

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ 2-М ТЕЛЕСКОПА НА ПІКУ ТЕРСКОЛ

Г. З. Бутенко¹, В. І. Кузнецов¹, Л. І. Снежко², В. М. Андрук³, О. В. Сергеев¹

¹ Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України
вул. Заболотного, 27, Київ, 03680, Україна

² Спеціальна астрофізична обсерваторія Російської академії наук
357147, Карачаєво-Черкеська Республіка, Зеленчуцький р-н,
сел. Нижній Архиз

³ Головна астрономічна обсерваторія НАН України
вул. Заболотного, 27, Київ, 03680, Україна

(Отримано 5 серпня 2002 р.; в остаточному вигляді — 9 вересня 2002р.)

Подано результати атестації методом Гартмана оптичної системи Касегрена для 2-м телескопа обсерваторії піка Терскол Міжнародного центру астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України. Оптична система Касегрена 2-м телескопа на піку Терскол є класичною системою Річі-Кретьєна з компенсованою комою та сферичною аберацією. Коректор астигматизму компенсує польовий астигматизм. Кружок розсіяння з 80% енергії для системи з коректором астигматизму досягає $d_{0,8} = 1.''3$. Виключення абераций Зайделя дає $d_{0,8} = 0.''7$, що близьке до цехового значення. Проведено попереднє дослідження оптики 2-м телескопа у фокусі куде. Отримані результати демонструють хорошу якість оптичної системи фокуса куде та її юстування.

Ключові слова: оптичні системи, метод Гартмана, аберації.

PACS number(s): 42.15-i, 42.15.Fr, 42.15.-d, 95.55.Cs

I. ВСТУП

У межах спільної програми Міжнародного центру астрономічних та медико-екологічних досліджень і Спеціальної астрономічної обсерваторії Російської академії наук було проведено дослідження оптики 2-м телескопа на піку Терскол (Кабардино-Балкарська Республіка, висота 3125 м над рівнем моря, координати: 43.27631 град. пн. ш. і 42.49939 град. сх. д.). Роботи виконували з метою атестації та надання рекомендацій для остаточного юстування оптичної системи телескопа.

II. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ 2-М ТЕЛЕСКОПА

2-м телескоп (2МТ) піка Терскол — телескоп системи куде Річі-Кретьєна. Він призначений як для фотографування неба на великому полі, так і для детальних досліджень окремих об'єктів за допомогою спектрографа чи фотометра.

Система Річі-Кретьєна складається з головного гіперболічного та вторинного параболічного дзеркал. Для корекції астигматизму використовують двокомпонентну систему з кварцу, яка складається з асферичної корекційної пластини й полеспрямляючої лінзи та забезпечує відмінну якість зображення по всьому досліджуваному полю. Система куде є комбінацією головного дзеркала, вторинного дзеркала куде та двох плоских дзеркал.

Технічні дані оптичних систем 2-м телескопа [1]:
головне дзеркало:

- вільний отвір 2000 мм;
- фокусна відстань 5600 мм;
- система Річі-Кретьєна:
- еквівалентна фокусна відстань 16000 мм;
- поле, вільне від віньєтування 1.18° ;
- система куде :
- еквівалентна фокусна відстань 72000 мм;
- поле, вільне від віньєтування $5'$.

Телескоп обладнано декількома сучасними інструментами для астрономічних спостережень. Для кометних досліджень, широкосмугової і вузькосмугової фотометрії об'єктів на 2МТ успішно використовують двоканалний фокальний редуктор Інституту аерономії товариства М. Планка (ФРН), який установлено у фокальній площині системи Касегрена [2]. У фокусі куде поміщено сучасний куде-ешеле спектрометр з ПЗЗ-приймачами зображення [3].

III. ОБРОБКА СПОСТЕРЕЖНОГО МАТЕРІЯЛУ

Вивчення оптики фокуса Касегрена [4,5] та попередні дослідження оптичної системи фокуса куде 2МТ проводили за методом Гартмана. Ідея методу полягає в розбитті хвильового фронту на окремі пучки світла за допомогою діафрагми з отворами та подальшому аналізі слідів цих пучків на приймачі,

розміщеному поблизу фокуса. Спостереження здійснювали протягом 1999–2001 рр. Для одержання знімків гартманогам використовували чорно-білу фотоплівку “Свема-64”, “Фото-32”. Вимірювали астронегативи на автоматичному цифровому мікрофотометрі АЦМФ-ХУ [6] з просторовим розділенням 50×50 мкм. Попередню підготовку даних, що зводилась до отримання прямокутних координат та інструменталь-

них величин (зображень отворів діяфрагми Гартмана), робили за допомогою програмного пакета MIDAS/ROMAFOT (операційна система LINUX) методом штучного розширення динамічного діапазону інструментальних фотометричних величин [7]. На рис. 1 показано процес обробки просканованих зображень.

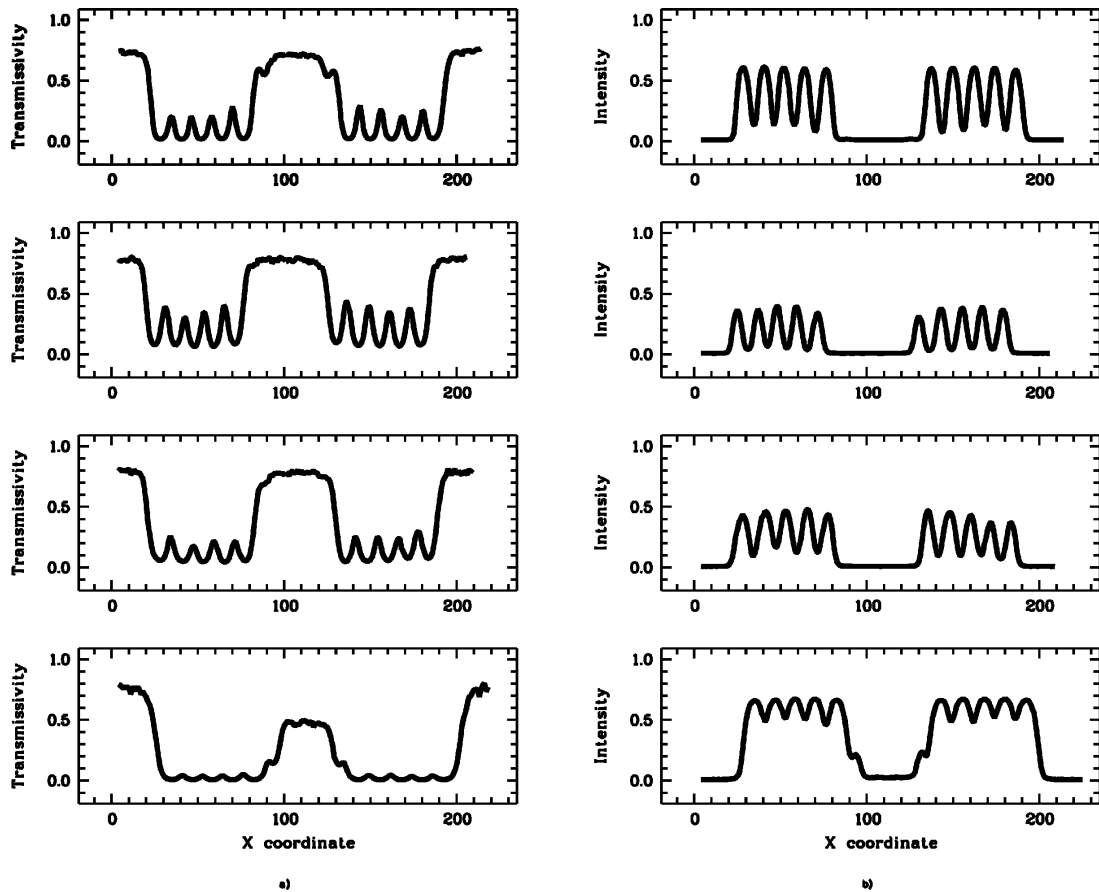


Рис. 1. Обробка зображень діяфрагми Гартмана методом розширення динамічного діапазону.

Для знаходження аберацій Зайделя 3-го порядку у фокусі Касегрена та аналізу хвильового фронту використовували метод сумісної обробки двох гартманогам (до- та зафокальної), який було розроблено для 6-м великого азимутального телескопа [8]. Метод мінімізує систематичні та випадкові помилки експерименту і дає змогу отримувати дані про ефективну фокусну відстань інструмента спостережень. Щоб підвищити надійність визначення аберацій Зайделя для оптики фокуса Касегрена, дослідження виконували не тільки для центру поля, але й у позаосьових точках, з коректором астигматизму і без нього. Попереднє вивчення оптики у фокусі куде було проведено за аналізом лише зафокальних знімків без використання коректора астигматизму. Отриманий багатий матеріал дозволив дослідити якість конст-

рування оптичної системи та дати рекомендації з юстування телескопа.

IV. ОПТИЧНА СИСТЕМА ФОКУСА КАСЕГРЕНА

Результати дослідження оптики 2-м телескопа у фокусі Касегрена подані в [4,5]. Якість зображення в центрі поля системи без коректора астигматизму характеризується діаметром кружка розсіяння, що містить 80% енергії $d_{0,8} = (1.04 \pm 0.4)$ кут. сек.

На рис. 2 зображено векторні діаграми аберацій Зайделя для системи з коректором астигматизму та без нього.

Видно, що в системі без коректора домінує польовий астигматизм з амплітудою, яка лінійно росте до краю поля, та фазою, що міняється на 90° при зміні положення точки в полі на 90° . Наявна постійна кома та невелика сферична аберация.

У цілому аналіз отриманих результатів для системи без коректора астигматизму привів до таких ви-

сновків:

- система фокуса Касегрена є класичною дводзеркальною системою з некомпенсованим астигматизмом;
- наявна постійна кома, що є результатом недостатнього юстування системи.

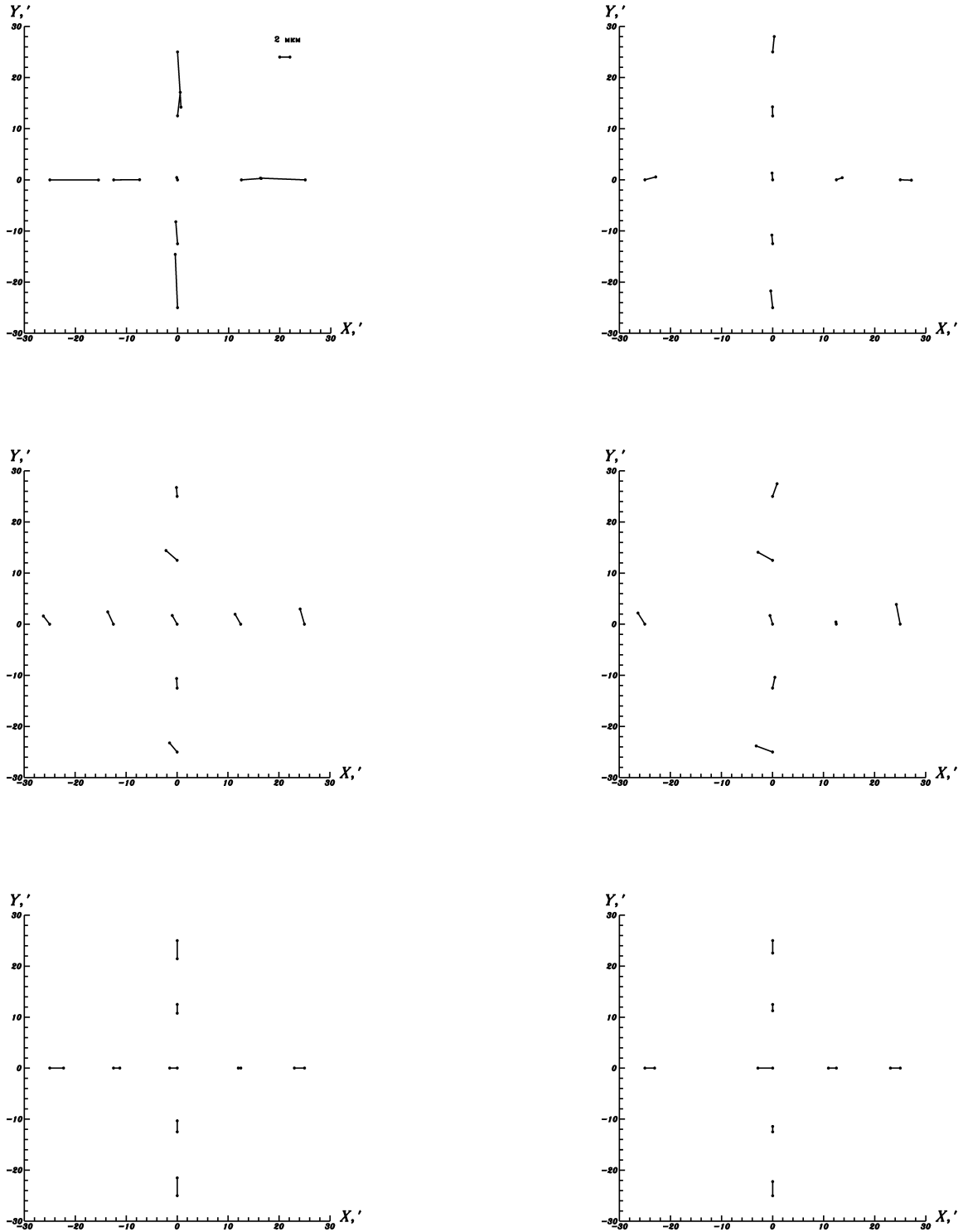


Рис. 2. Векторні діаграми абераций Зайделя фокуса Касегрена для систем без та з коректором астигматизму (астигматизм, кома, сферична аберация).

Після виключення аберацій Зайделя можна досягти значення кружка розсіяння $d_{0.8} = 0.6$ кут. сек., що близьке до цехового значення.

Для виправлення польового астигматизму 2-м телескопа на піку Терскол використано корекційну пластину, що встановлюється поблизу головного дзеркала. З векторних діаграм аберацій Зайделя (рис. 2) видно, що коректор астигматизму виконує своє функціональне призначення: польовий астигматизм значно зменшився. Аналіз залежності амплітуди астигматизму від паралактичного кута [5] дав змогу пояснити залишковий астигматизм механічною деформацією дзеркала під дією сили тяжіння. По полю домінує кома з амплітудою $A_{31} = 2.42 \pm 1.08$ мкм, що є, найвірогідніше, результатом децентрування системи; також спостерігається незначна сферична аберація. Діаметр кружка розсіяння з концентрацією енергії 80% становить $d_{0.8} = (1.52 \pm 0.05)$ кут. сек., після виключення коми — $d_{0.8} = (1.21 \pm 0.06)$ кут. сек., а після виключення всіх трьох аберацій — $d_{0.8} = (0.76 \pm 0.01)$ кут.сек. Аналіз розмірів кружків розсіяння по полю показав, що коректор астигматизму впливає на концентрацію енергії в зображенні: при виключенні всіх аберацій Зайделя $d_{0.8} = (0.82 \pm 0.10)$ кут. сек на відстані $25'$ від центру. При роз'юстуванні оптичної системи виникають насамперед аберації Зайделя 3-го порядку. Симетрія астигматизму (рис. 2) свідчить про задовільне центрування системи. Наявність постійної за величиною та напрямком коми вказує на те, що це не польова кома, а результат залишкового децентрування. З аналітич-

ної теорії дводзеркальних систем зміщення, необхідні для компенсації коми, становлять $\Delta X = 1.3$ мм, $\Delta Y = -0.7$ мм. Аналогічні результати отримано при моделюванні поведінки системи при різних абераціях за допомогою пакета "Optcom", що дозволяє аналізувати якість зображення при довільних децентруваннях та нахилах дзеркал.

V. ОПТИЧНА СИСТЕМА ФОКУСА КУДЕ

Особливістю експерименту у фокусі куде є відсутність від'юстованих місць для закріплення апаратури та їхня тіснота в щільній частині штатного спектрометра. Тому зразу ж відмовились від отримання дофокального знімка. Виключення неперпендикулярності зафокальних знімків досягали юстуванням апаратури для спостережень. Спостереження проводили лише для центру поля (невиньотоване поле для фокуса куде становить $5'$). Гартманограми вимірювали кількома незалежними операторами на вимірювальній машині "Аскорекорд". Точність отриманих результатів 4 мкм, що відповідає 0.08 кут. сек. Якість зображення, що створюється оптикою фокуса куде, становить $d_{0.8} \leq (1.8 \pm 0.2)$ кут. сек.

Виключення аберацій Зайделя дає значення: $d_{0.8} \leq (1.55 \pm 0.2)$ кут.сек. Ця величина вносить обмеження на мінімальний розмір щілини ешелеспектрометра, розміщеного у фокальній площині системи куде. Одержані значення аберацій Зайделя наведено в табл. 1.

| | A40, мкм | A31, мкм | Ф31, град | A22, мкм | Ф22, град |
|------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|-------------|
| 1-ша серія | 1.87 ± 0.29 | 2.41 ± 0.39 | -83 ± 12 | 1.13 ± 0.51 | 19 ± 26 |
| 2-а серія | 2.20 ± 0.04 | 1.11 ± 0.03 | 34 ± 3 | 0.44 ± 0.05 | 72 ± 3 |

Таблиця 1. Аберації Зайделя для системи фокуса куде.

У хвильовому фронті домінує сферична аберація ($A_{40} = 2$ мкм), величини коми та астигматизму близькі до аналогічних величин для фокуса Касегрена. Відмінність значень для коми та астигматизму, отриманих у різних серіях спостережень, пояснюємо зміною кута нахилу площини установки для одержання гартманограм до оптичної осі системи фокуса куде. На рис. 3 показано каустичні криві для кількох знімків. Видно, що мінімуми каустики для всіх кривих дуже гладкі, зміщення зображень уздовж осі в межах ± 3 мм практично не змінює концентрації енергії в ньому. Це вказує на те, що в деградації зображення головну роль відіграють не аберації Зайделя, а дрібномасштабні помилки хвильового фронту. В цілому проведене дослідження показали, що немає великих помилок юстування оптики куде.

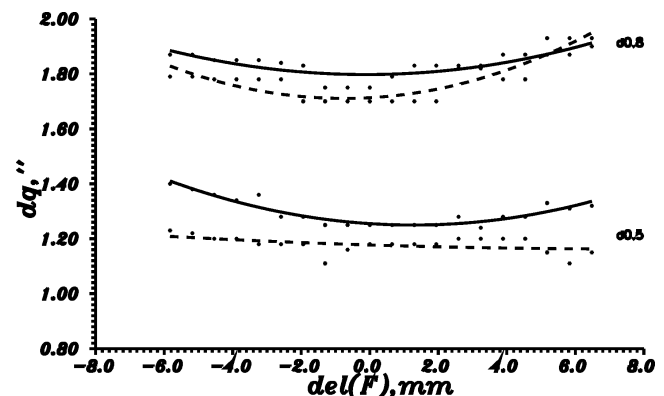


Рис. 3. Каустичні криві двох гартманограм для різних рівнів концентрації енергії.

VI. ВИСНОВКИ

– Оптична система Касегрена є класичною дво-дзеркальною системою з некомпенсованим астигматизмом;
 – коректор астигматизму виконує своє функціональне призначення. Залишковий астигматизм пояснюється проявом сили тяжіння, що спричиняє механічні деформації поверхні дзеркал під її дією;
 – якість зображення оптики системи Касегрена близька до цехових норм і становить $d_{0,8} = (0.6 \pm$

$0.04)$ кут. сек.;

– кружок розсіяння, що створюється оптичною системою куде, досягає значення $d_{0,8} = (1.6 \pm 0.2)$ кут. сек.;

– постійна кома є результатом недостатнього юстування системи;

– юстувальні зміщення для компенсації коми становлять $\Delta X = 1.3$ мм, $\Delta Y = -0.7$ мм.

Автори виносять подяку В. Г. Парусимову, Т. Б. Дудник та Ю. С. Иванову за допомогу в обробці спостережень.

-
- [1] V. Tarady, Ya. Yatskiv, *Astron. Astrophys. Trans.* No. 13, 19 (1997).
 [2] K. Jockers, T. Chedner, T. Bonev, N. Kiselev, P. Korsun, I. Kulyk, V. Rosenbush, A. Andrienko, N. Karpov, A. Sergeev, V. Tarady, *Kinematics Phys Celest. Bodies. Supplement.* No. 3, 13 (2000).
 [3] Ф. А. Мусаев, Г. А. Галатзутдинов, А. В. Сергеев, Н. В. Карпов, Ю. В. Подьячев, *Кинем. физ. небес. тел.* **15**, №3, 282 (1999).
 [4] Г. З. Бутенко, В. И. Кузнецов, Л. И. Снежко, *Кинем. физ. небес. тел.* **15**, №6, 543 (1999).
 [5] Г. З. Бутенко, В. И. Кузнецов, Л. И. Снежко, А. В. Сергеев, В. Н. Андрук, В. Г. Парусимов, Т. Б. Дудник, Ю. С. Иванов, *Кинем. физ. небес. тел.* **17**, №1, 71 (2001).
 [6] В. Г. Парусимов, *Астрометрия и астрофизика* Вып. 45, 86 (1981).
 [7] В. М. Андрук, В. Г. Парусимов, Т. Б. Дудник, *Кинем. физ. небес. тел. Приложение* №1, 100 (1999).
 [8] Л. И. Снежко, *Астрон. журн.* **57**, 869 (1980).

INVESTIGATION OF THE OPTICAL SYSTEMS OF THE 2-m TELESCOPE AT THE TERSKOL PEAK

G. Z. Butenko¹, V. I. Kuznetsov¹, L. I. Snezhko², V. M. Andruk², A. V. Sergeev¹

¹*International Center for Astronomical and Medico-Ecological Research,
 27 Akademik Zabolotny Str., Kyiv, UA-03680, Ukraine,*

²*Special Astrophysical Observatory of Russian Academy of Sciences,
 Karachayevo-Cherkesk Republik, Zelenchuk region,
 Nizhnii Arkhyz, 357147, Russia,*

³*Main Astronomical Observatory NAS of Ukraine,
 27 Akademik Zabolotny Str., Kyiv, UA-03680, Ukraine*

e-mail: butenko@mao.kiev.ua, snezhko@sao.ru, andruk@mao.kiev.ua

We present the Hartmann image to attestate the Cassegrain focus optics of the 2-m telescope of the Peak Terskol Observatory of the International Center for Astronomical and Medico-Ecological Research. The Cassegrain focus optics is a classical Ritchey–Chretien system with compensated coma and spherical aberration. The astigmatism corrector compensates for the system field astigmatism. Star images formed by the system with the astigmatism corrector are characterized by $d_{0,8} = 1.''3$, witch does not meet the present-day requirements. The constant coma followed by the spherical aberration are dominating. The astigmatism is the least distortion of the image. Eliminating the Zeidel aberrations gives $d_{0,8} = 0.''7$, which coincides with manufacturer attestation. An additional adjustment should be made to achieve this image quaity. Local wavefront errors including triangular astigmatism are small, which testifies that the unloading and fastening of the mirrors are of a high quality. Preliminary investigation of the optics of the 2-m telescope in the coude focus is performed. Results of this investigation demonstrate about satisfactory quality of the optics and adjustment of the optical system.