

УДК 621.313

## МЕТОДИКА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ ПЛОСКОСТНОСТИ ПРОТЯЖЁННОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КОНСТРУКЦИИ

В.Я. Геча, А.А. Дульцев, А.Б. Захаренко, А.Ю. Федотов, С.В. Чеботарёв

*Предложена методика для непрерывного контроля отклонения от плоскостности протяжённой вращающейся конструкции, например, антенны космического назначения. Методика включает установку антенны на поддерживающей балке, являющейся при измерениях базовой плоскостью, установку излучающего прибора на базовую плоскость, а принимающих приборов на контрольные точки, жёстко связанные с поверхностью антенны. При этом излучающий и принимающий приборы расположены на подвижных площадках, площадки имеют возможность перемещения вдоль любой из осей координат, перпендикулярных продольной оси антенны. Отклонение от плоскостности измеряют путём совмещения нуля линейной шкалы каждого принимающего прибора с уровнем лазерной плоскости излучающего прибора. Излучающий прибор, установленный на антенне, тарирован при помощи стационарного излучающего прибора. Для реализации методики создано устройство (стенд). Методика и стенд апробированы при измерении диаграммы направленности трансформируемой (раскладываемой) в космосе антенны бортового радиолокационного комплекса «Северянин-М» для КА «Метеор-М».*

*Ключевые слова:* антенна, базовая плоскость, излучающий и принимающий прибор.

**Введение.** Бортовой радиолокационный комплекс (БРЛК) «Северянин-М» предназначен для сканирования поверхности Земли в радиодиапазоне в целях обеспечения безопасности мореплавания, исследования ледового покрова, мониторинга наводнений, гидрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства. Следует отметить, что антенна БРЛК «Северянин-М» – трансформируемая (раскладываемая) в космосе конструкция. Она состоит из семи жёстких секций, шарнирно соединённых между собой. В разложенном состоянии она имеет длину 14 м, при этом максимально допустимое отклонение от базовой плоскости антенны не должно превышать 4 мм.

Аппаратуру «Северянин-М» разработало и изготовило НИИ точных приборов (НИИ ТП). Диаграмма направленности БРЛК «Северянин-М» не измерялась, а определялась расчётным путём. Для входного контроля антенно-фидерного устройства БРЛК необходимо было провести измерение диаграммы направленности антенны длиной 14 м в наземных условиях. С этой целью антенна должна быть расположена на опорно-поворотном устройстве в безэховой камере и вращаться в двух плоскостях. Для крепления антенны массой более 70 кг была разработана специальная ферменная конструкция. Для непрерывного контроля отклонения от плоскостности поверхности антенны (в процессе измерения диаграммы направленности) за счёт нагузов, возникающих в условиях силы тяжести и

вращательного движения, были разработаны методика и устройство для определения отклонения от плоскостности поверхности антенны.

**Методика непрерывного контроля отклонения от плоскостности протяжённой вращающейся конструкции.** При измерении отклонений от плоскостности протяжённых конструкций рекомендуется использовать лазерные уровни и линейки [1]. При этом излучающий прибор должен быть установлен стационарно, на жёсткую опору [2]. Наиболее оптимальным является использование строительного уровня, посредством которого проецируют на принимающие приборы горизонтальную линию.

Рекомендуется проводить измерение неплоскостности при установке оптического прибора (лазера) на специальном штативе (дополнительной базовой плоскости), обеспечивающем при выполнении измерений постоянство положения его оптической плоскости. Если штатив выверен так, что плоскость, относительно которой выполняется контроль, горизонтальна, то в результате измерений будут получены высотные отметки контролируемых точек и их юстировка. Недостатком традиционных методик определения отклонения от плоскостности протяжённых конструкций является необходимость в выборе *дополнительной* базовой плоскости, относительно которой производится измерение. Это приводит к необходимости применения относительно сложных систем приборов для определения неплоскостности протяжённых вращающихся конструкций.

Задачей настоящей методики явилось бесконтактное измерение и контроль плоскостности протяжённой вращающейся конструкции.

Решение поставленной задачи обеспечивает методика непрерывного контроля отклонения измеряемых плоскостей от базовой плоскости, включающая:

- установку антенны на поддерживающей балке, центр которой является базовой плоскостью, установку излучающего прибора измерительного устройства на базовую плоскость;

- установку принимающих приборов на подвижных площадках, жёстко связанных с измеряемыми плоскостями на поверхности антенны, расположенной на поддерживающей балке;

- расположение всех приборов измерительного устройства на подвижных площадках, при этом площадки имеют возможность перемещения вдоль любой из осей координат, перпендикулярных продольной оси антенны, а также фиксации в необходимом положении;

- для измерения отклонения совмещают нуль линейной шкалы каждого принимающего прибора с уровнем лазерной плоскости излучающего прибора, а контроль за отклонениями измеряемых плоскостей от заданной базовой плоскости осуществляют по шкалам принимающих приборов в процессе вращения опорной балки;

- тарировку излучающего прибора, установленного на антенне, по оптической плоскости стационарного излучающего прибора, установленного на отдельном штативе.

Таким образом, с помощью вышеописанной методики в процессе вращения контролируется отклонение поверхности антенны от базовой плоскости, которое не должно превышать допустимого значения.

**Устройство для непрерывного контроля отклонения от плоскостности протяжённой вращающейся конструкции.** Антенна 1, состоящая из семи жестких секций, соединенных между собой шарнирами, была закреплена внутри поддерживающей балки 2, выполненной в виде фермы. Плоскостность балки 2 «грубо» обеспечивается траверсами 3 (рис. 1 и 2). В центре поддерживающей балки расположена плоская рабочая поверхность 4, одновременно являющаяся базовой плоскостью. На плоскость 4 в центральной части опорной балки установлен излучающий прибор 5 измерительного устройства.

В качестве излучающего прибора 5 (рис. 3) был использован строительный лазерный уровень со встроенным нивелиром с лучом в виде световой

плоскости, проекция которой на окружающие предметы выглядит в виде плоской линии (Skil 500, мощность лазера 1 мВт, длина световой волны 650 нм) [3]. Эту световую (оптическую) плоскость от излучающего прибора (показана в виде совокупности лучей 6, см. рис. 3) используют для отметки на шкале каждого принимающего прибора. Принимающие приборы измерительного устройства 7 установлены на измеряемые базовые плоскости 8 расположенные на поддерживающей балке 2. Каждый принимающий прибор был расположен в районе шарнирного соединения секций антенны и оснащён видеокамерой, подключённой к компьютеру для визуального непрерывного контроля отклонений. Указанные приборы измерительного устройства 7 должны быть калиброваны при помощи стандартных геодезических методов при невращающейся балке 2. При проведении измерений характеристик антенны на опорно-поворотном устройстве было установлено, что отклонения от плоскостности не превышают требуемого значения. Это позволило провести измерения диаграммы направленности антенны БРЛК «Северянин-М».

На рис. 4 приведена измеренная диаграмма направленности антенны в плоскости большого размера антенны в максимуме диаграммы направленности на трёх частотах в диапазоне углов от минус 0,5 до плюс 0,5 град. Каждый принимающий прибор состоит из линейки 11 с линейной измерительной шкалой и видеокамеры 12 подключённой к компьютеру 13 (рис. 5) для визуального контроля измерений на мониторах 14 при вращении опорной конструкции. Измеряемые базовые плоскости 8 расположены на площадках 9, которые могут быть перемещены и зафиксированы вдоль любой из осей координат, перпендикулярных продольной оси антенны 1 при помощи винтов 10.

Для измерения отклонения от плоскостности антенны 1 производят настройку принимающего прибора по оптической плоскости излучающего прибора. Для этого получают в точках установки принимающих приборов показания отклонений их плоскостей от уровня базовой плоскости (полученной при тарировке излучающего прибора). Это обеспечивается наблюдениями за лазерным лучом по его отклонению от базовой плоскости на линейных измерительных шкалах принимающих приборов. При измерениях, по лазерному лучу сначала задают реальную базовую плоскость (при невращающейся балке 2) и фиксируют её расположение по показаниям линейной шкалы, полученным при тарировке оптической плоскости излучающего прибора.

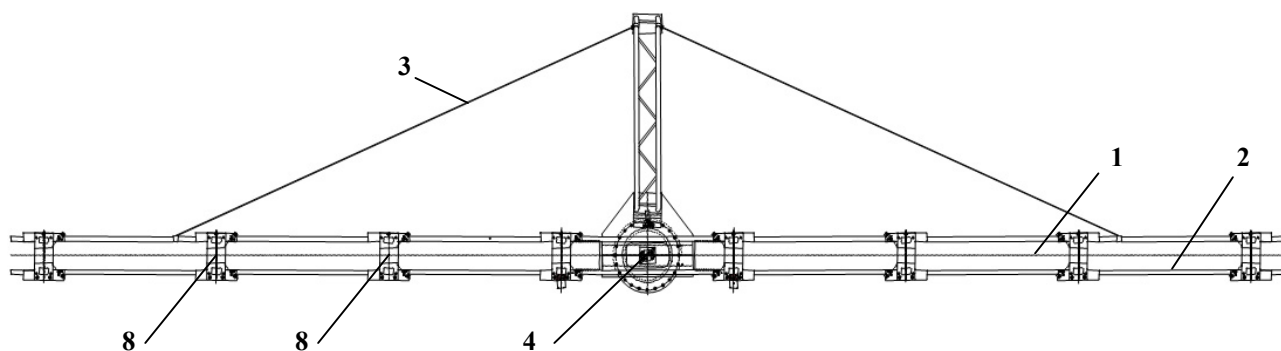


Рис. 1. Общий вид поддерживающей балки

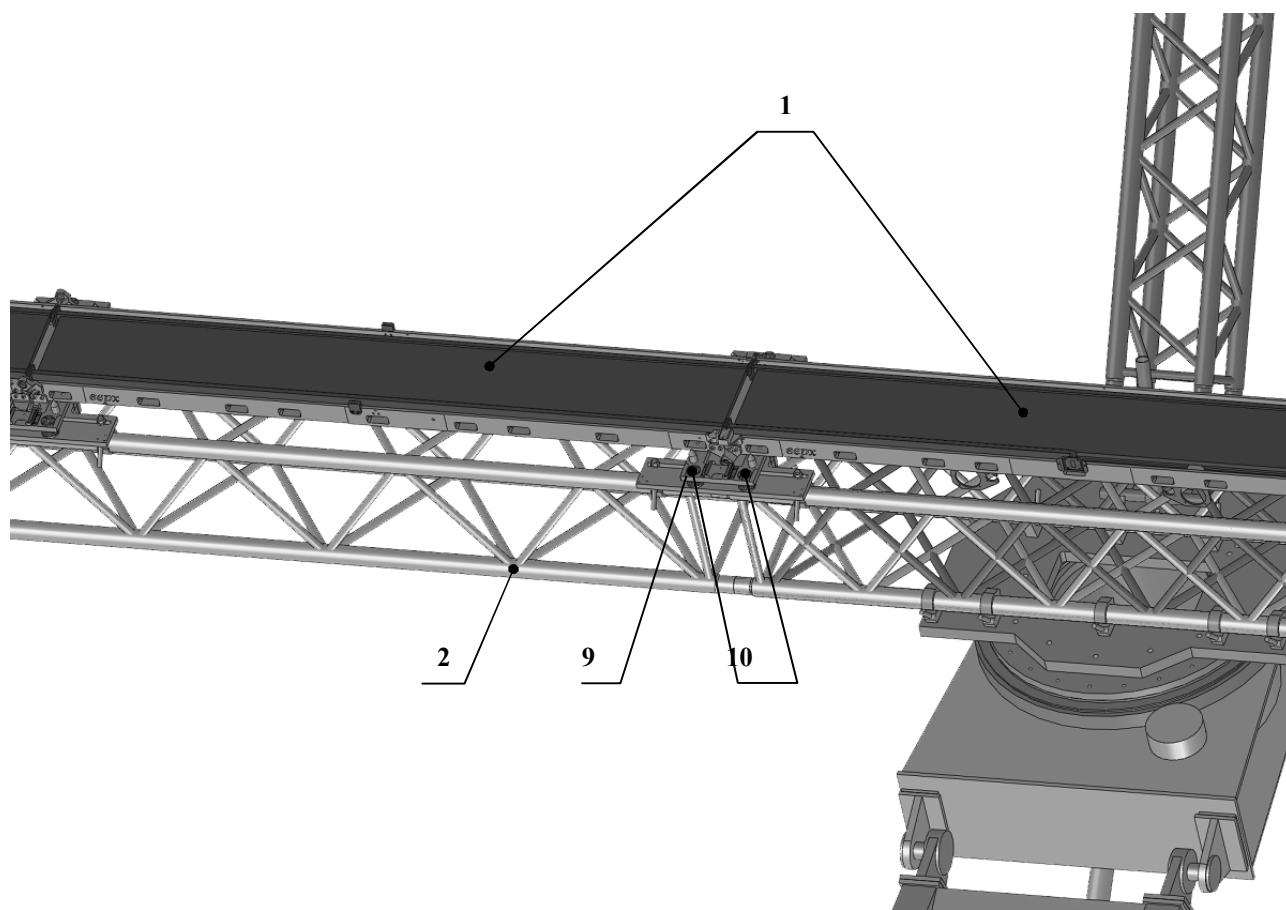


Рис. 2. Места расположения базовой и измерительных плоскостей на поддерживающей балке

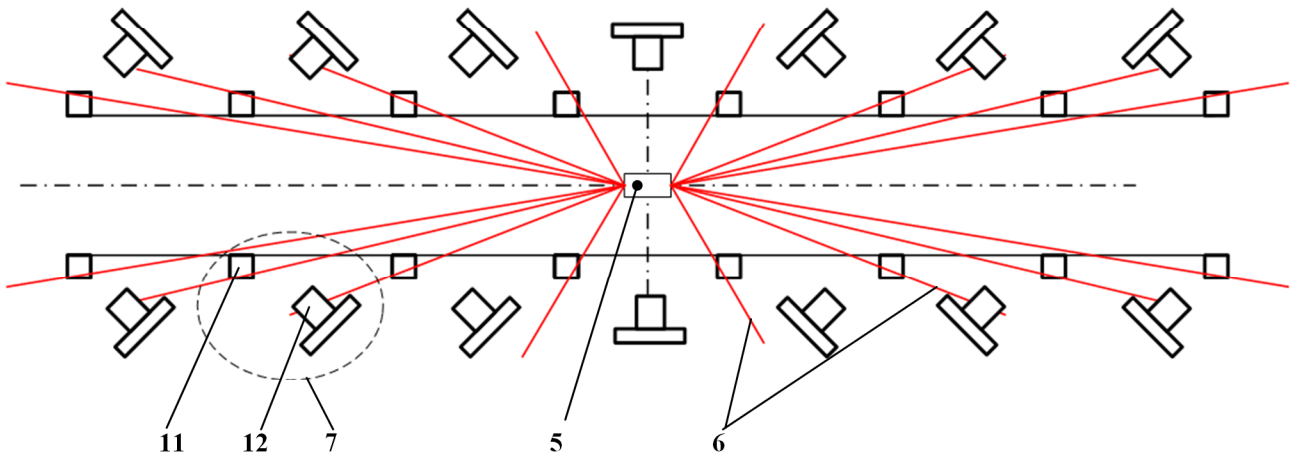


Рис. 3. Схема размещения излучающего прибора и принимающих приборов

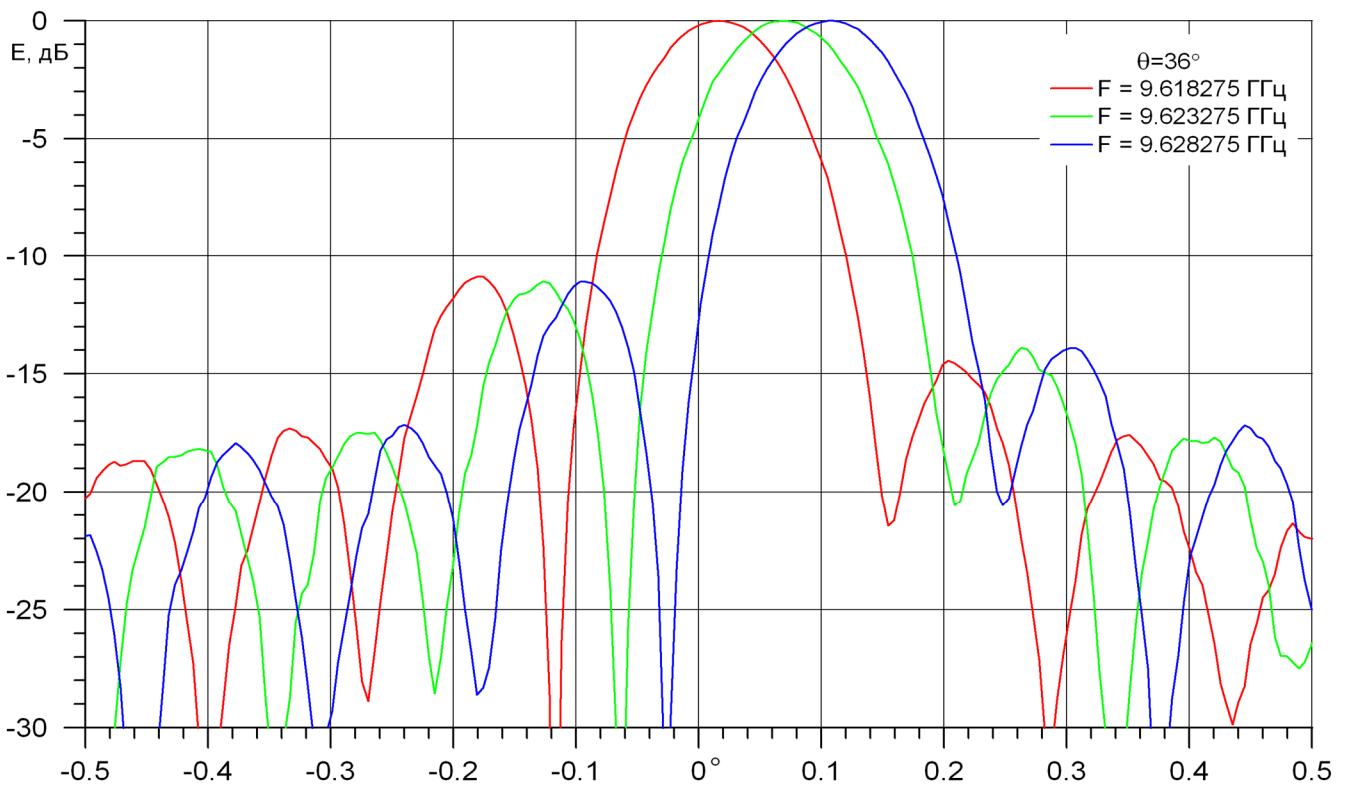


Рис. 4. Главное сечение диаграммы направленности антенны БРЛК «Северянн-М»



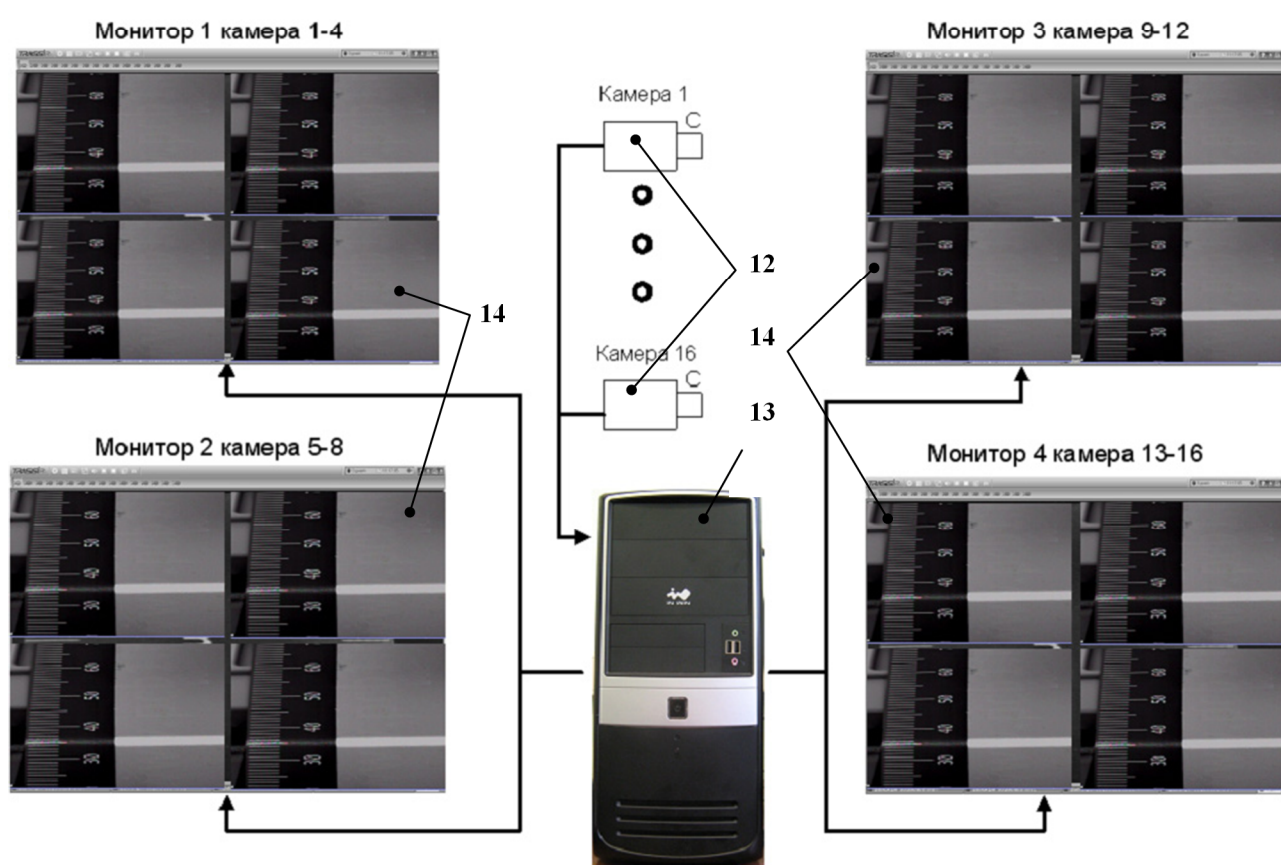


Рис. 5. Компьютер и мониторы, на которые передаётся информация с видеокamer при вращении опорной конструкции

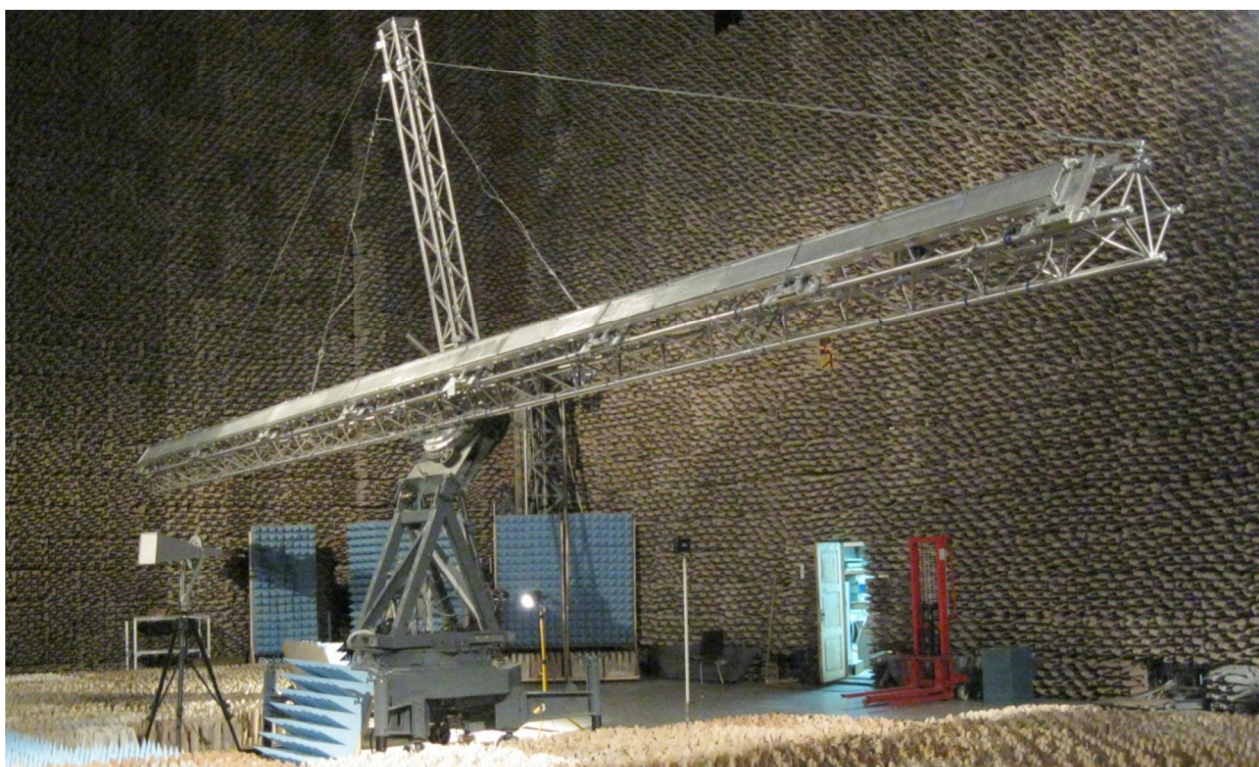


Рис. 6. Стенд непрерывного контроля отклонения от плоскостности протяжённой вращающейся конструкции, расположенный на опорно-поворотном устройстве

Измерения отклонений от плоскостности проводятся в полученной системе без перенастройки измерительного устройства, при этом антенна и принимающий прибор расположены на упомянутых площадках 9, которые могут быть перемещены и зафиксированы вдоль любой из осей координат за счёт вращения винтов 10. Обеспечение плоскостности осуществляют путём совмещения нуля линейной шкалы каждого принимающего прибора с плоскостью лазерного луча за счёт перемещения площадок 9.

На рис. 6 приведено устройство (стенд) непрерывного контроля отклонения от плоскостности протяжённой вращающейся конструкции с закреплённой антенной с установленными на ней датчиками определения отклонения от плоскостности. Стенд был использован для измерения диаграммы направленности антенны БРЛК «Северянин-М» в безэховой камере ПАО «Радиофизика».

Предложенная методика может быть использована при испытаниях протяжённых (трансформируемых) конструкций космического назначения, как при наземных испытаниях, так и в условиях орбитального полёта. При этом информация с датчиков отклонения от плоскостности должна будет передаваться на Землю по телеметрическому каналу.

### Выводы

1. Предложена методика непрерывного контроля отклонения от плоскостности протяжённой вращающейся конструкции.
2. Создано устройство (стенд), реализующее методику.
3. Методика и устройство апробированы при измерении диаграммы направленности антенны БРЛК «Северянин-М» для КА «Метеор-М» при заданных допустимых отклонениях антенны от базовой плоскости.
4. Предложенная методика и устройство могут быть использованы при испытаниях других протяжённых (трансформируемых) конструкций космического назначения.

### Литература

1. ГОСТ 26433.1-89. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Элементы заводского изготовления.
2. Патент G01B 11/30. Способ измерения отклонений от плоскостности / Зюзиков В. Н., Пидгурский С. Н., Астафьев А. Г. : ОАО «Научно-производственная корпорация «Иркут» (ОАО «Корпорация «Иркут») (RU). – № 2362119 (РФ). Заявл. 08.04.2008. Опубл. 20.07.2009. Бюл. № 20.
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.redbay.ru/category/lazernye-postroiteli-ploskostej/>.

Поступила в редакцию 25.09.2015

*Владимир Яковлевич Геча, д-р техн. наук, заместитель генерального директора, т. (495) 365-26-69.*

*Александр Александрович Дульцев, начальник лаборатории, т. (495) 366-28-22.*

*Андрей Борисович Захаренко, д-р техн. наук, начальник отдела, т. (495) 366-26-44.*

*Александр Юрьевич Федотов, д-р техн. наук, начальник лаборатории, т. (495) 366-27-55.*

*Сергей Владимирович Чеботарёв, инженер, т. (495) 366-54-29.*

*E-mail: [vniiem@vniiem.ru](mailto:vniiem@vniiem.ru).  
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).*

## METHOD and DEVICE for MONITORING of CONTINUOUS FLATNESS ERROR in ROTATING LONG LENGTH INSTALLATIONS

**V.Ya. Gecha, A.A. Dultsev, A.B. Zakharenko, A.Yu. Fedotov, S.V. Chebotarev**

*Method for continuous monitoring of flatness error in rotating long length installations (e.g. antennas for space applications) is offered for consideration. The method involves mounting of antenna onto a supporting carrier serving for measurements as a basic plane (reference plane), mounting of radiating device onto the basic plane, whilst receiving devices shall be mounted onto control points rigidly connected to antenna surface. Simultaneously, radiating and receiving devices shall be located on surfaces moving along any of reference axes which are normal to X-axis. Flatness error shall be measured by aligning linear scale zero point of each receiving device with laser plane of radiating device. Radiating devices, mounted on antenna, shall be calibrated by means of a stationary radiating device. A special device (i.e. test bed)*

is designed for implementation of the method. The method and the test bed have been tested during measuring of antenna pattern of flexible (i.e. deployable) antenna designed for on-board radar system Severyanin-M developed for SC Meteor-M.

**Key words:** antenna, basic plane, radiating and receiving devices.

### List of References

1. GOST 26433.1-89. System for Ensuring Geometrical Parameters Accuracy for Construction Industry. Measurement Procedures. Fabricated Components.
2. Patent G01B 11/30. Procedure for Flatness Error Measurements – V.N. Zyuzikov, S.N. Pidgursky, A.G. Astafyev: JSC ‘Scientific and Production Corporation ‘Ircut’ (JSC ‘Ircut’ Corporation’) (RU) – No.2362119 (RF). Patent Application lodged 08.04.2008. Patent Published 20.07.2009. Patent Bulletin No.20.
3. [Digital resource]. – Available at: <http://www.redbay.ru/category/lazernye-postroiteli-ploskostej/>.

*Vladimir Yakovlevich Gecha, D. Sc. (Tech.), Deputy Director General,  
tel.: (495) 365-26-69.*

*Alexandr Alexandrovich Dultsev, Head of Laboratory,  
tel.: (495) 366-28-22.*

*Andrey Borisovich Zakharenko, D. Sc. (Tech.), Head of Department,  
tel.: (495) 366-26-44.*

*Alexandr Yuryevich Fedotov, D. Sc. (Tech.), Head of Laboratory,  
tel.: (495) 366-27-55.*

*Sergey Vladimirovich Chebotarev, Engineer,  
tel.: (495) 366-54-24.*

*E-mail: [vniiem@vniiem.ru](mailto:vniiem@vniiem.ru).  
(JC ‘VNIEM Corporation’).*