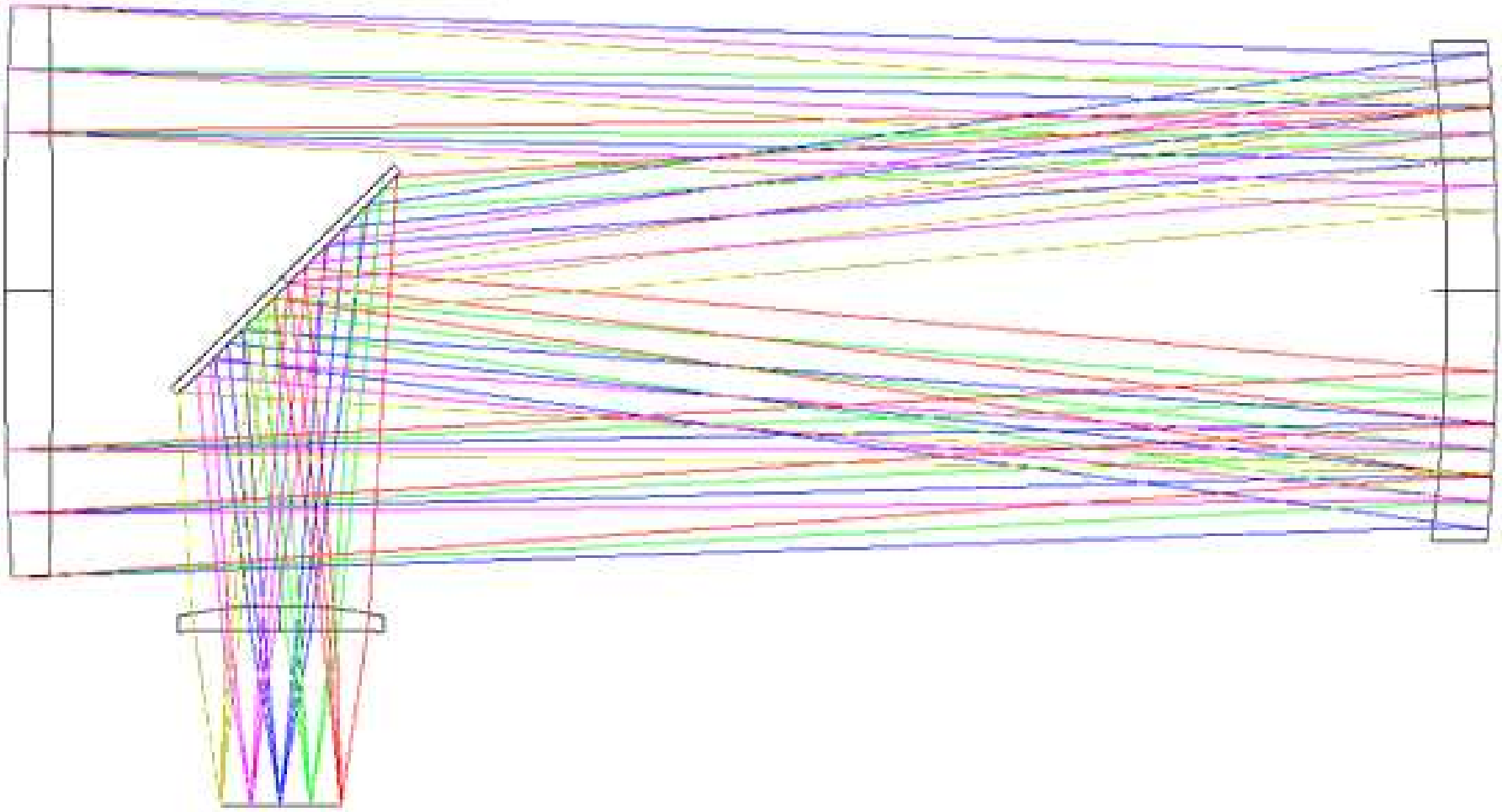
*Подсистема обзора из 22-25 см телескопов с полями зрения 3.5- 5.5 градусов обеспечивает наблюдение всех ярких (15-16 m) объектов*



# Международная научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений (НСОИ АФН)



# Основной класс инструментов малого и умеренного диаметра НСОИ АФН – система Гамильтона



В настоящее время в состав сети входят 22-50 см реализации, 1:2-1:3

# Важнейшие преимущества системы Гамильтона:

- Среди полноапертурных катадиоптрических систем наилучшие массогабаритные характеристики – при размере главного зеркала близком ко входному отверстию достигается большое невиньетированное поле.
- По сравнению с системами без полноапертурных линзовых корректоров – меньшее экранирование и лучший абберационный потенциал
- Важнейшее преимущество для обзоров околоземного пространства – возможность работы на больших зенитных углах. Компенсация атмосферной дисперсии возможна путём управляемой децентровки входной линзы, при этом система не страдает от хроматической вариации дисторсии, в отличие от систем на основе корректора Винне, ограничена только дифференциальной дисперсией по полю!
- Закрытая труба, защищённое покрытие ГЗ.

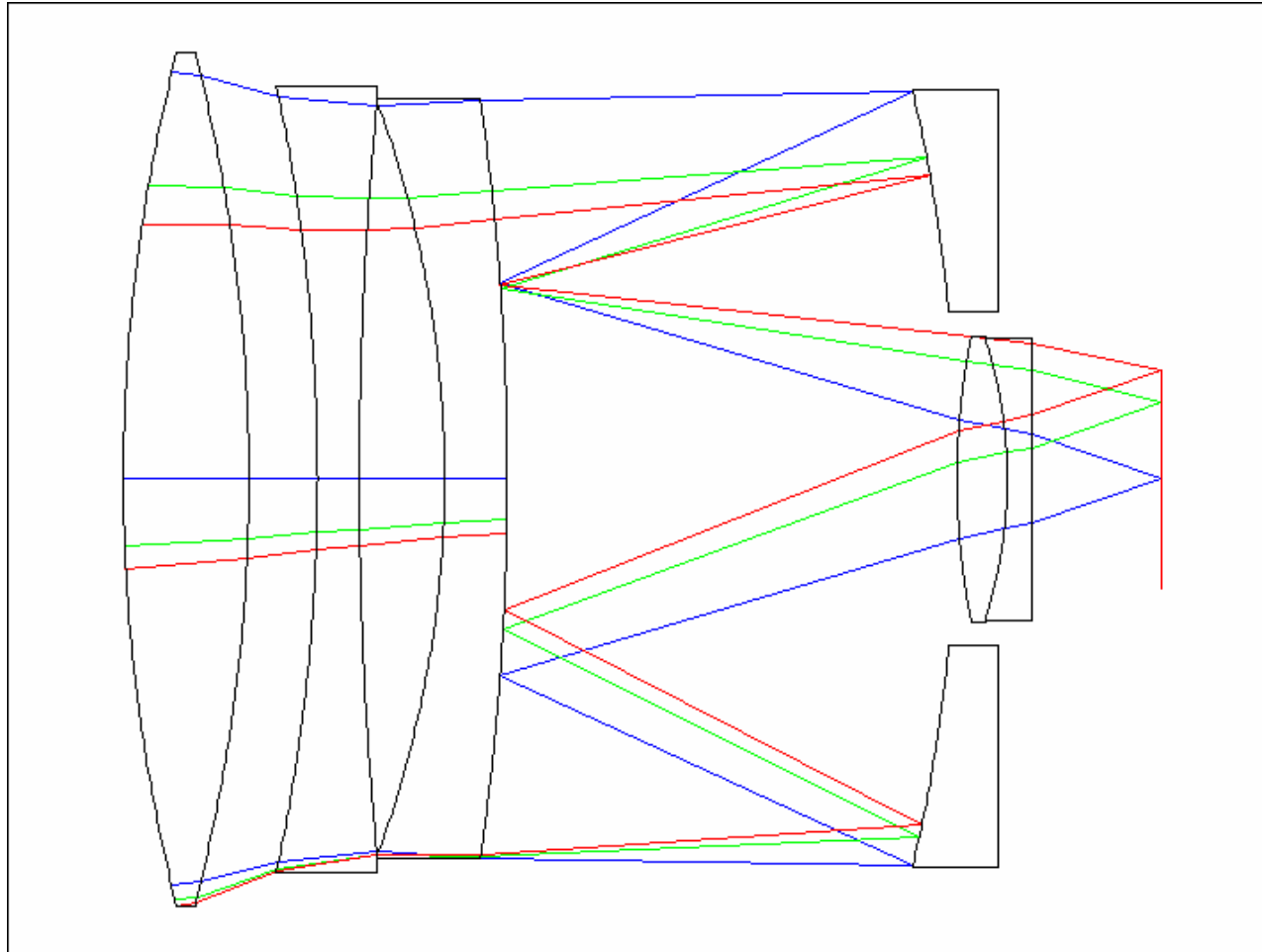


# VT-78a



19,2 см 1:1.54, поле 7x7 градусов

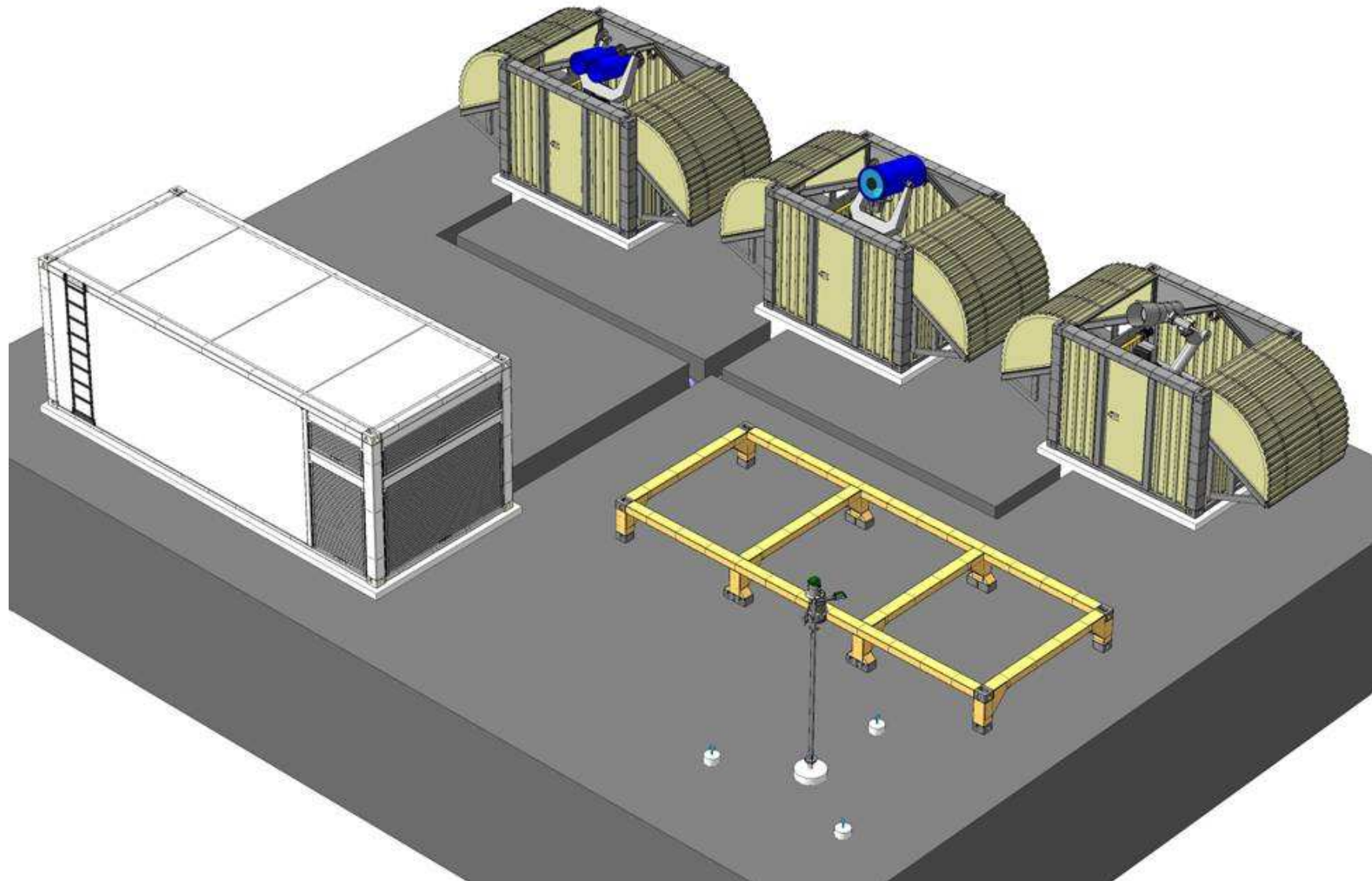
# VT-78a\* (В.Ю.Теребиж)



- Система Шенкера – наиболее насыщенная полноапертурными компонентами, но обладающая наивысшим коррекционным потенциалом в Кассегреновском семействе катадиоптриков.

\* Продемонстрирован чертёж аналога

## 2. Обсерватории высокой заводской готовности.



**Четыре комплекса (40 см, 25 см и 2х 19.2 см)  
изготовлены, два более мощных (65 см, 40 см  
и 4х19.2 см) в производстве.**



**Выбранные места для установки  
трёхтелескопных комплексов ВЗГ**  
синие – первые комплексы (40, 25, 2x19.2) ЭОП-1  
жёлтые – следующие комплексы (65, 40, 4x19.2) ЭОП-2  
красные – 50-см и 65-см телескопы.



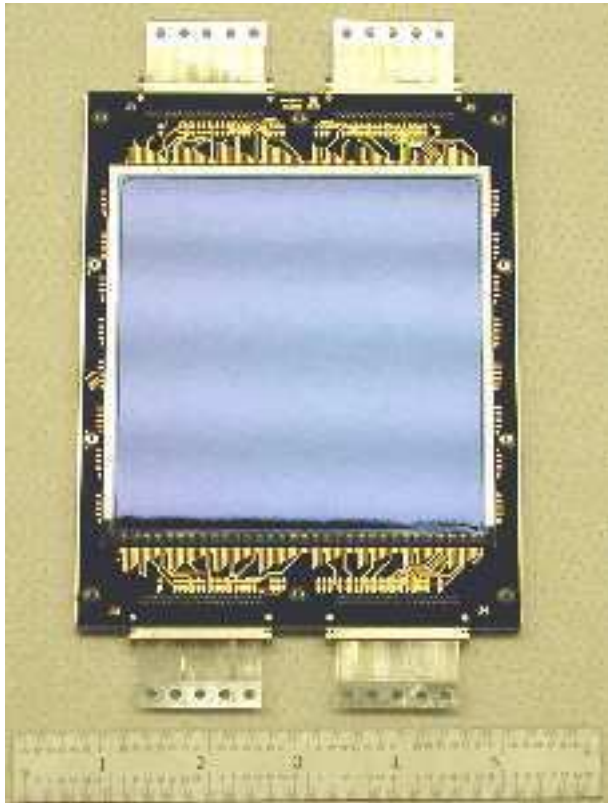
# **Ключевые преимущества обсерваторий ВЗГ:**

- Быстрое развёртывание на пункте размещения – капитальное строительство ограничивается простыми фундаментами и электропитанием.**
- Комплекс поступает уже сконфигурированным и отлаженным, минимизируется количество командированных специалистов и привлекаемой на месте рабочей силы**
- Комплекс содержит собственный электрогенератор, систему кондиционирования, и бытовые условия что обеспечивает надёжную и комфортную работу в малоосвоенных регионах.**

# **3. Перспективные инструменты**

- 1. 80 см 1:2 система Гамильтона**
- 2. 40 см 1:1.25 система Зоннефельда**
- 3. 65 1:1.7 система Гамильтона**

# ПЗС-приёмник STA-1600 (95x95 мм).



- По состоянию на 2011 г. доступна готовая камера в коммерческой реализации (Spectral Instruments).
- Заменяет по информационной ёмкости мозаики умеренного размера при меньшей стоимости.
- Многоканальное считывание с низким шумом.



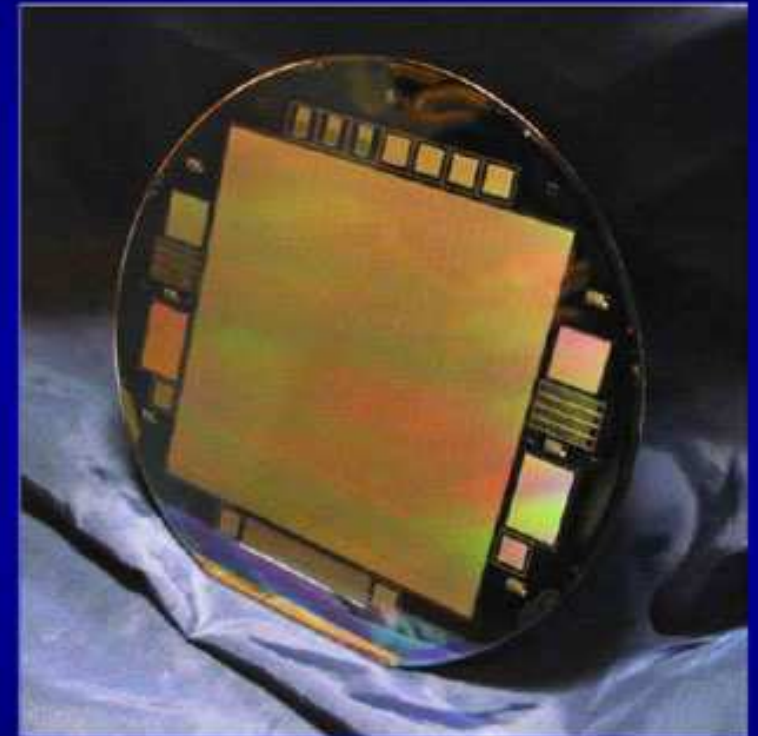
# ПЗС-приёмник STA-1600.



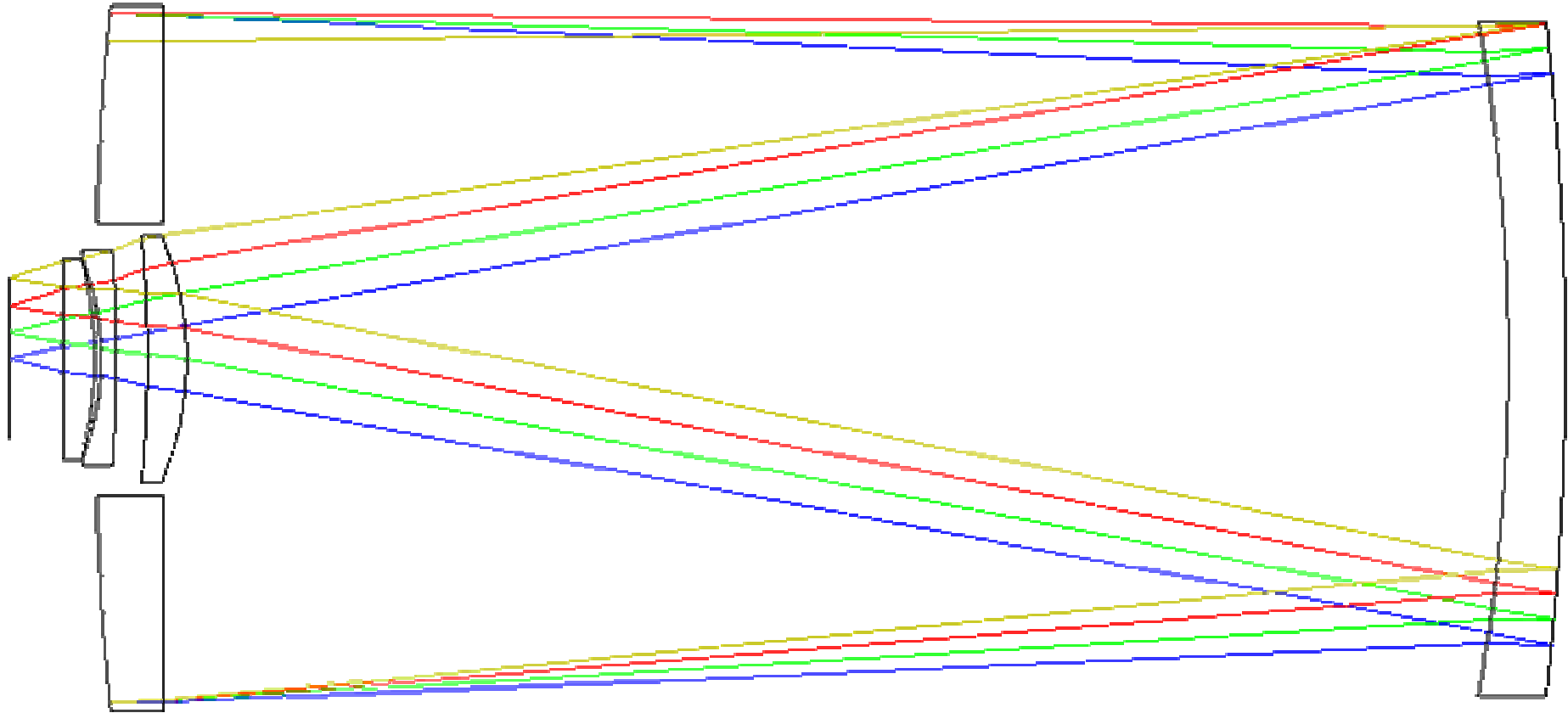
## STA1600B 111Mega pixel imager



- Full 6" wafer imager
- 10560 x 10560 pixels
- 9 micron pixel
- 111,513,600 pixels per frame
- 16 dual stage high speed outputs
- Backside thinned available
- Acquisition speeds up to 1 frame/sec
- Designed for US Naval Observatory

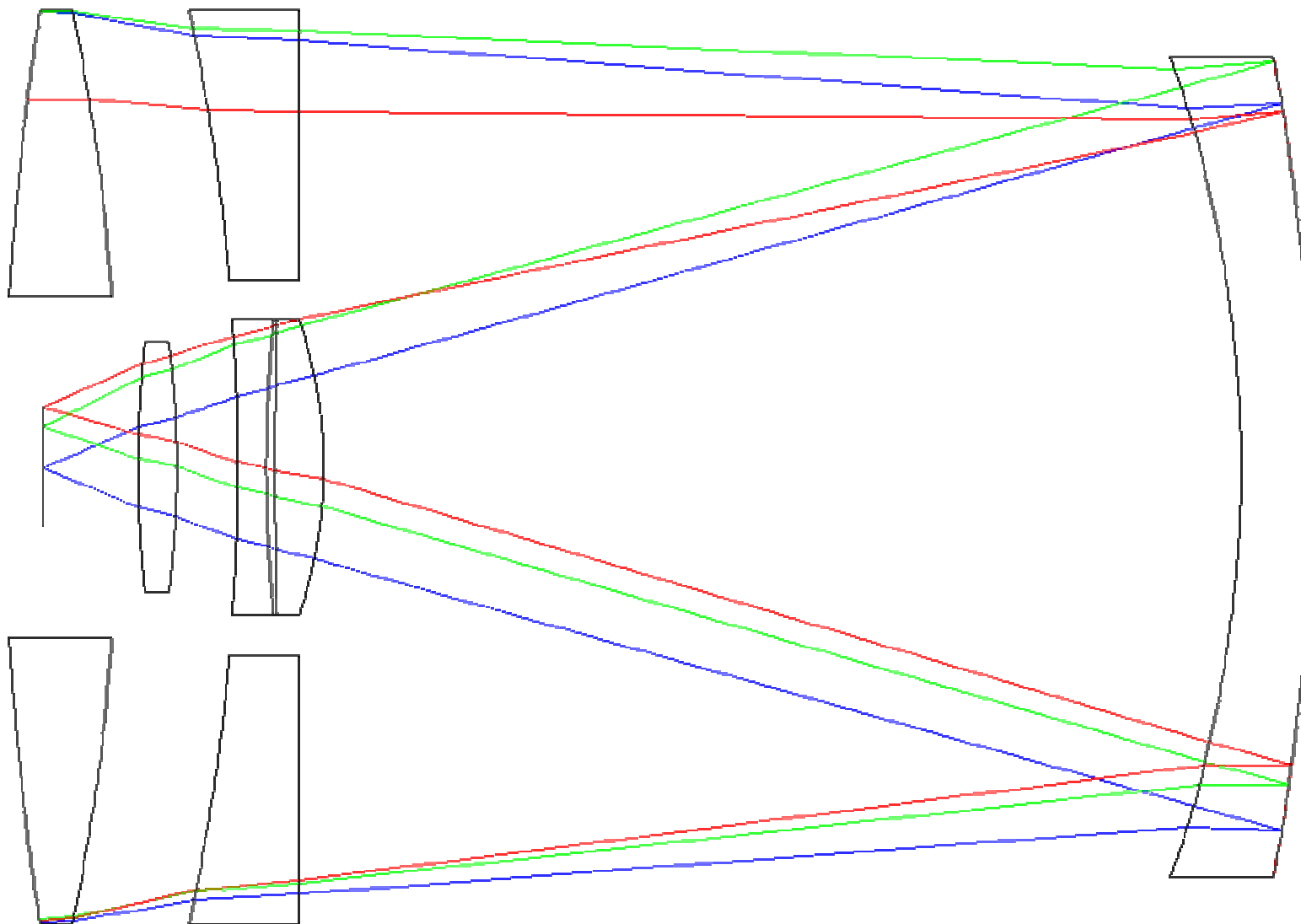


# 3.1 80 см 1:2 система Гамильтона



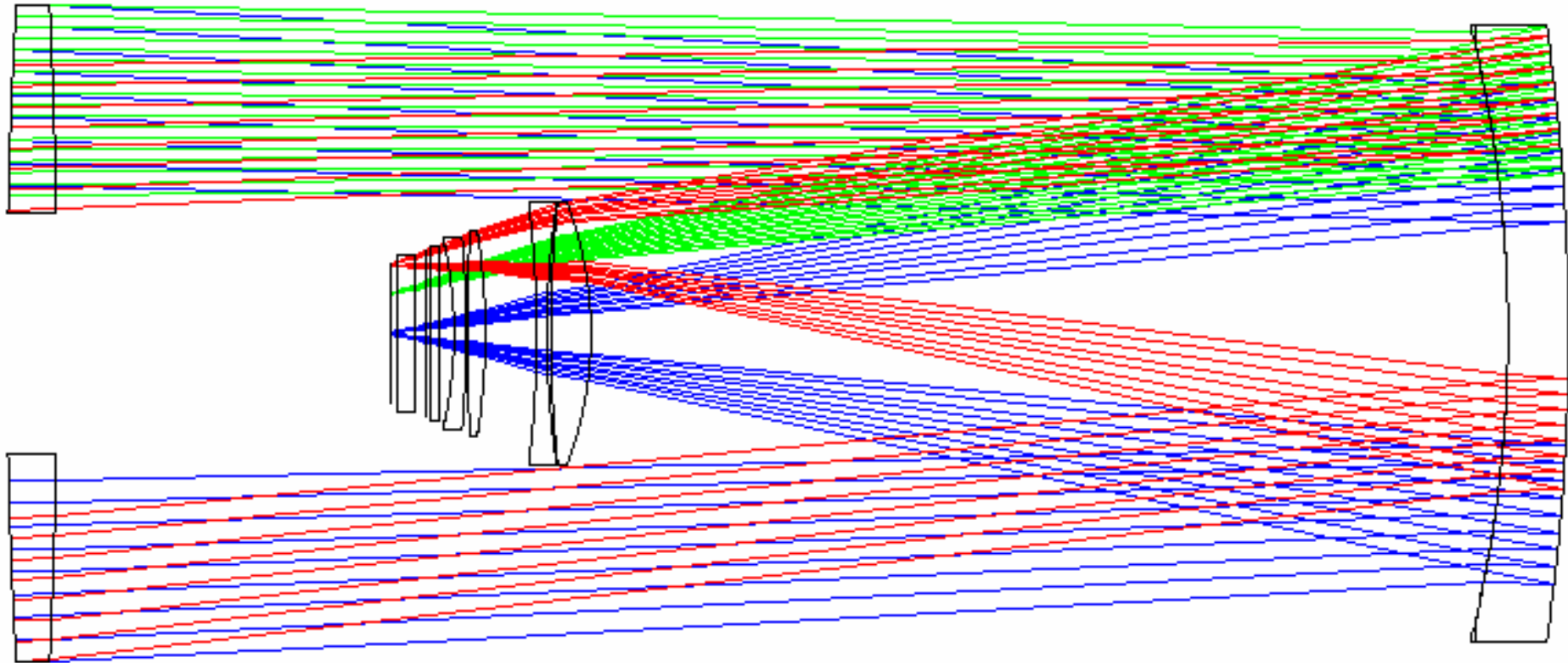
**Перспективный инструмент для обзоров  
слабых объектов.**

## 3.2 40 см 1:1.25 система Зоннефельда



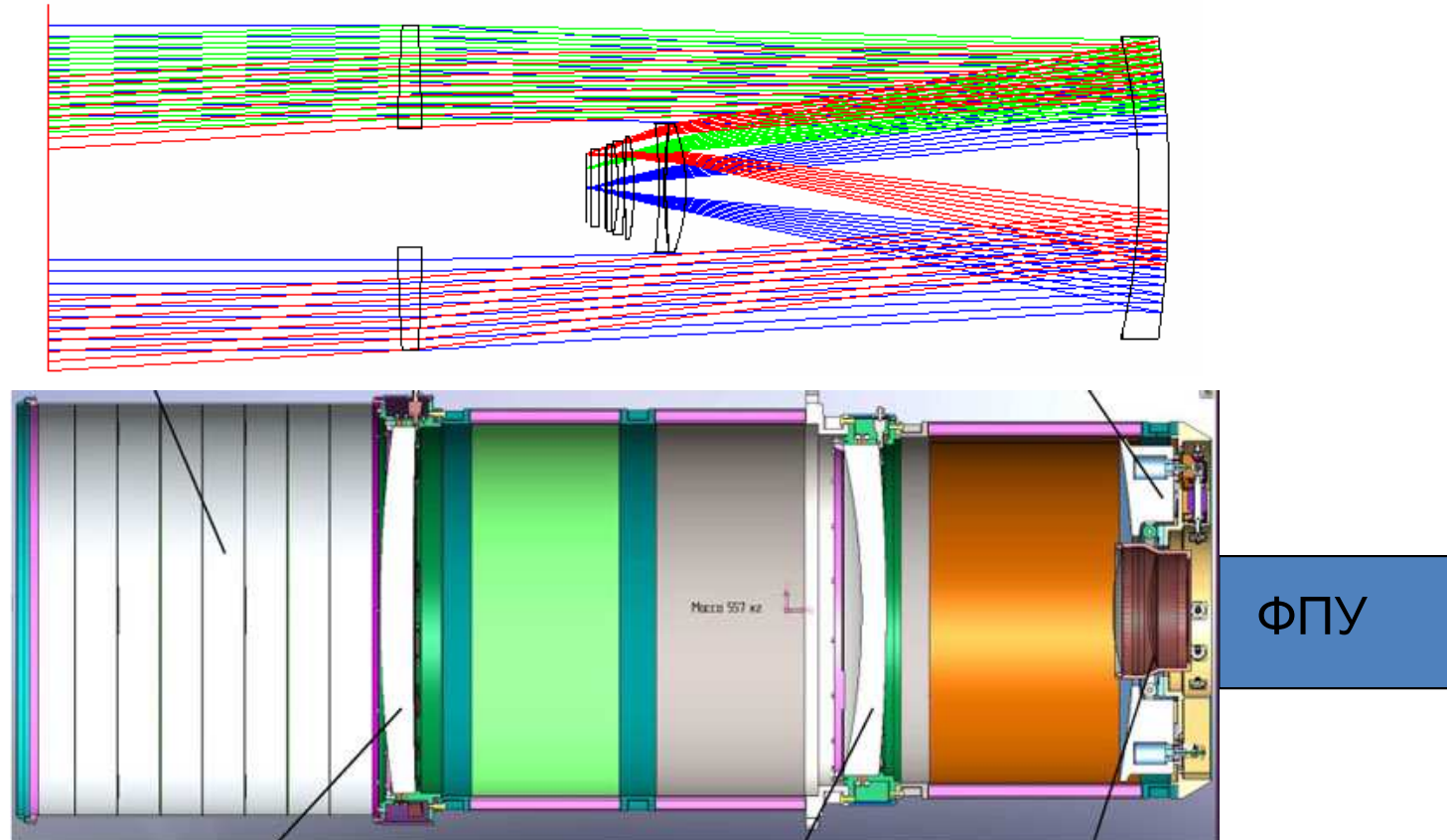
**Сверхсветосильный инструмент для наблюдений низкоорбитальных объектов.**

### 3.3 65 1:1.7 система Гамильтона



**Для работы с ФПУ СТА-1600,  
поле зрения 5x5 градусов**

## 3.3 65 1:1.7 система Гамильтона



Благодаря меньшему экранированию и меньшему количеству зеркал по сочетанию эквивалентной апертуры и поля зрения является аналогом системы, представленной в работе [4]\*, но обладает существенно меньшими габаритами, массой (250 против 557 кг) и стоимостью.

\*I. Tarasenko, V. Terebizh, S. Markelov Some Issues of Creation of Wide-Field Telescopes for Monitoring Satellites and Space Debris in High Earth Orbits. Eighth US/Russian Space Surveillance Workshop Maui Hawaii April 18 - 23, 2010.

<http://www.amostech.com/ssw/papers.cfm>

## **4. Модернизация устаревших инструментов:**

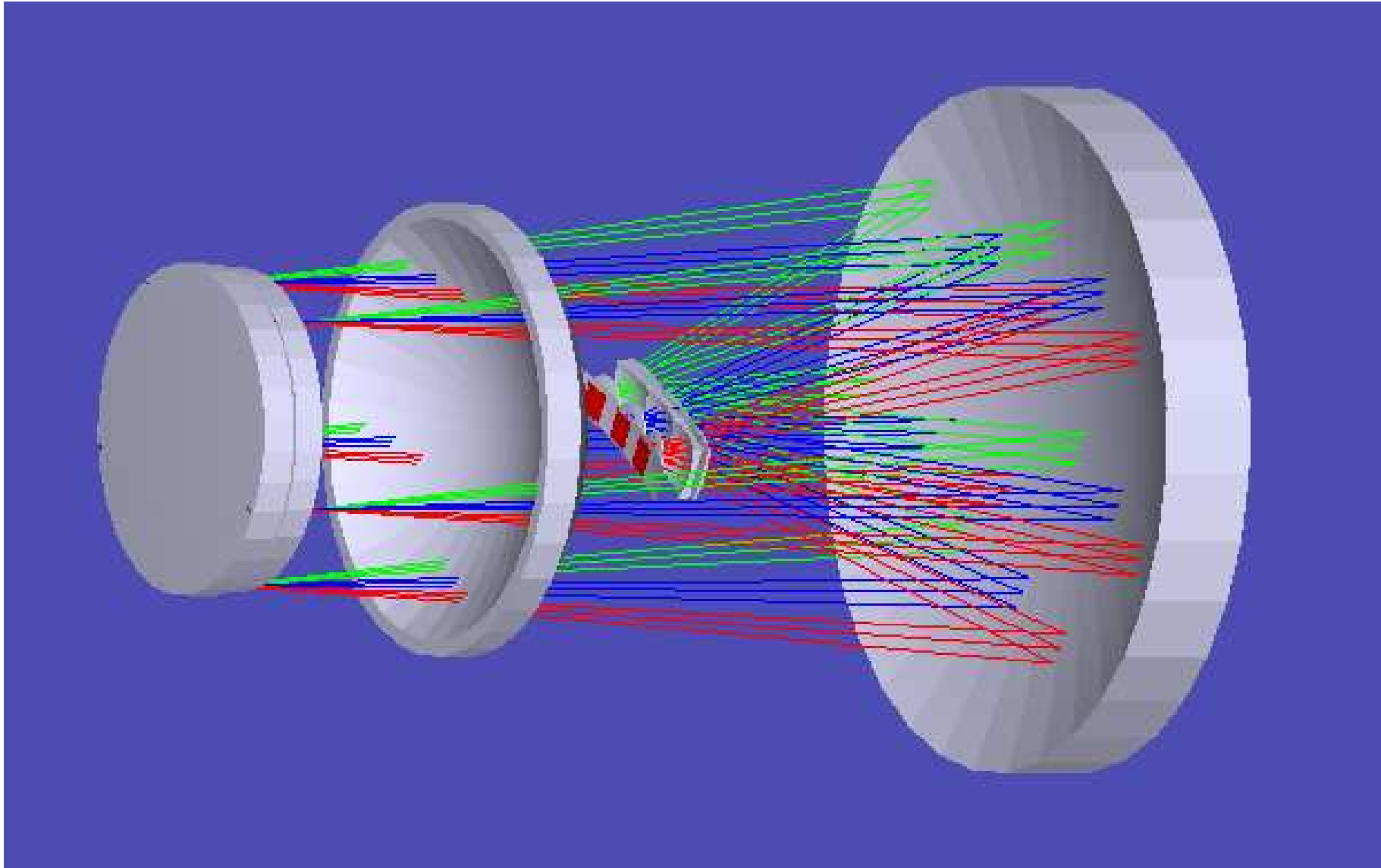
- 1. Телескопы, удовлетворяющие по основным параметрам, но обладающие искривлённой фокальной поверхностью – камеры Шмидта и родственные им концентрические системы Астродар (ВАУ), а также камеры Максудова.**
- 2. Телескопы, требующие коррекции полевых aberrаций – главные фокусы рефлекторов с параболическими и гиперболическими зеркалами (классические астрофизические рефлекторы и телескопы Ричи-Кретьена).**
- 3. Телескопы, требующие как изменения относительного отверстия, так и коррекции полевых aberrаций – рефлекторы с кассегреневским фокусом или системы первичного фокуса с чрезмерно большим для ряда задач фокусным расстоянием.**

### 3.1 Полеспрямители для работы с серийными фотоприёмными устройствами, требующими большого заднего отрезка

Модернизируемые инструменты:

1. ВАУ – до 3-х ПЗС-матриц 50x50 мм, 24 мкм пиксель, 3 готовые камеры с индивидуальными линзовыми блоками, расположенные вдоль сферической фокальной поверхности.
2. СБГ – варианты 36x36 мм, 9 и 12 мкм пиксели, 50x50мм, 24 мкм пиксель, 60x60 мм, 15 мкм пиксель.
3. Крупные уникальные камеры Шмидта 80-100 см, 1:3-1:2, такие как Бюраканский Шмидт.
4. Двухменисковый астрограф АЗТ-16, 70 см, Чили.

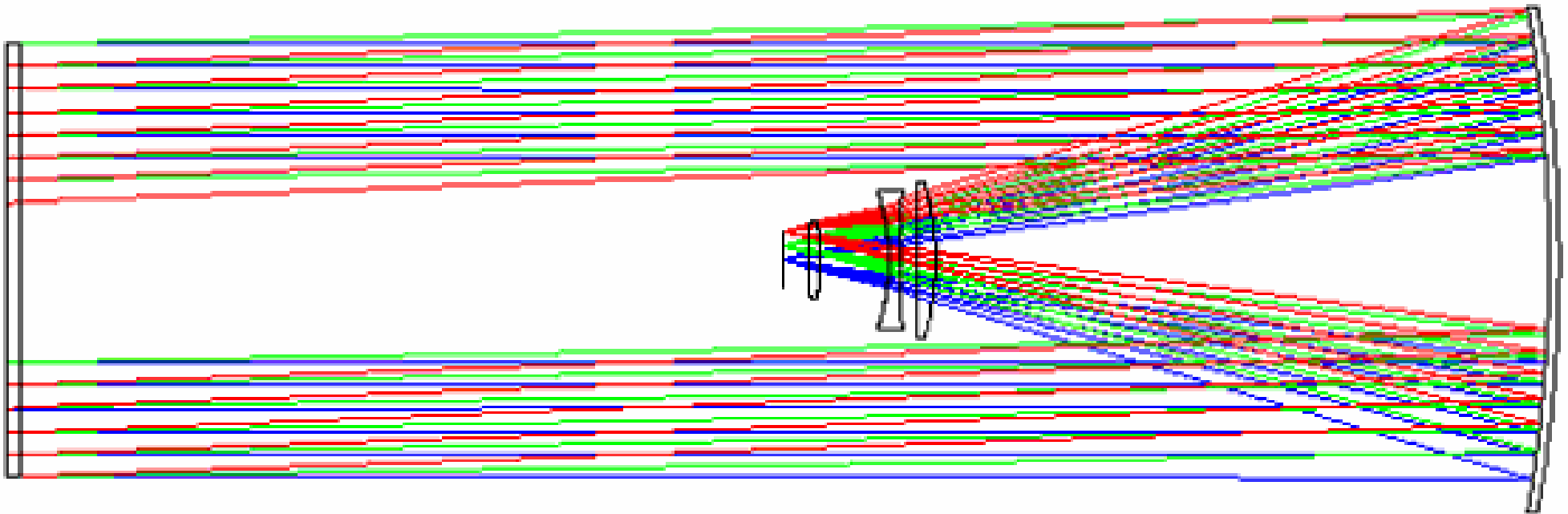
## 4.1.1 Модернизация ВАУ



После модернизации ВАУ сможет вести эффективные обзоры протяжённых в одном направлении областей, таких как ГСО.

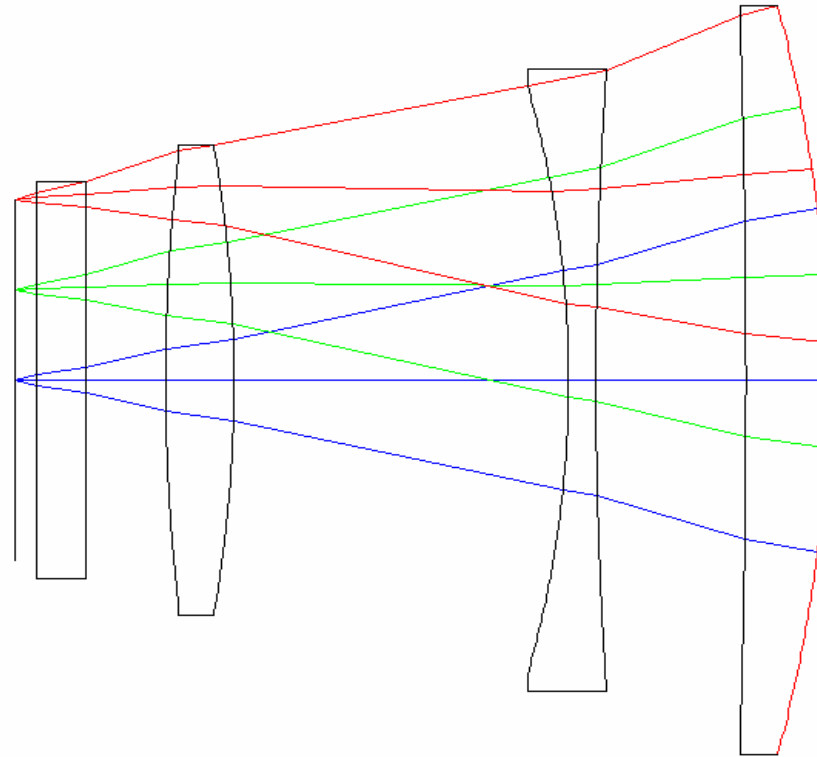


## 4.1.2 Модернизация камер СБГ



Варьируя сложность корректора и задний отрезок мы можем получить оптимальное согласование качества изображения с различными ФПУ.

### 4.1.3 Полеспрямитель для Бюраканского Шмидта, обеспечивающий работу с ПЗС-матрицей STA-1600.

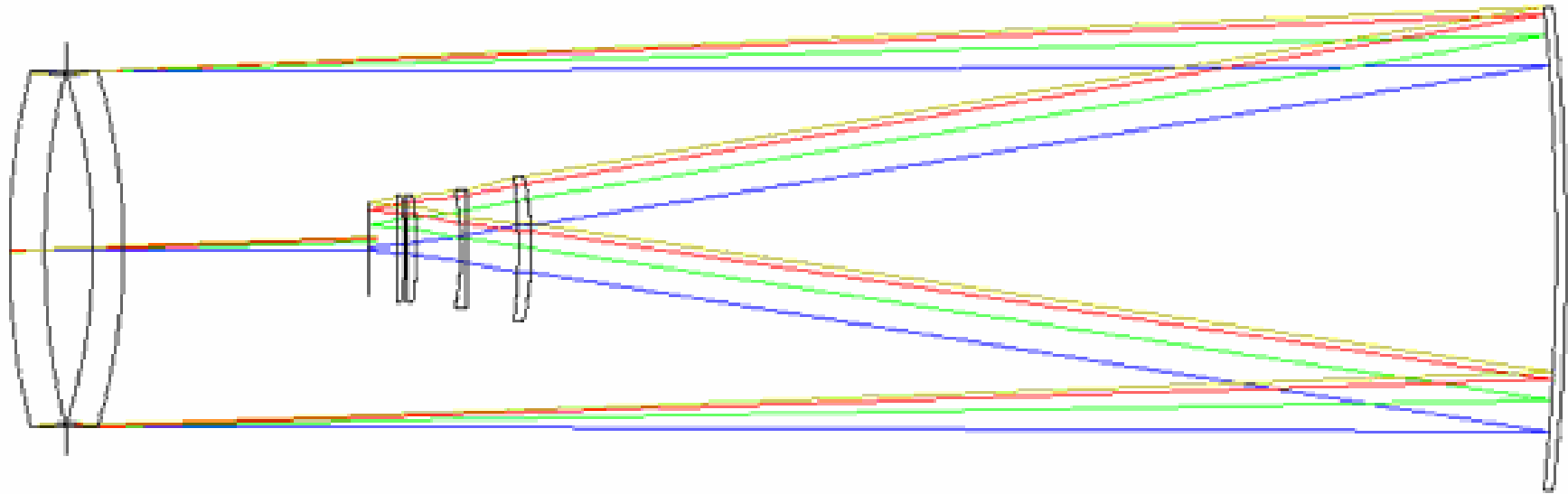


Обеспечивает полную реализацию качества модернизируемого инструмента на крупноформатном приёмнике 95x95 мм.

Устанавливаемый внутри телескопа линзовый блок позволяет достичь плоского поля  $2.6 \times 2.6^\circ$

В квадрате  $2 \times 2$  пикселя концентрация энергии около 80% в диапазоне 400-900 нм.

## 4.1.4 Полеспрямитель для АЗТ-16 (Чили).



Полеспрямитель делает возможным применение мозаики ПЗС-матриц размером 120x120 мм, 15 мкм пиксель.

## 4.2 Корректоры полевых aberrаций главного фокуса однозеркальных систем.

Модернизируемые инструменты:

1. Цейсс-600
2. Цейсс-1000
3. Цейсс-2000
4. Прочие классические параболические рефлекторы и РК.



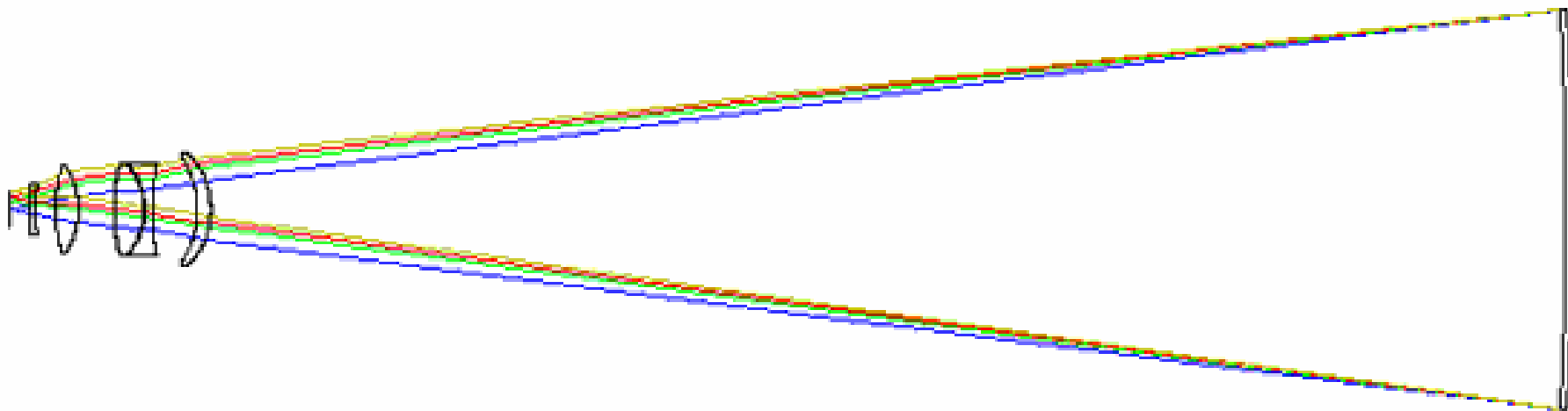
Данное направление модернизации уже достигло стадии реализации в рамках проекта НСОИ АФН – на снимке корректор для Цейсс-600.

## 4.3 Корректоры-редукторы для классических рефлекторов.

Модернизируемые инструменты:

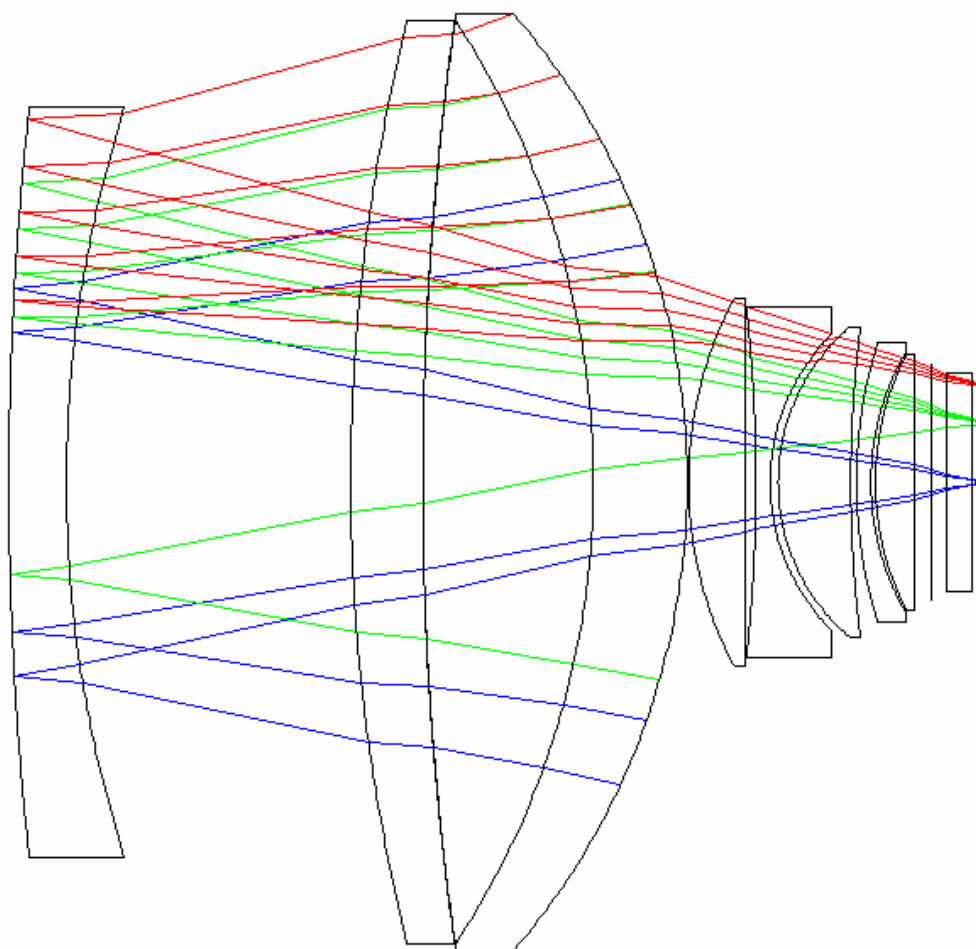
1. Линзовыми редукторами- корректорами -Цейсс-600, 1000, 2000
2. Зеркально-линзовыми редукторами-корректорами – Цейсс-2000, ЗТА, ЗТШ, БТА.
3. Любой инструмент с большим полем в кассегреневском фокусе – зеркально-линзовым преобразователем с параллельным пучком.

### 4.3.1 Линзовый редуктор для инструментов умеренного размера.



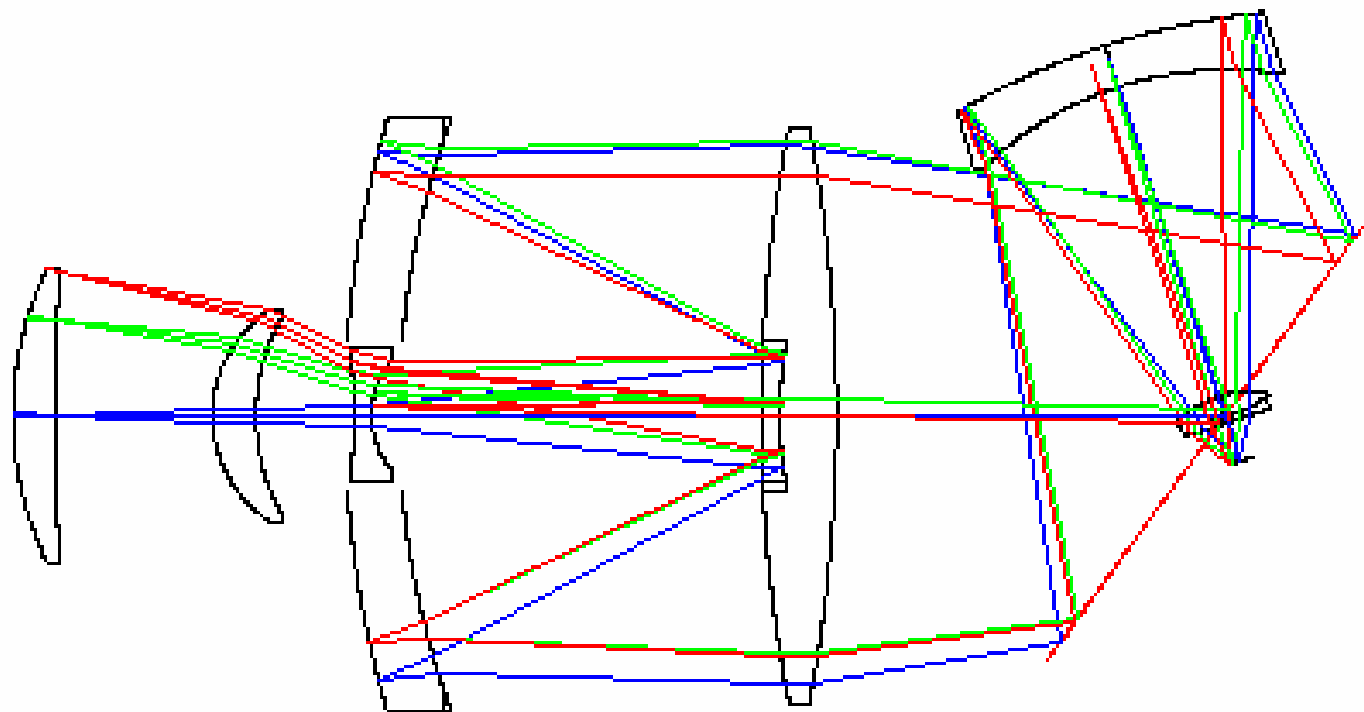
Увеличивает относительное отверстие с 1:4 до 1:2.5,  
приёмник 36x36 мм.

## 4.3.2 Зеркально-линзовый редуктор для ЗТА.



Обеспечивает редукцию с 1:3,85 до 1:1,8 на ФПУ СТА-1600. Поле с ЗТА 1.13x1.13 градуса.

### 4.3.3 Зеркально-линзовый преобразователь для Кассегреновского фокуса.



Перспективен для периодической работы с емССД и sCMOS приёмниками, относительное отверстие до 1:1-1:0,7.



# Ссылки:

1. Юдин. А.Н. Светосильные широкоугольные зеркально-линзовые телескопы фирмы «Сантел». // Международная конференция «АСТРОКАЗАНЬ-2009» / Сборник тезисов.– Казань, КГУ, 2009.
2. Санкович А.В., Юдин А.Н. Зеркально-линзовые телескопы для решения задач обзорной астрономии – оптические системы и их практические реализации. // IX Международная конференция «Прикладная оптика-2010». / Сборник докладов.– Санкт-Петербург, ИТМО, 2010.
3. V. Yu. Terebizh Wide-field telescopes with a Mangin mirror arXiv:0710.2165v1 [astro-ph] 11 Oct 2007.
4. I. Tarasenko, V. Terebizh, S. Markelov Some Issues of Creation of Wide-Field Telescopes for Monitoring Satellites and Space Debris in High Earth Orbits. Eighth US/Russian Space Surveillance Workshop Maui Hawaii April 18 - 23, 2010. <http://www.amostech.com/ssw/papers.cfm>
5. Baltay, C. and Rabinowitz, D. and Andrews, P. and Bauer, A. and Ellman, N. and Emmet, W. and Hudson, R. and Hurteau, T. and Jerke, J. and Lauer, R. and Silge, J. and Szymkowiak, A. and Adams, B. and Gebhard, M. and Musser, J. and Doyle, M. and Petrie, H. and Smith, R. and Thicksten, R. and Geary, J. (2007) The QUEST large area CCD camera. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 119 (861). pp. 1278-1294. ISSN 0004-6280
6. F.J. Montojo, J. Núñez, O. Fors, M. Merino, J.L. Muiños, F.Belizón, M. Vallejo, J.M. Codina San Fernando Baker-Nunn Camera Transformation 14-th International Workshop on Laser Ranging.
7. Carter, B. D.; Ashley, M. C. B.; Sun, Y.-S.; Storey, J. W. V. Redesigning a Baker-Nunn camera for CCD imaging Astronomical Society of Australia, Proceedings (ISSN 0066-9997), vol. 10, no. 1, p. 74-76.
8. Richard Bredthauer, Greg Bredthauer, Kasey Boggs Semiconductor Technology Associates, Inc. Update of the STA1600 10560 x 10560 pixel high-resolution CCD SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation San Diego California, USA 27 June-2 July 2010

**С подробным анализом и описанием ряда текущих и перспективных разработках Вы сможете ознакомиться в предстоящей публикации:**



5 - 8 September 2011  
World Trade Centre/Mercure Hotel  
Marseille France

**Fast catadioptric telescopes for CCD observation of transient events and space surveillance**

Paper 8172-44 Author(s): Alexey N. Yudin, Anatoly V. Sankovitch, Santel Ltd. (Russian Federation)