

UDC 520. 272.2 : 621.37

DOI: 10.53297/18293336-2025.1-110

**PROGRAM SIMULATION OF MEASURING POSITIONING
INACCURACIES OF THE LARGE REFLECTOR PANELS OF THE ROT-
54/2.6 RADIO-OPTICAL TELESCOPE ANTENNA
USING A LASER RANGEFINDER**

N.H. Hambardzumyan

National Polytechnic University of Armenia

During its long-term preservation, various physical-mechanical and radio-technical parameters of the ROT-54/2.6 radio-optical telescope have likely deviated from their original values due to the influence of natural and anthropogenic factors. In recent years, an international team working under the framework of the “Herouni National Space Center” project has committed to the reactivation of the telescope. A comprehensive business plan has been developed, along with a system for addressing the diverse scientific challenges associated with the restoration process.

One of the primary engineering challenges of the reactivation is the reassembly and calibration of the antenna. The first essential stage in this process is the comparative evaluation of the antenna’s current condition against its ideal reference geometry. The magnitude of the detected deviations will directly serve as a correction coefficient during the reassembly process. The general methodological framework includes a set of approaches that allow for reliable technical diagnostics without the need for direct physical intervention.

A particularly critical task is ensuring the precise spherical geometry of the large reflector. In this paper, a measurement methodology is proposed that enables the identification of the overall positional deviation and possible deformation of each panel forming the large spherical reflector. This is achieved by performing measurements at five points on each panel using a laser rangefinder positioned in four predefined locations around the reflector surface.

The article presents a software-based simulation and three-dimensional mechanical analysis of the proposed method, which automates several stages of data processing based on the measurements. A test evaluation has been conducted using randomly generated initial data to assess the radial positional state of the panels composing the large reflector.

The toolset developed based on this methodology is essential for ensuring the precise performance of the antenna. It not only significantly reduces the volume of future physical calibration work, but also lays a technological foundation for the integration of a fully automated control system.

Keywords: radio-optical telescope, ROT-54/2.6, antenna, alignment methods.

Introduction. The ROT-54/2.6 radio-optical telescope was constructed between 1980 and 1987 by a team led by Academician Paris Herouni. The operation of the antenna continued until 2012, after which the instrument was placed in preservation and transferred to the National Body for Standards and Metrology CJSC for safekeeping. During its operational period, several technical parameters were improved, and the method of radio astronomical measurements and research was applied [1-4].

One of the most complex stages in the construction of the radio-optical telescope was the installation of the panels of the large reflector in such a way that the reflector would form a spherical surface. The installation of the panels was carried out using the invar cable method (Fig. 1) [5].

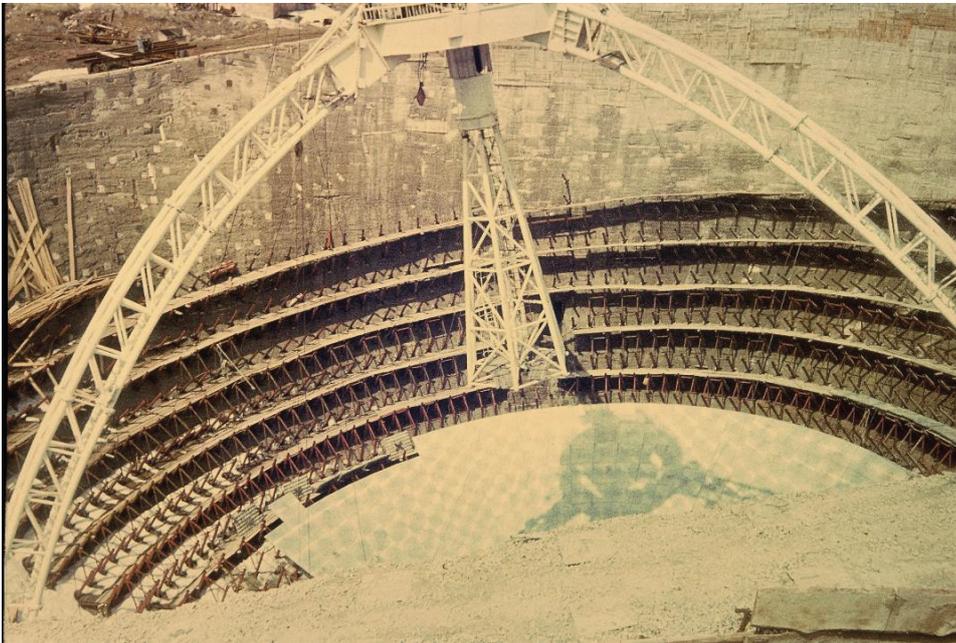


Fig. 1. The process of installing the panels of the large reflector of the antenna

During the preservation period, the telescope was subjected to various natural and anthropogenic influences, which inevitably led to the deterioration of its radio-technical characteristics. These changes require detailed documentation and assessment to ensure that the work plan for the reactivation of the radio-optical telescope's antenna is developed with greater accuracy in terms of time, financial costs, and overall scope.

In recent years, the “Herouni United Space Center” project has been developed. Its professional team intends to reactivate the ROT-54/2.6 radio-optical telescope, and a business plan is in place for this purpose [6]. An international team,

composed of highly qualified specialists from Armenia and abroad, has gathered for the implementation of the project. The project's action plan primarily includes the adjustment and calibration of the antenna [7].

Before performing the measurement operations provided by the comprehensive plan in practice, it is advisable to first design them in a virtual environment, which will subsequently significantly facilitate and automate the actual measurements.

In the author's previous works, the precise three-dimensional model of the antenna and the software simulation for determining the position of the large reflector's center were developed using the C++ programming language. They are presented in [8-10].

This article presents a software simulation for assessing the positional accuracy of approximately 4000 panels of the large spherical reflector.

The problem statement and justification of the methodology. The precise determination of the position of the large reflector's center in the radio-optical telescope's antenna enables the transition to the next step of the adjustment and calibration plan—measuring the radial distance of each panel from the center.

The panel installation mechanism, utilizing four adjustable screw-jack systems, allows for the controlled positioning of each panel. Thus, to clarify the operations that will be performed with the screw-jacks during the actual calibration process, it is necessary to determine the radial distance of each panel in advance.

Studies conducted by researchers working on this issue suggest the use of a laser rangefinder for this purpose [11]. A corresponding measurement methodology has been developed to determine the radial distances of the panels. The actual measurements imply the following sequence of operations:

- the high-precision laser rangefinder must be installed at the exact center of the large reflector of the antenna. However, this is not possible, as the actual center of the large reflector is located within the central part of the tubular section of the metal structure supporting the small reflector (Fig. 2). For this reason, the rangefinder must be installed on this metal structure, but at a certain distance from the center;
- four corner points are identified on each panel, along with the intersection point of the diagonals, which is considered the center of the panel;
- the distance from the center of the large reflector to each of these points is measured using the rangefinder;
- this distance is compared with the ideal data, according to which all edge points of each panel should be exactly 27 meters from the center - the radius of the large reflector;
- five measurements are taken for each point of each panel, and the root mean square (RMS) error of these measurements is calculated;

- in cases where radial inaccuracies in the position of the panel are detected, the corresponding adjustable screw-jack mechanism responsible for that point is corrected. This adjustment must be performed simultaneously with the measurement to assess the result on-site and, if necessary, repeat the correction

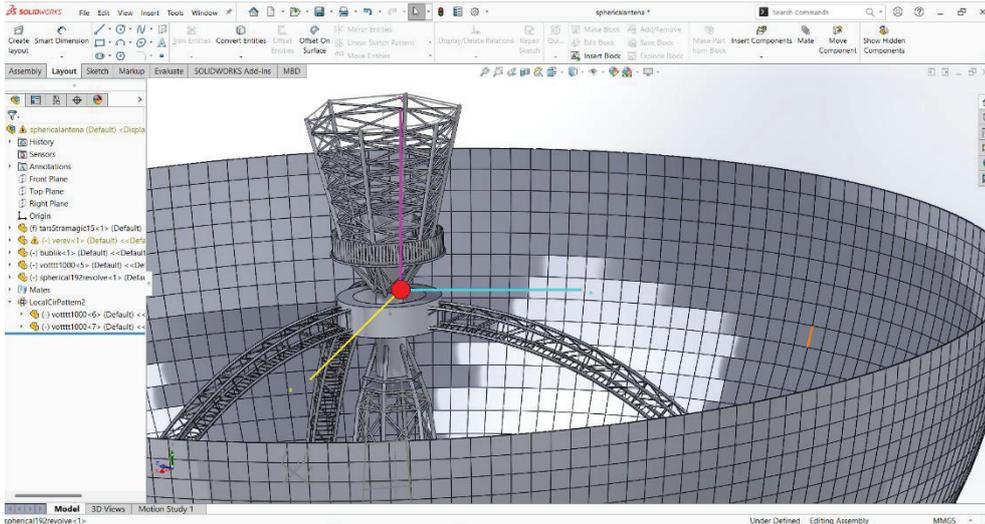


Fig. 2. The position of the center of the large reflector on the three-dimensional model of the antenna

The distance of the rangefinder from the actual center must be measured in three-dimensional space using x, y, and z coordinates. Based on this, a new ideal distance from the rangefinder to the panels should be calculated, accounting for the displacement of the rangefinder from the actual center of the large reflector. The most suitable area near the center that can serve as a platform for the rangefinder is the surface of the ring rigel.

To facilitate the execution of practical operations, the simulation represents the projection of the large reflector onto a plane perpendicular to the horizontal axis as a virtual grid, with the coordinates of each panel (Fig. 3). Subsequently, the ideal distance from the rangefinder to each panel's coordinates is calculated, taking into account the displacement of the rangefinder from the actual center of the large reflector.

The calculations are performed using Equation (1):

$$d = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} \quad , \quad (1)$$

where:

- x and y are the coordinates of each panel on the virtual grid (Fig. 2);
- x_0, y_0, z_0 represent the position of the laser rangefinder relative to the actual center of the large reflector;
- z is the height of the given point on the reflector panel relative to the lowest point of the large reflector calculated using Equation (2):

$$z = \sqrt{R^2 - x^2 - y^2} - R, \quad (2)$$

Where R is the radius of the large reflector of the antenna.

Consequently, if the rangefinder is positioned 1 meter above and 3 meters eastward from the actual center of the large reflector, the distance to each edge point of each panel will be calculated using Equation (3):

$$d = \sqrt{(x - 3)^2 + y^2 + (\sqrt{27^2 - x^2 - y^2} - 26)^2} . \quad (3)$$

Subsequently, the central (5th) point of the panel will be calculated using Equations (4) and (5) to record the surface deviations of the panel.

$$x_c = \frac{\left(\frac{x-a}{2}\right) + \left(\frac{x+a}{2}\right)}{2} = x, \quad (4)$$

$$y_c = \frac{\left(\frac{y-b}{2}\right) + \left(\frac{y+b}{2}\right)}{2} = y, \quad (5)$$

where a is the length of the panel, b - the width of the panel.

Since the metal structure supporting the small reflector not only prevents the rangefinder from being placed at the actual center of the large reflector but also obstructs the visibility of certain panels from the rangefinder during measurements, it is advisable to conduct the measurements in four different stages, covering different sectors of the large reflector, with a new position for the rangefinder on different sides of the ring rigel during each stage (Fig. 4).

For the first, second, and third sectors, it is convenient to perform the measurements from the structure supporting the small reflector. To measure the panels of the fourth sector, the rangefinder must be placed at the edge of the large reflector, from where the panels that were obscured by the small reflector during the measurements of the other sectors become visible.

In this case, the displacement of the rangefinder's position from the actual center of the large reflector becomes significantly larger than in the other stages. However, it is still recalculated using Equation (1), considering that the displacement along the x -axis is 27 meters.

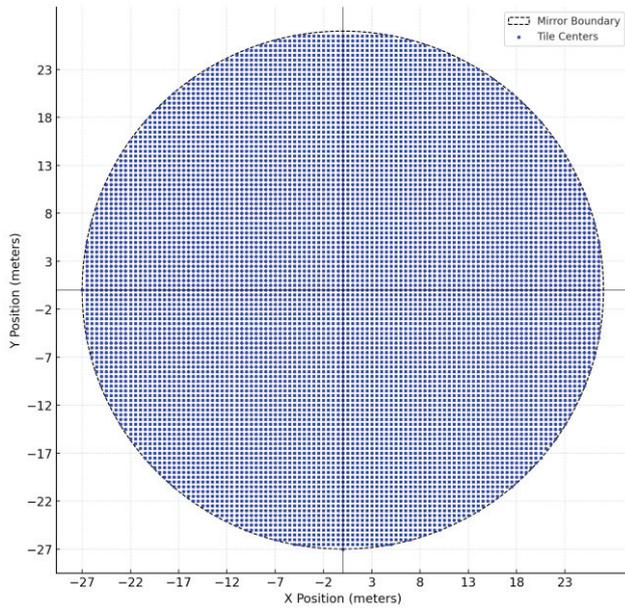


Fig. 3. The structure of the coordinate table for the panels of the large reflector

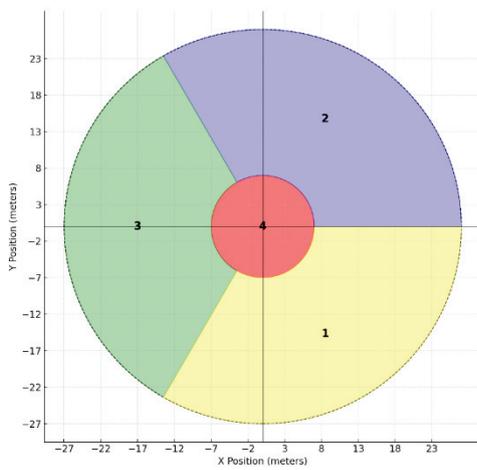


Fig. 4. Sectoral division of the large reflector for measurement purposes

The results of the study. Measurements are conducted at the four edge points of each panel, with five measurements taken at each point. The deviation from the

ideal data is then calculated, along with the root mean square (RMS) error, using Equation (6):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i + z_i^{\wedge})^2, \quad (6)$$

where z_i is the actual value; z_i^{\wedge} - the ideal value; n - the number of measurements.

The simulation program is developed using the C++ programming language and, upon receiving a set of initial input data:

- the distance of the rangefinder's position from the actual center of the large reflector;
- the radius of the large reflector of the antenna;
- the number and dimensions of the panels;

returns the measurement results calculated for each point of each panel, along with the root mean square (RMS) error (Fig. 5).

```

✦ Tile 3795 at (-5, 11)
  > Point 1 (-5.25, 10.75)
    Measurements: 31.8248m  31.8284m  31.8232m  31.8253m  31.8283m
    RMS Error: 2.65363 mm
  > Point 2 (-4.75, 10.75)
    Measurements: 31.6073m  31.6061m  31.6005m  31.6089m  31.6088m
    RMS Error: 3.43851 mm
  > Point 3 (-5.25, 11.25)
    Measurements: 32.2067m  32.2036m  32.1977m  32.2033m  32.1996m
    RMS Error: 3.17562 mm
  > Point 4 (-4.75, 11.25)
    Measurements: 31.9817m  31.9849m  31.981m  31.9863m  31.9874m
    RMS Error: 2.57923 mm
  > Point 5 (-5, 11)
    Measurements: 31.8982m  31.8947m  31.9045m  31.8954m  31.9011m
    RMS Error: 3.74337 mm

```

Fig. 5. A fragment of the simulation program output for a specific numbered panel

The range of the simulated value for the positional inaccuracy of the panel has been conditionally set to 0.5–5 cm, taking into account the lengths of the screw-jacks.

Conclusion. On the path to solving the primary scientific problems of the adjustment and calibration of the ROT-54/2.6 radio-optical telescope antenna, simulation programs have already been developed. These simulations facilitate the meticulous planning of practical operations and reduce the scope of work required for the adjustment and calibration of the antenna, thereby accelerating the overall process as much as possible.

The simulation program presented in this article enables a further development of the adjustment and calibration action plan by proposing a method for measuring the radial distance of each panel. This method not only allows for the assessment of the panels' positions but also determines the necessary correction for the radial distance of each panel in real time.

The practical work is extensive, considering the number of panels and the natural wear of the screw-jack positioning mechanisms over time.

References

1. **Herouni P.M.** The First Radio-Optical Telescope // Trans. of Sixth International Conference on Antennas and Propagation ICAP 89/ IEEE-URSI. – 1989. - Vol.1. – P. 540-546.
2. **Herouni P.M., Oskanian V.S.** Radio Flare at Eta Gemini Star // Proc. of Flare Stars IAU 137th Symposium. – Byurakan, 1989. - P. 145-146.
3. **Herouni P.M.** Construction and Operation of Radio-Optical Telescope ROT-32/54/2,6 // Trans. of the URSI International Meeting of Mirror Antenna Construction. Riga, 1990. - P. 34-41.
4. **Геруни П.М.** Измерения характеристик РОТ-54/2.6// ВКАИ-5. – 1990. - С. 22-26.
5. **Цейтлин Н.А.** Антенны коротких волн. — М.: Связь, 1966.
6. **Саргсян А.С.** Современное состояние и перспективы восстановления антенны зеркального радиотелескопа Геруни // Радиотехника. - 2023. - Т. 87, № 1. - С. 158–166. DOI: <https://doi.org/10.18127/j00338486-202301-12>
7. **Саргсян А.С.** Методика предварительного этапа юстировочных работ по консервации антенны РОТ-54/2.6 // Радиотехника. - 2023. - Т. 87, № 2. - С. 172–177. DOI: <https://doi.org/10.18127/j00338486-202302-20>
8. **Sargsyan A.S., Hambardzumyan N.H.** Solving first scientific problems on preliminary adjustment of the antenna of the ROT-54/2.6 radio-optical telescope // Proceedings of NPUA: Information Technologies, Electronic and Radioengineering – 2024 – Vol.1.- P. 89-98.
doi:https://innovative.polytechnic.am/files/publication_article/1/1727078830978.pdf
9. **Sargsyan A.S., Hambardzumyan N.H. Margaryan L.M.** Design of a three-dimensional model of the ROT-54/2.6 radio-optical telescope // Proceedings of the RA NAS and NPUA. Series of Technical Sciences. – 2024 – Vol.2.- P. 160-170.
10. **Hambardzumyan N.H.** The second stage of solving priority scientific problems on preliminary adjustment of the radio-optical telescope ROT-54/2.6 // Proceedings of NPUA, Information Technologies, Electronic and Radioengineering. – 2024. – N2.- P. 137-144.
11. **Khachatryan A.R.** Spheriactal radiotelescope surface ajustment using arbitrary located laser rangefinder // Proceedings of the RA NAS and NPUA. Series of Technical Sciences. – 2018. – Vol. 71, N2.- P. 181-187.

Received on 21.05.2025.

Accepted for publication on 10.07.2025.

**ԼԱՁԵՐԱՅԻՆ ՀԵՌԱԶԱՓԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ՌՕԴ-54/2.6 ՌԱԴԻՈՊՐՈԳՆԱԿԱԿԱՆ
ԴԻՏԱԿԻ ԱՆՏԵՆԱՅԻ ՄԵԾ ՀԱՅԵԼՈՒ ԹԻԹԵՂՆԵՐԻ ՏԵՂԱԴՐՄԱՆ
ԱՆՃՇՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՉԱՓՄԱՆ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՍԻՄՈՒԼՅԱՑԻԱ**

Ն.Հ. Համարձումյան

Երկար ժամանակ կոնսերվացված վիճակում գտնվելու ընթացքում բնածին ու մարդածին գործոնների ազդեցության արդյունքում մեծ հավանականությամբ սկզբնական արժեքներից շեղվել են ՌՕԴ-54/2.6 ռադիոսպտիկական դիտակի մի շարք ֆիզիկամեխանիկական և ռադիոտեխնիկական պարամետրեր: Վերջին տարիներին մշակված «Հերոնու ազգային տիեզերական կենտրոն» նախագծի միջազգային թիմը հետամուտ է դիտակի վերագործարկմանը, մշակվում է վերագործարկման հետ կապված բազմատեսակ գիտական խնդիրների լուծման համակարգը, մշակվել է համապարփակ բիզնես պլան:

Վերագործարկման հիմնական ինժեներական խնդիրներից են անտենայի համալարումն ու կարգաբերումը, որոնց իրագործման համար անհրաժեշտ առաջին փուլը անտենայի իդեալական և ներկայիս վիճակի համեմատական գնահատումն է: Հայտնաբերված տարբերության չափը ինքնըստինքյան հանդիսանալու է համալարման գործընթացի շտկման գործակից: Ընդհանուր մեթոդաբանության համալիրը բաղկացած է մի շարք մեթոդներից, որոնք հնարավորություն են տալիս՝ ապահովելու վստահելի տեխնիկական վերլուծություն՝ առանց անմիջական ֆիզիկական միջամտության:

Համալարման կարևոր խնդիրներից է անտենայի մեծ հայելու ճշգրիտ գնդաձև մակերևույթի ապահովումը: Սույն հոդվածում այդ խնդրի լուծման համար մշակվել է համապատասխան չափումների իրականացման մեթոդ, որը հնարավորություն է տալիս նախապես հաշվարկված 4 դիրքերում տեղադրված լազերային հեռաչափի միջոցով մեծ հայելու մակերևույթի յուրաքանչյուր թիթեղի 5 կետերում չափագրման արդյունքում հայտնաբերել թիթեղի ընդհանուր դիրքային շեղումը և հնարավոր դեֆորմացիան:

Հոդվածում ներկայացված են մեթոդի կիրառման ծրագրային սիմուլյացիան և եռաչափ մեխանիկական վերլուծությունը, որը ավտոմատացնում է չափումների արդյունքում ստացված տվյալների մշակման մի շարք փուլեր: Կատարված է պատահական նախնական տվյալներով մեծ հայելին կազմող թիթեղների շառավղային դիրքային վիճակի գնահատում:

Այս մեթոդի վրա հիմնված գործիքակազմը բացարձակ անհրաժեշտություն է անտենայի ճշգրիտ աշխատանքի ապահովման տեսանկյունից: Այն ոչ միայն կրճատում է հետագա ֆիզիկական կարգաբերման աշխատանքների ծավալը, այլ նաև ձևավորում է տեխնոլոգիական հիմք՝ ամբողջական ավտոմատ կառավարման համակարգ ներդնելու համար:

Առանցքային բառեր. ռադիոսպտիկական դիտակ, ՌՕԴ-54/2.6, անտենա, համալարման մեթոդներ:

**ПРОГРАММНАЯ СИМУЛЯЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕТОЧНОСТЕЙ УСТАНОВКИ
ПАНЕЛЕЙ БОЛЬШОГО ЗЕРКАЛА АНТЕННЫ РОТ-54/2.6
РАДИООПТИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО
ДАЛЬНОМЕРА**

Н.А. Амбарцумян

Во время длительного периода консервации под воздействием природных и антропогенных факторов с высокой вероятностью произошло отклонение ряда физико-механических и радиотехнических параметров радиооптического телескопа РОТ-54/2.6 от их первоначальных значений. В последние годы международная команда в рамках проекта "Национальный космический центр имени Геруни" активно работает над восстановлением телескопа. Разработаны комплексный бизнес-план, а также система для решения различных научных задач, связанных с его повторным запуском.

Одной из ключевых инженерных задач является юстировка и калибровка антенны, для чего первым необходимым этапом является сравнительная оценка текущего состояния антенны с её идеальной геометрией. Величина выявленного отклонения будет использоваться в качестве корректирующего коэффициента в процессе калибровки. Общая методологическая база включает в себя набор методов, позволяющих проводить достоверный технический анализ без необходимости физического вмешательства.

Особо важной задачей является восстановление точной сферической формы большого зеркала антенны. В настоящей работе предлагается методика измерений, позволяющая определить общее позиционное отклонение и возможную деформацию каждой панели, составляющей сферическую поверхность зеркала. Для этого используется лазерный дальномер, установленный в четырёх заранее рассчитанных позициях, и измерения проводятся в пяти точках на каждой панели.

В статье представлены программная симуляция и трёхмерный механический анализ предложенного метода, автоматизирующие несколько этапов обработки данных, полученных в результате измерений. Проведена оценка радиального положения панелей зеркала на основе случайно сгенерированных исходных данных.

Разработанный на основе данной методики инструментарий является критически важным для обеспечения точной работы антенны. Он позволяет существенно сократить объём последующих физических операций по юстировке и калибровке и формирует технологическую основу для внедрения полностью автоматизированной системы управления.

Ключевые слова: радиооптический телескоп, РОТ-54/2.6, антенна, методы юстировки.