

# *Отчет о работе БТА*

июль – декабрь 2018 г.



# Замена главного зеркала (СЭК БТА, оптический сектор)

## Этапы работы

- с 3 мая – начало работ, демонтаж фиксирующих опор и разгрузок, мойка зеркала, подготовка к переносу в контейнер).
- 18 мая – перенос зеркала.
- Май – июнь – настройка и установка разгрузок. В ходе работ обнаружено несоответствие диаметров стаканов разгрузок размеру отверстий в ГЗ1, потребовалась проточка стаканов. Подъем ГЗ1 относительно оправы на 6мм вследствие изменения расчетного центра тяжести после установки стаканов разгрузок. Балансировка трубы телескопа. Юстировка геометрического центра ГЗ1 относительно центра поворотного стола.
- 9 июля – первые наблюдения.
- Июль – август – тестовые наблюдения: "нож Фуко", снимок расфокусированной звезды, гартманогаммы, измерения с датчиком волнового фронта Шака-Гартмана, установка новой системы термоконтроля ГЗ, выполнение заклона зеркала для совмещения центра aberrаций с центром поворотного стола.
- 22 августа – 12 сентября – четыре итерации по регулировке разгрузок, контрольные измерения с датчиком Шака-Гартмана.
- Сентябрь – начало ноября – подготовка вакуумной установки алюминирования зеркала, отладка обновленной системы управления (семь тестовых напылений) и алюминирование зеркала.



# Замена главного зеркала (СЭК БТА, оптический сектор)

## Этапы работы

- 15 ноября – 19 декабря – серия наблюдений для проверки характеристик после нанесения отражающего покрытия и общая подготовка телескопа к запуску в наблюдения.
- 20 декабря – телескоп начал работу по расписанию.
- 2019 г. – выполнялись наблюдения на SCORPIO, спекл-интерферометре, ОЗСП, НЭС; оценена работа зеркала в реальных наблюдениях; подготовлено заключение аттестационной комиссии.



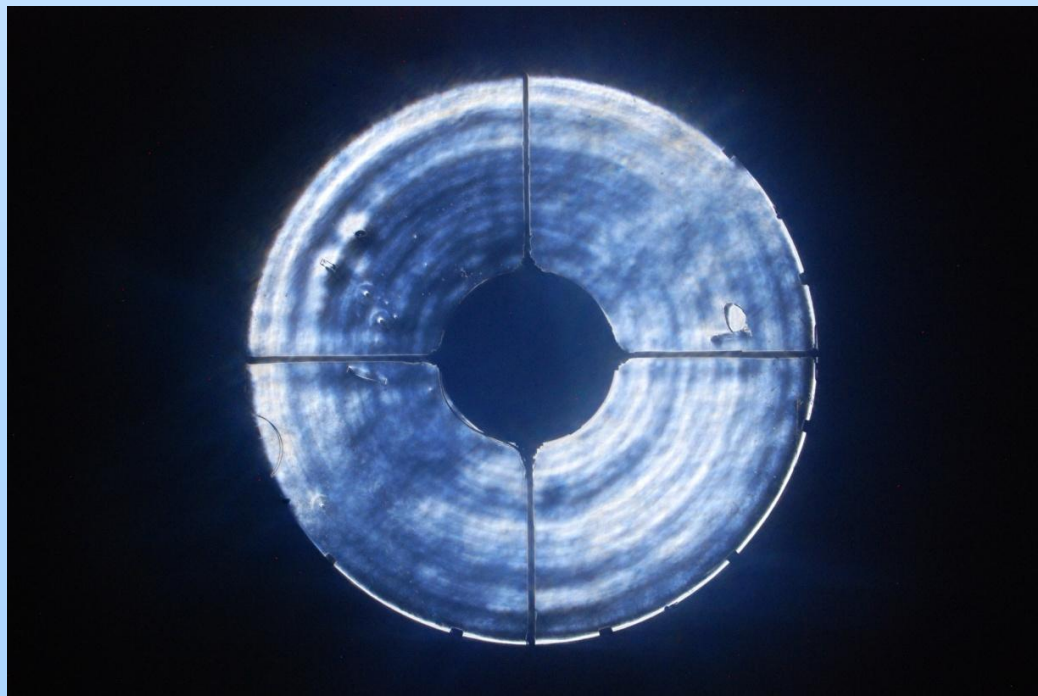
# Измерение характеристик поверхности главного зеркала (СЭК БТА, оптический сектор)

## Зональные ошибки

Завал края шириной 26 мм.

Кольцевые структуры с характерным масштабом 600 мм (D/10) и 150 мм (D/40) и глубиной 0.3-0.4  $\lambda$ .

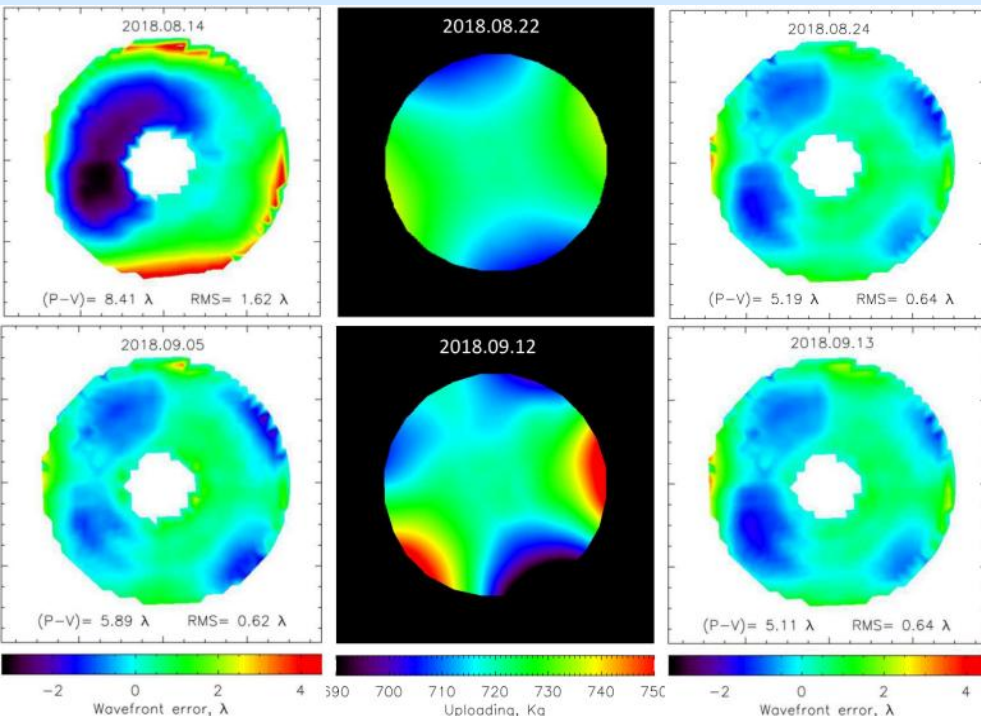
Общий рассеянный свет зеркала составляет ~13%, после диафрагмирования края ~7%.



# Измерение характеристик поверхности главного зеркала

(СЭК БТА, оптический сектор)

## Ошибки формы поверхности



Отклонения формы поверхности от параболоида после установки зеркала в штатную оправу значительно превысили ожидаемые и доходили до нескольких длин волн. С целью исправления формы поверхности была предпринята попытка ее коррекции с помощью торцевых разгрузок. Проведено четыре итерации по регулировке усилий на разгрузках с последующими контрольными наблюдениями с датчиком Шака-Гартмана.

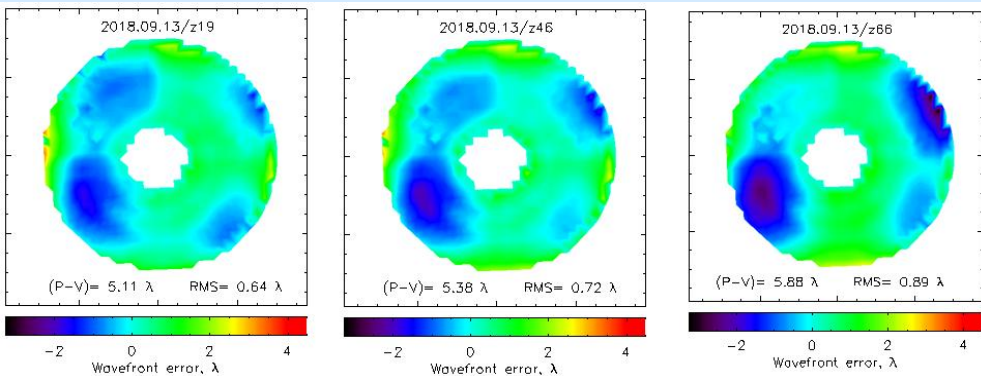
Наиболее значимое улучшение качества поверхности (уменьшение СКО для поверхности с  $1.92\lambda$  до  $0.62\lambda$ , уменьшение максимального размаха P-V с  $8.41\lambda$  до  $5.19\lambda$ , улучшение расчетного кружка рассеяния на уровне 80% с  $0.89''$  до  $0.66''$ ) произошло после первой итерации регулировки разгрузок при незначительном изменении усилий (в среднем  $\pm 10$  кг от номинального значения около 720 кг). Последующие три итерации не привели к значимым улучшениям несмотря на существенное увеличение усилий на разгрузках.

Коррекция формы поверхности регулировкой разгрузок не позволила в полной мере исправить форму, что видно по данным измерений с датчиком Шака-Гартмана и независимо подтверждается другими методами – в частности, наблюдаются седловидная форма абберрационного поля и пятнистая морфология расфокусированных изображений звезд.

*Первая (верх) и четвертая (низ) итерации регулировки разгрузок. Слева направо: исходный волновой фронт, картина распределения дополнительных усилий на разгрузках, волновой фронт после коррекции.*

# Измерение характеристик поверхности главного зеркала (СЭК БТА, оптический сектор)

## Неразгруженность зеркала



*Изменение формы поверхности ГЗ1 на различных зенитных расстояниях вследствие неразгруженности.*

Для коррекции формы поверхности используются только торцевые разгрузки: регулировка радиальных разгрузок технически сложна и запас хода крайне ограничен по сравнению с торцевыми. В силу значительных дополнительных усилий на разгрузках форма поверхности становится зависимой от положения трубы телескопа: зеркало стремится вернуться к исходной форме, когда из-за изменения положения трубы торцевые разгрузки перестают оказывать необходимое усилие. Оценки, полученные 13 сентября после проведения четвертой итерации показали изменении RMS от 0.64 до 0.88 длины волны в диапазоне зенитных расстояний 19-66 градусов.

Возможности коррекции формы поверхности с помощью изменения усилий на разгрузках исчерпаны вследствие роста эффекта неразгруженности зеркала.

Общий вывод:

- несоответствие ТЗ по нескольким параметрам;
- наличие значительного рассеянного света;
- исчерпание возможностей регулировки поверхности усилиями на разгрузках;
- невыполнимость части астрофизических задач.

Несмотря на устранение большей части расфолировок, ГЗ1 уступает по характеристикам ГЗ2.

Причина: неучтенная неоднородность стекла ГЗ при расчетах деформаций поверхности при контроле в системе разгрузки типа «лента».

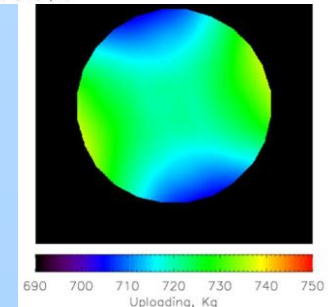
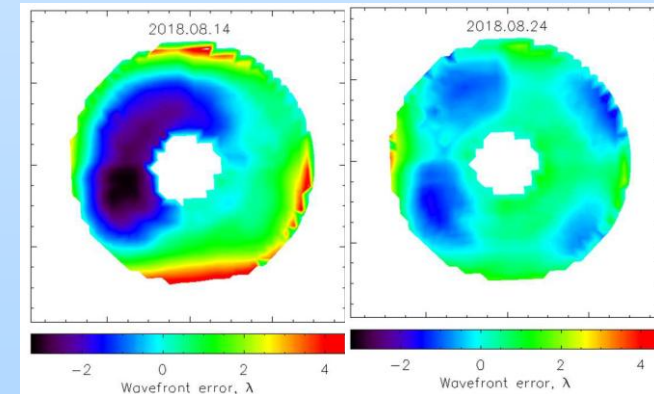
# Запуск наблюдений на телескопе

## (СЭК БТА, оптический сектор)

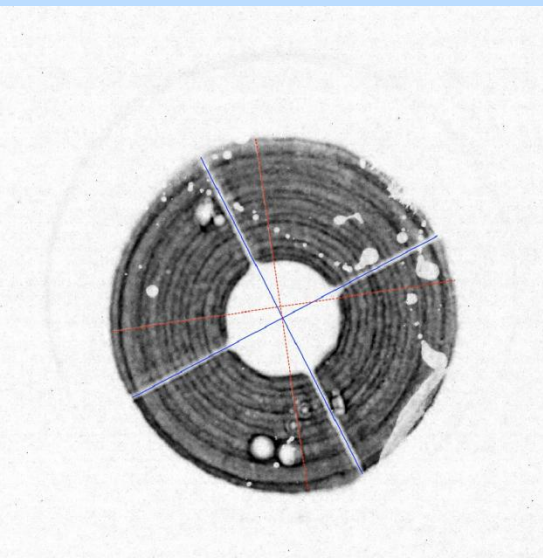
С 20 декабря телескоп запущен в наблюдения:

- Дифрагмирован внешний край зеркала, вносящий наиболее существенный вклад в количество рассеянного света.
- Разгрузки зеркала выставлены в положение «после первой итерации» - в этом положении достигается наиболее существенное улучшение формы поверхности при относительно небольшом воздействии на разгрузки (дополнительные усилия до 16 кг), одновременно сводятся до минимума эффекты неразгруженности зеркала.
- Аберрационный центр совмещен с центром поворотного стола (выполнялся дополнительный заклон зеркала после алюминирования, так как регулировка разгрузок изменила положение центра).
- В фокусе Н-2 отмечается отклонение пучка от центра коллиматора ОЗСП (~10 мм), однако юстировка оптической схемы Н-2 была признана нецелесообразной.

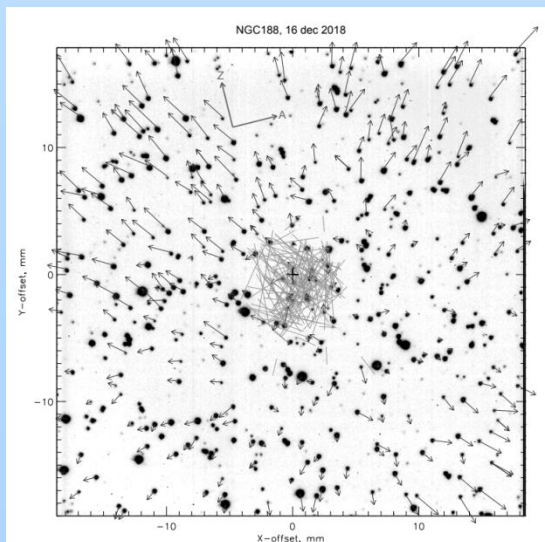
Коррекция разгрузками (первая итерация)



Пучок на коллиматоре ОЗСП



Аберрационный центр



# Вакуумная установка алюминирования зеркала (Г.В. Якопов, СЭК БТА)

В результате многолетней модернизации ВУАЗ к настоящему времени реализованы следующие задачи:

- **Обеспечение безмасляного, сухого вакуума на хуже  $10^{-7}$  торр, с минимально возможным натеканием** (использование сухих форвакуумных насосов, криогенных высоковакуумных насосов, гелиевых течеискателей, анализатора состава остаточной атмосферы).
- **Создание системы напыления алюминия, способной обеспечить скорость нанесения не ниже  $50 \text{ \AA}/\text{сек}$  с минимальным загрязнением исходного испаряемого материала** (проведена модернизация испарителя с целью одновременной работы всех сегментов, реализовано тиристорное управление током не менее  $100 \text{ А}$  на сегмент).
- **Тщательный подбор параметров ионного источника для очистки поверхности зеркала перед нанесением покрытия с целью улучшения адгезии.**
- **Отработка технологии напыления алюминия с требуемым коэффициентом отражения в диапазоне длин волн  $400\text{-}800 \text{ нм}$ .**

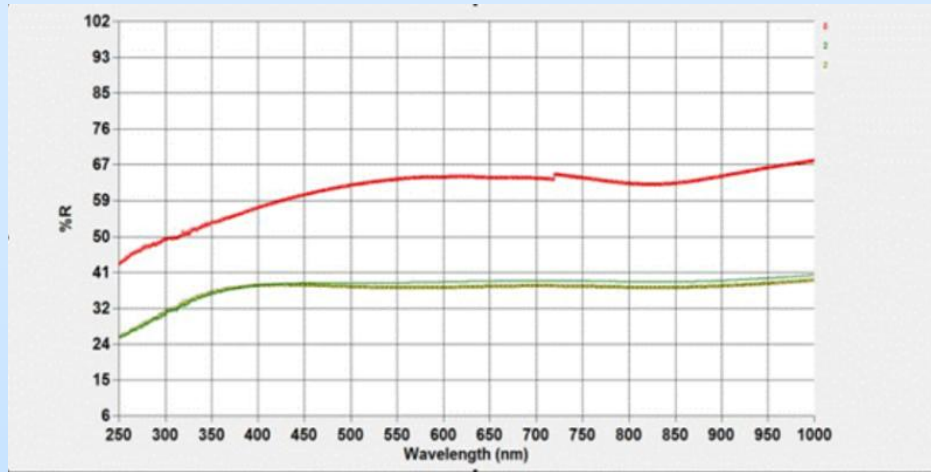
## 2018 год:

В результате оптимизации технологического процесса в течение **семи тестовых напылений** удалось создать воспроизводимый техпроцесс без участия оператора, удовлетворяющий указанным требованиям со следующим набором параметров:

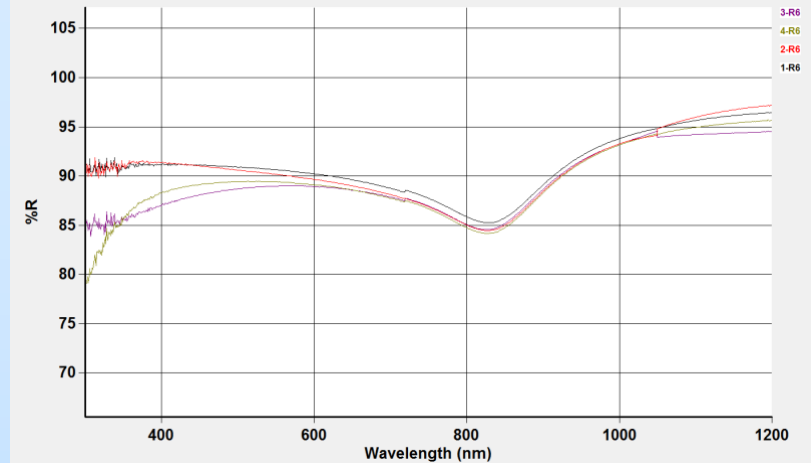
- толщина слоя Al –  $80 - 100 \text{ нм}$
- общее время нанесения –  $25 \text{ сек}$
- средняя скорость нанесения  $\approx 40 \text{ \AA}/\text{сек}$ .
- чистота Al - (99,95)
- плазма –  $P = 2 \times 10^{-2} - 8 \times 10^{-3} \text{ Торр}$ ;  $U = 0.8\text{-}1.2 \text{ КВ}$ ,  $I = 500 \text{ мА}$ , энергия ионов до  $100\text{-}200 \text{ эВ}$



# Вакуумная установка алюминирования зеркала (Г.В. Якопов, СЭК БТА)

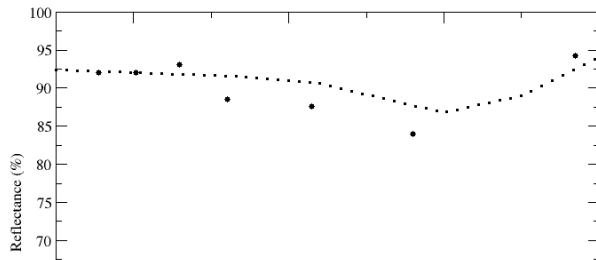


Алюминирование 2015 г.

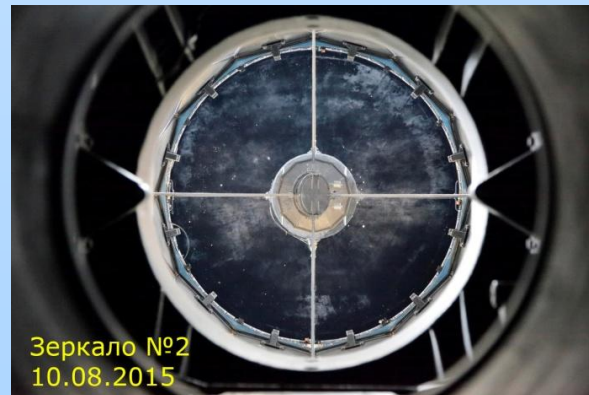


Алюминирование 2018 г.

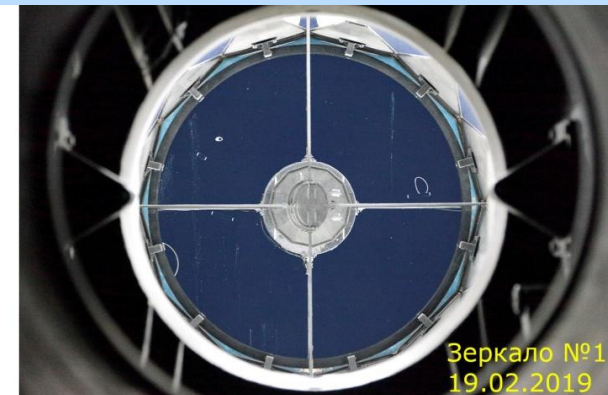
Образцы-свидетели были исследованы в НПО «Луч» на профессиональном спектрофотометре Cary 300. Необходимо отметить не только близкий к идеальному коэффициент отражения, но и воспроизводимость кривых отражения четырех тестовых образцов-свидетелей, симметрично расположенных по внешней образующей зеркала. Такой результат свидетельствует о высокой однородности покрытия по всей площади ГЗ.



Результаты подтверждаются измерениями на рефлектометре СТ-7 (САО РАН, Н.В.Борисов) в семи спектральных полосах. Пунктирная линия — идеальное отражение, точки — измерения.



Зеркало №2  
10.08.2015



Зеркало №1  
19.02.2019

Снимки в косых лучах после алюминирований 2015 г. и 2019 г.

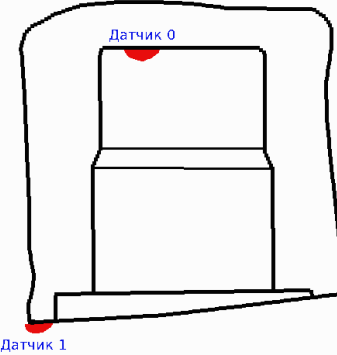
# Термомониторинг главного зеркала

(Э.В. Емельянов, ЛОН)

Система термомониторинга сделана на основе цифровых термодатчиков TSYS-01, точность 0.05 градусов.

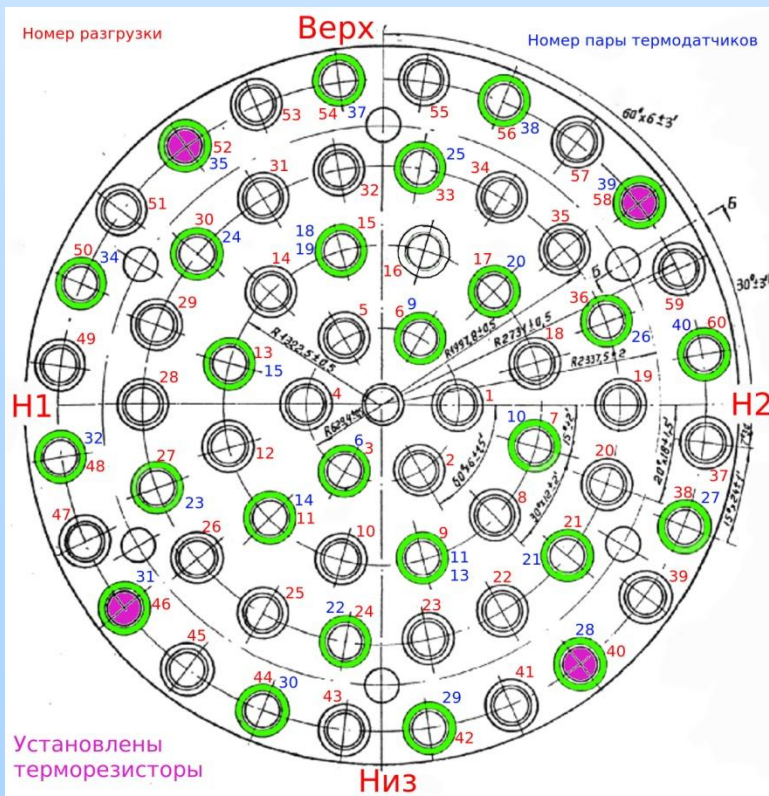
Термодатчики размещены в 26 парах точек (в двух парах продублированы). В четырех точках дополнительно установлены платиновые терморезисторы для контроля дрейфа показаний цифровых датчиков. После алюминирования датчики подключены по временной схеме, работает лишь семь датчиков.

Система сбора на пяти контроллерах по шине CAN, одноплатный компьютер позволяет получать доступ к последним накопленным данным по локальной сети: <http://mirtemp.sao.ru/>

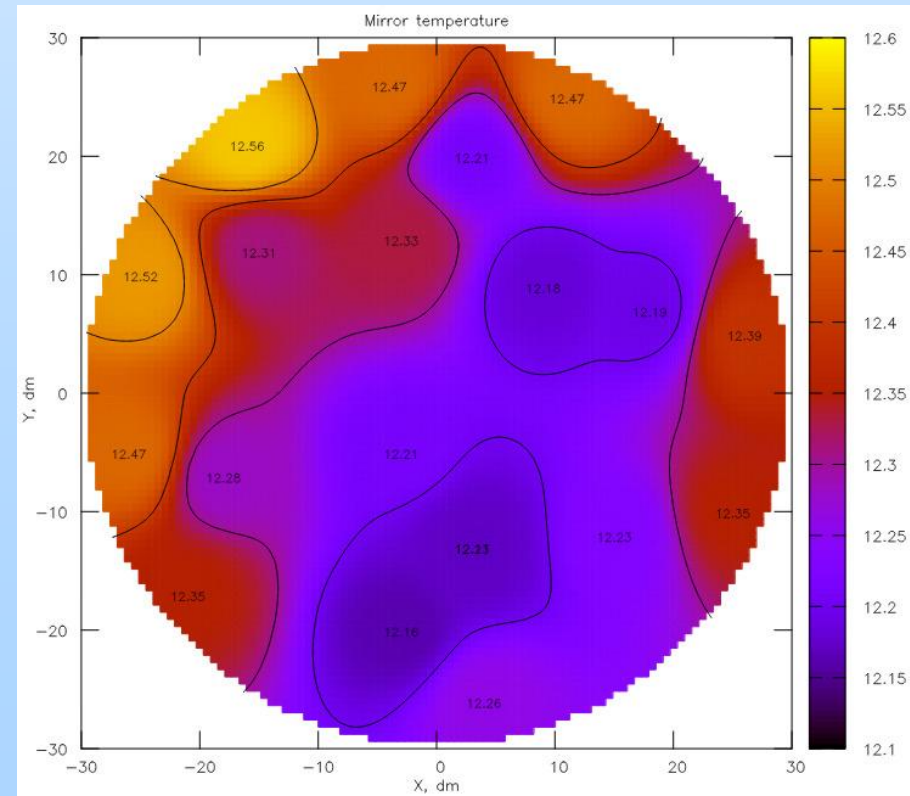


Размещение датчиков

Распределение датчиков по разгрузкам ГЗ



Температурная карта ГЗ



*Спасибо за внимание!*