

Г. В. АБРАМЯН

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИКИ ТЕЛЕСКОПА ЗТА-2.6 м. ВЕДУЩИЕСЯ НА ТЕЛЕСКОПЕ РАБОТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Методом Гартмана исследовано качество основных оптических систем телескопа ЗТА-2.6 м Бюраканской астрофизической обсерватории. Приведены значения волновых aberrаций главного зеркала. Рассмотрены вопросы астроклимата башни и апертюры телескопа.

1. Введение. Одним из основных методов исследования качества оптической системы, получившем широкое распространение в настоящее время, является метод Гартмана [1]. Мейнел и Василевскис применили метод Гартмана для полного восстановления исследуемого волнового фронта [2]. В СССР метод Гартмана начал активно развиваться в связи с разработкой и реализацией проекта шестиметрового телескопа. Особенно успешными оказались разработки по усовершенствованию и применению метода Гартмана, выполненные в ИОМО-ЛИТМО [3—5], в САО АН СССР [6—9], и в КрАО АН СССР [10, 11].

Начиная с 1984 г. метод Гартмана широко применялся для исследования качества оптических систем и юстировки телескопа ЗТА-2.6 м Бюраканской астрофизической обсерватории.

2. Основные оптические системы и качество оптики телескопа ЗТА-2.6 м. Телескоп ЗТА-2.6 м вошел в строй в 1976 г. Качество его главного параболического стеклянного зеркала оказалось неудовлетворительным и обсерватория приняла решение заменить его новым, более качественным. В конце 1983 г. завершились механические работы по замене стеклянного зеркала телескопа на новое—ситалловое. В 1986 г. силами обсерватории телескоп был оснащен оптической системой Кассегрена, которая по проекту не была предусмотрена. Работы по расчету, реализации и исследованию качества системы Кассегрена завершились к середине 1986 г.

Перечень основных оптических систем телескопа с необходимыми характеристиками приведен в табл. 1.

Таблица 1

Основные оптические параметры телескопа ЗТА-2.6 м

Оптическая система	F, мм	D/F	2w, мин	Масштаб уг. с. мм
Первичный фокус без корректора	9965	1:3.83	2	20.701
Первичный фокус с корректором 1	9978	1:3.84	12	20.671
Первичный фокус с корректором 2	10000	1:3.85	45	20.636
Фокус Нэсмита 1	40237	1:15.48	4	5.136
Фокус Нэсмита 2	37453	1:14.40	4	5.500
Фокус Кассегрена	42698	1:16.42	4	4.830
Фокус Кудэ	105428	1:40.70	1.7	1.960

Как видно из таблицы, система Кассегрена по оптическим параметрам сильно не отличается от системы Нэсмита. Но надо отметить, что оснащение телескопа системой Кассегрена по приближенным оценкам на 30% повысило пропускание оптики телескопа (было устранено диагональное плоское зеркало системы Нэсмита). Кроме того, на 25—30% повысился коэффициент использования фокуса Кассегрена. Во время наблюдений в фокусе Кассегрена отпадает необходимость использования подъемных механизмов для приближения наблюдателя к светоприемной аппаратуре. С созданием системы Кассегрена стало возможным проведение поляриметрических наблюдений, которые в системе Нэсмита связаны с дополнительными трудностями и ошибками, вносимые плоским диагональным зеркалом [12].

Создание системы Кассегрена способствовало также внедрению новых, более рациональных решений некоторых конструктивных вопросов, связанных с юстировкой диагонального плоского зеркала системы Нэсмита. Полностью был видоизменен механизм юстировки этого зеркала, в результате чего он стал более технологичным.

В течение 1984 г. параллельно с юстировочными работами, которые выполнялись, в основном, с использованием метода Гартмана, проводились работы по исследованию всех основных оптических систем телескопа, кроме системы Кудэ. Первый этап этих исследований завершился в середине 1986 г.

Телескоп ЗТА-2.6 м оснащен диафрагмой Гартмана с радиальным расположением отверстий. Диаметр отверстий и их взаимное расположение рассчитаны согласно условиям М. Романовой [13]. Конструктивные данные диафрагмы приведены на рис. 1. Диафрагма размещается на верхнем кольце телескопа.

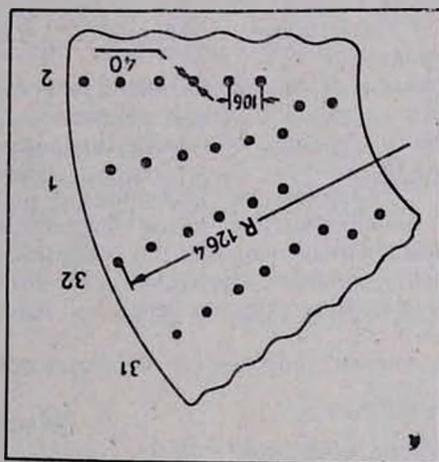


Рис. 1. Конструктивные данные и схема расположения отверстий штатной диафрагмы Гартмана телескопа ЗТА-2.6 м

а) Качество второго главного зеркала и его юстировка. Главное зеркало телескопа ЗТА-2.6 м параболическое, с диаметром 2.6 м и с фокусным расстоянием 9965 мм. Оно изготовлено из ситалла.

Результаты цеховых исследований качества зеркала наряду с результатами наших исследований, проведенные на телескопе методом

исследованиями были получены как одиночные, так и двойные снимки-гартманогрaммы. Расстояние между предфокальными и зафокальными снимками составляло 360 мм. В ходе проведения наших исследований, в общей сложности, было получено 14 одиночных и 97 двойных гартманогрaммы с экспозициями от 30^с до 2^м. Из них были отобраны и обработаны 157 лучших гартманогрaммы. Измерения координат изображений отверстий проводились на измерительном микроскопе «Аскорекод». Обработка проводилась на ЭВМ ЕС-1030 по программе, разработанной в ЛИТМО.

Гартмана, приведены в табл. 2. Данные исследований зеркала на телескопе получены усреднением результатов обработки 16 двойных гартманогрaмм. Разброс в значениях аберраций не превосходит 0,2 длины волны ($\lambda=546$ мкм). В цеху зеркало исследовалось двумя различными интерференционными методами и методом Гартмана.

Результаты цеховых исследований показывают, что зеркало как по концентрации энергии, так и по значениям остаточных аберраций, имеет довольно высокое качество.

Картина совершенно изменилась после установки главного зеркала на телескоп. Величины комы и сферической аберрации находятся в пределах допустимых значений. Значение астигматизма более чем в пять раз превышает допуск на эту аберрацию. Появлением повышенного астигматизма и объясняется понижение концентрации энергии в кружке рассеяния по сравнению с цеховыми результатами. После включения в расчеты астигматизма концентрация повышается до уровня цеховых значений, что следует из результатов (табл. 3) обработки пары гартманогрaмм № 506—507.

Таблица 2

Качество главного зеркала телескопа ЗТА-2,6 м

Метод контроля	Энергия, %		Аберрации Зайделя 3—го порядка в дл. волны ($\lambda=546$ мкм)		
	0.5	1	Кома	Сферическая	Астигматизм
Гартмана	88	96	0.193	-0.047	0.278
Интерференционный 1	86	94	0.003	-0.016	0.273
Интерференционный 2	86	95	0.086	-0.106	0.374
Гартмана (на телескопе)	78	88	0.722	-0.458	1.371
Допуски на амплитуды аберраций в дл. волны			0.6	1.0	0.25
Тех. задние на изготовление главного зеркала	70	90			

Таблица 3

Результаты обработки пары гартманогрaмм № 506—507

Диаметр кружка рассеяния, в уг. с	Концентрация энергии без исключения астигматизма	Концентрация энергии после исключения астигматизма
0.5	56	80
1.0	85	92

Причиной повышенного астигматизма может быть различие технологических и штатных разгрузочных механизмов, чем можно объяснить также и небольшое повышение величины сферической аберрации.

Картина астигматизма хорошо видна на рис. 2, где приведена карта отклонений поверхности зеркала от расчетной в мкм.

Изучение внефокальных изображений ярких звезд, а также и детальное рассмотрение мест сосредоточения наибольших по модулю поперечных аберраций показывают, что другой по величине после астигматизма ошибкой поверхности главного зеркала телескопа является резкий завал наружного края зеркала. Предфокальные изображения ярких звезд имеют разрежение почернения по краям, а зафокальные—

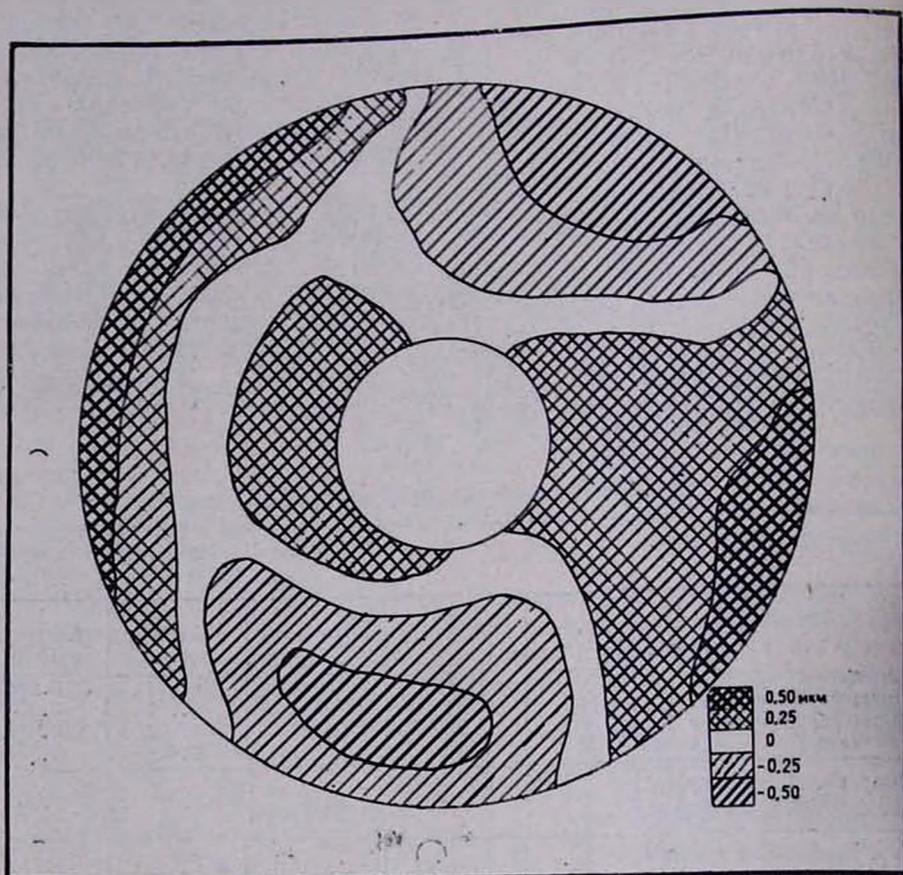


Рис. 2. Карта отклонений поверхности зеркала от расчетной в мкм

уплотнение. Такая характерная картина может получиться только при наличии завала наружного края зеркала. В пользу данного объяснения говорит и тот факт, что после закрытия края зеркала диафрагмой шириною в 150 мм, эффект разрежения и уплотнения краев внефокальных изображений звезд исчезает полностью. Снимки предфокальных изображений звезд приведены на рис. 3.

В табл. 4 приведены концентрации собираемой энергии для отдельных зон зеркала, полученные на основе поперечных aberrаций каждой зоны (ширина зон—53 мм).

Из данных табл. 4 следует, что краевые три зоны шириною в 150 мм значительно уступают по качеству изготовления средним зонам зеркала.

На рис. 4 приведена цеховая интерферограмма зеркала. Значительное искривление интерференционных полос по краям также указывает на наличие завала края.

Следующим доказательством завала края зеркала служит наличие слабого ореола вокруг фокальных изображений звезд.

Приведенное в табл. 3 значение комы показывает, что юстировка главного зеркала хорошая. Величина остаточной комы в 0.7λ несомненно превосходит допустимое (0.6λ).

Таблица 4

Распределение энергии в кружке рассеяния по отдельным зонам
главного зеркала телескопа ЗТА-2.6 м

Диаметр кружки рассея- ния, в уг.с	Средний диаметр зон, мм													
	575	628	681	734	787	840	893	946	999	1052	1105	1158	1211	1264
	Энергия, %													
0.25	6	6	19	6	13	6	13	25	6	13	19	6	13	6
0.50	33	50	37	31	38	38	31	44	25	50	44	38	13	13
1.00	65	75	87	56	94	88	75	81	69	69	75	50	31	31
1.50	86	94	100	94	94	100	94	94	100	88	88	88	44	56
2.00	91	100	100	100	94	100	100	94	100	100	88	100	63	69
2.50	96	100	100	100	94	100	100	94	100	100	100	100	81	81

Резюмируя сказанное, можно прийти к выводу, что второе главное зеркало телескопа ЗТА-2.6 м обладает астигматизмом порядка 1.5λ и сферической аберрацией—около 0.5λ . Кроме того, имеется завал наружного края зеркала. Устранение указанных недостатков требует торичной цеховой обработки поверхности зеркала с более высокой точностью, чем была применена первоначально.

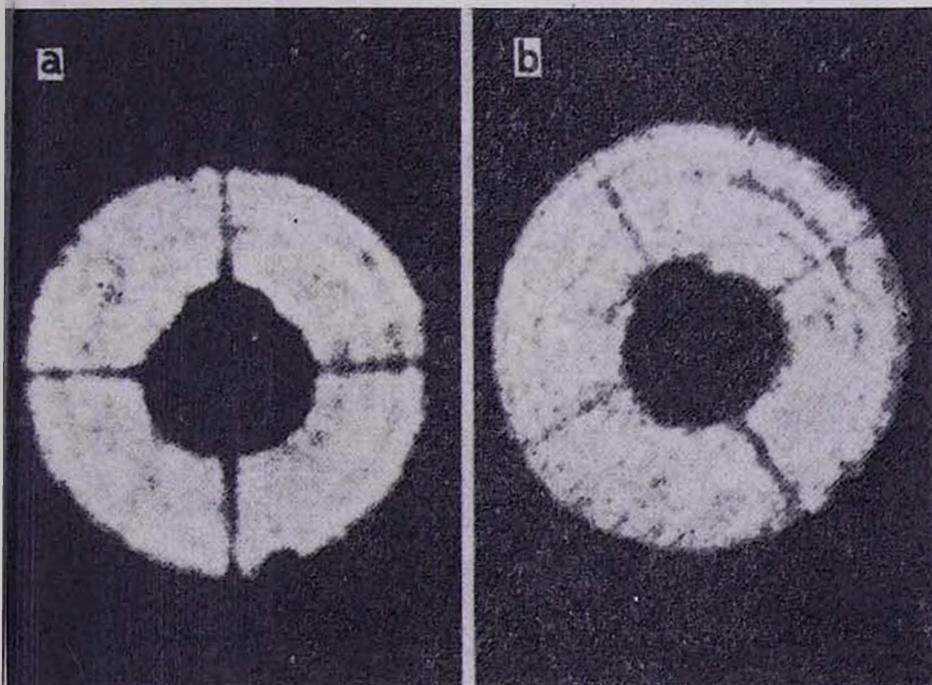


Рис. 3. Предфокальные снимки ярких звезд: а—полностью открытое зеркало, б—край зеркала задиафрагмирован на 100 мм

б) Качество изображений в системах Кассегрена и Нэсмита. Результаты исследования методом Гартмана систем Кассегрена и Нэсмита телескопа приведены в табл. 5, из которой следует, что величины остаточной комы находятся в пределах допустимых значений и юс-

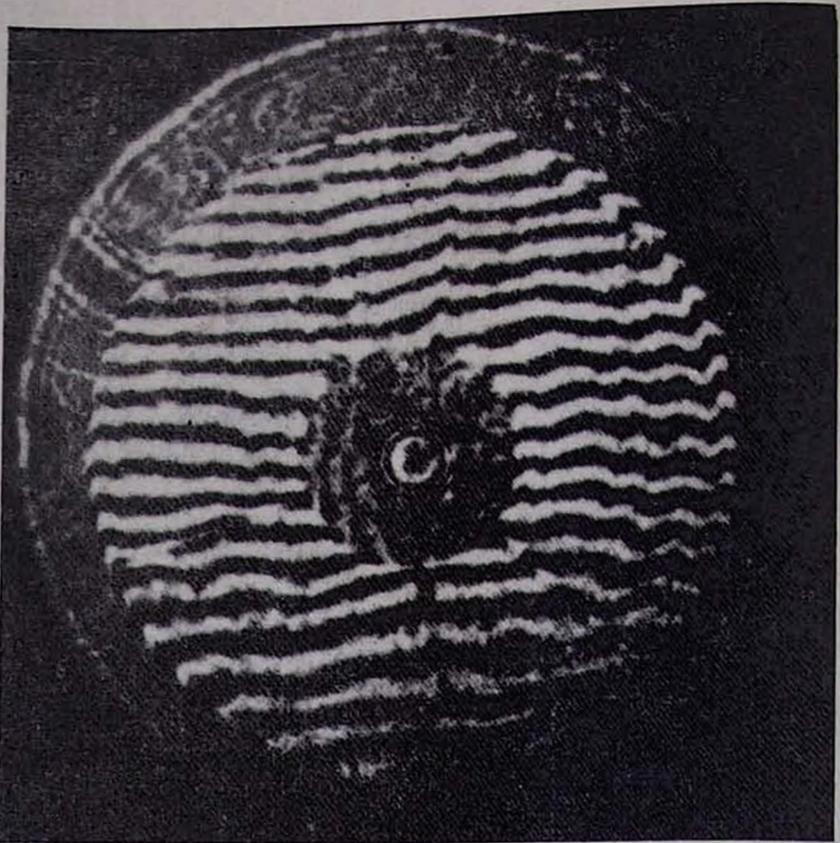


Рис. 4. Цеховая интерферограмма главного зеркала телескопа ЗТА-2.6 м

тировка этих систем выполнена качественно. Кроме того, как следует из приведенных значений концентрации энергии в кружке рассеяния, вторичное гиперболическое зеркало значительно не ухудшает изображения, что свидетельствует в пользу его высококачественного изготовления. Небольшое повышение величины сферической aberrации в системе Кассегрена является следствием уменьшения воздушного зазора между главным и вторичным зеркалами, которое требовалось для обеспечения выноса фокальной плоскости на требуемое расстояние за главным зеркалом.

Таблица
 Качество оптических систем Кассегрена и Нэсмита телескопа ЗТА-2.6 м

Оптическая система	Энергия, %		Аберрации Зайделя 3-го порядка в дл. волны		
	0.5	1	Кома	Сферическая	Астигматизм
Кассегрена	55	83	0.731	-0.716	1.404
Нэсмит 1	53	85	0.726	-0.560	1.035
Допуски на амплитуды аберраций в дл. волны			0.6	1.0	0.25

Вторичное гиперболическое зеркало рассчитано специально для системы Нэсмита. Обсерватория заказала в ЛОМО новую гиперболу для системы Кассегрена. Предполагается для его изготовления использовать плавленный кварц.

3. Точностные и эксплуатационные характеристики телескопа. Точностные характеристики наведения телескопа обычны для сельсинных систем и ошибки не превосходят ± 15 — 20 уг. с по обоим координатам. Следящая система телескопа кварцевая с дополнительным фотогидом для наблюдений в главном фокусе. В ближайшее время предусмотрено завершить переоборудование фотогида для обеспечения фотогидирования во время спектральных наблюдений в фокусе Кассегрена. Кроме того, завершаются работы по оснащению телескопа телевизионной системой «Карат», которая предназначена для офсетного гидирования в первичном фокусе телескопа и для гидирования на щели спектрографа в системе Кассегрена.

Десятилетний период эксплуатации телескопа ЗТА-2.6 м показывает высокое качество разработки и изготовления его механических и электрических систем, надежность которых высокая. Значительных неполадок за время эксплуатации не проявлялось.

4. Астроклиматические характеристики комплекса телескопа ЗТА-2.6 м. По количеству ясных ночей Бюраканская астрофизическая обсерватория особенно не выделяется среди обсерваторий Закавказья. Среднее количество ясных ночей в году (вместе с лунными ночами) составляет 100—120. По многолетним оценкам Бюраканских наблюдателей размеры изображений заключены, в среднем, в пределах $2''$ — $2''.5$.

Особенно неблагоприятным фактором для наблюдений в Бюракане является повышенный фон ночного неба, основным источником которого является уличное освещение близлежащих населенных пунктов—г. Ереван, Араратская долина, г. Аштарак и с. Бюракан. Согласно нашим электрофотометрическим оценкам [14], а также и по результатам измерений астрономов наблюдательной станции АО ЛГУ, в Бюракане в зените в безлунные ночи свечение ночного фона в настоящее время по сравнению с 1976 г. увеличилось на 1^m и составляет $21^m.3$ с квадратной секунды в полосе В системы UVV. Эта величина повышается на $0^m.5$ — 1^m на зенитных расстояниях 40° — 50° , в зависимости от азимута. Приведенное значение фона приблизительно на 1^m превышает соответствующую величину фонового свечения естественного происхождения. Ясно, что на 1^m — 2^m снижаются и предельные характеристики телескопа в зависимости от зенитного расстояния и азимута наблюдаемой области. По нашим оценкам предельная величина телескопа на прямых снимках, полученных на фотопластинках Kodak 103 аО без фильтра с 30-минутной экспозицией в зените при хороших изображениях составляет $21^m.5$. В фокусе Кассегрена, в подсмотре поля спектрографа уверенно можно отождествлять и наводить щель на звезду предельной величины $17^m.5$.

Оценки качества изображений, проводимые нами на щели спектрографа UAGS в фокусе Кассегрена телескопа ЗТА-2.6 м, показывают систематическое ухудшение изображений в летние периоды относительно зимних. Причина этого явления связана с низкими астроклиматическими свойствами башни и купола телескопа. С целью детального исследования терморегима всего комплекса была разработана, изготовлена и смонтирована система цифровых термометров с возможностью квазисовременного опроса температуры в сорока точках башни, купола и телескопа. Измерения температуры проводи-

лись в сентябре-ноябре 1986 г., а также январе 1987 г. Отсчеты температуры снимались круглосуточно, с интервалом времени в один час. Результаты этих исследований показывают, что в зависимости от средней температуры и облачности неба, в среднем, ночью при открытом куполе температура подкупольного пространства стабилизируется на $2^{\circ}-8^{\circ}$ С выше от наружной. Более теплое подкупольное пространство способствует возникновению неоднородных воздушных потоков теплого воздуха из подкупольного пространства наружу, в результате чего ухудшаются изображения. Указанный градиент температуры уменьшается зимой.

Возникновению больших градиентов температуры способствует наличие нескольких факторов, главными из которых являются: а) отсутствие конвекционного теплообмена подкупольного пространства с наружной средой при закрытом куполе, б) отсутствие пассивной защиты всего комплекса от прямого излучения Солнца, в) использование сравнительно теплоемких конструкционных материалов при изготовлении купола и в строительстве башни. Для устранения больших градиентов предусматривается кондиционирование воздуха в подкупольном пространстве. Кроме того, проектируется теплозащитный дюралюминиевый экран, который будет экранировать башню от прямого излучения Солнца. Предусмотрено также окрасить купол и защитный экран башни краской с высоким коэффициентом отражения. Все эти меры должны способствовать поддержанию стабильной, близкой к ночной, температуры в подкупольном пространстве.

5. Основные методы наблюдений. В настоящее время на телескопе ЗТА-2.6 м возможно проведение наблюдений со следующими основными методами: а) фотографические прямые наблюдения в главном фокусе с корректором 47-минутного поля. Кассеты фотопластинок размером 16×16 см оснащены широкополосными светофильтрами системы UBVR, б) спектральные наблюдения в фокусе Кассегрена и Нэсмита со спектрографом UAGS. Спектрограф оснащен ЭОПом УМК-91 В конструкции САО [15], в) спектральные наблюдения в фокусе Нэсмита со спектрографом АСП-32 с широким диапазоном дисперсий. Светоприемником для спектрографа служит фотопластинка. Намечается оснащение спектрографа АСП-32 ЭОПом типа УМК-91 В, г) электрофотометрические UVV наблюдения в фокусах Кассегрена и Нэсмита с помощью одноканального электрофотометра венгерского производства. Электрофотометр управляется микроЭВМ, запись результатов проводится на гибкие диски.

Проводятся работы для приобретения и оснащения спектрографов телескопа телевизионной светоприемной системой «Квант».

Согласно решению Ученого Совета Бюраканской астрофизической обсерватории 60% наблюдательного времени на телескопе ЗТА-2.6 м отводится для выполнения девяти долгосрочных наблюдательных программ, охватывающих широкий круг астрофизических задач. Например, ведущаяся автором данной работы программа «Спектральное исследование голубых и красных звездных объектов Первого Бюраканского обзора неба» содержит несколько тысяч объектов и рассчитана на 5 лет.

Около 10% наблюдательного времени распределяется по решению КТШТ, 10% отводится на техническое обслуживание телескопа, а остальные 20% времени предоставляются для выполнения краткосрочных программ.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить благодарность Л. И. Снежко и Р. Е. Гершбергу за ценные советы в ходе вы-

полнения этой работы. Автор искренне признателен Ю. Л. Шахбазяну за оказанную помощь в создании системы Кассегрена, а также и В. В. Усоскину за предоставление обсерватории разработанной им вычислительной программы метода Гартмана.

3 августа 1987 г.

2. Վ. ԱՐՐԱՀԱՄՅԱՆ

ՉՏԱ-2.6 Մ ԱՍՏՂԱԴԻՏՏԱԿԻ ՕՊՏԻԿԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ:
ԱՍՏՂԱԴԻՏՏԱԿԻ ՎՐԱ ԿԱՏԱՐՎՈՂ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԸ ԵՎ ՀԵՌԱՆԿԱՐՆԵՐԸ

Հարամանի մեթոդով ուսումնասիրվել է Բյուրականի աստղադիտարանի ՉՏԱ-2.6 մ աստղադիտակի հիմնական օպտիկական համակարգերի որակը: Բերված են գլխավոր հայելու ալիքային արեբացիաների արժեքները: Դիտարկված են աստղադիտակի աշտարակի և գմբեթի աստղակլիմայի հարցերը:

H. V. ABRAHAMIAN

THE RESULTS OF ZTA-2.6 M TELESCOPE OPTICS STUDY. WORK BEING CARRIED ON AT THE TELESCOPE AND PERSPECTIVES

The quality of the main optical systems of the Byurakan observatory 2.6 m telescope with the help of Gartman's method is investigated. The wave aberration values of the main mirror are given. The problems of the astroclimate of the telescope tower and the dome are discussed.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Hartmann, Zts. f. Instrkunde, 20, 51, 1900.
2. N. U. Mayall, S. Vastlevskis, Astron. J., 65, 304, 1960.
3. В. А. Заверев, С. А. Родионов, М. Н. Сокольский, В. В. Усокин, Опт. мех. пром., 2, 18, 1977.
4. В. А. Заверев, С. А. Родионов, М. Н. Сокольский, В. В. Усокин, Опт. мех. пром., 3, 3, 1977.
5. В. В. Заверев, С. А. Родионов, М. Н. Сокольский, В. В. Усокин, Опт. мех. пром., 4, 3, 1977.
6. Э. А. Витриченко, Ф. К. Катагаров, В. Г. Липовецкая, Изв. САО, 7, 167, 1975.
7. Л. И. Снежко, АЖ, 56, 1094, 1979.
8. Л. И. Снежко, АЖ, 57, 869, 1980.
9. Л. И. Снежко, Изв. САО, 14, 3, 1981.
10. Р. Е. Гершберг, К. Я. Лилоренко, В. И. Проник, Изв. КрАО, 67, 132, 1983.
11. И. В. Ильин, Изв. КрАО, 73, 176, 1985.
12. Г. В. Абрамян, Л. Г. Ахвердян, Р. А. Варданян, Г. А. Погосян, Сообщ. Бюраканской обс., 52, 91, 1980.
13. М. В. Романова, Труды ГОИ, 4, 1, 1927.
14. Г. В. Абрамян, Л. Г. Ахвердян, Сообщ. Бюраканской обс., 50, 50, 1978.
15. Г. И. Брюховец, Л. В. Гавягин, Э. И. Зак, С. В. Липатов, А. Е. Мелидид, В. А. Миллер, В. С. Рылов, Б. М. Степанов, Т. А. Скоцирская, Е. И. Титков, Астрофизика, 21, 378, 1984.