

## Уровень рельсового пути антенн радиотелескопов RT-32 комплекса «Квazar–КВО»

© А. О. Шамо́в

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

### Реферат

В статье представлены результаты измерений уровня рельсового пути антенн радиотелескопов комплекса «Квazar–КВО» с диаметром главного зеркала 32 м (RT-32) и анализа динамики изменений уровня рельсового пути с течением времени.

От состояния поверхности рельсового пути зависит износостойкость элементов конструкции RT, связанных с перемещением по азимуту. Кроме этого, в случае неудовлетворительного состояния рельсового пути пространственное положение угломестной оси RT будет отягощено систематической ошибкой, причем в каждом положении RT по азимуту она будет иметь разное значение. В связи с этим для определения, в частности, высотной составляющей данной систематической ошибки были произведены вычисления уровня угломестной (УМ) оси RT-32 в зависимости от азимутального положения. В результате для каждого RT-32 радиоинтерферометрического комплекса «Квazar–КВО» была определена величина систематической ошибки высотного положения УМ оси, а также диапазон, в пределах которого она меняется при перемещении RT по азимуту.

Анализ показывает, что уровень рельсового пути RT-32 со временем ухудшается, что отражается на росте такого параметра, как стандартное отклонение уровня рельсового пути RT. При значительных перепадах высот в зонах работы радиотелескопа при азимутальном движении механизмы азимутального движения, рельс и основание RT подвергаются аномальным нагрузкам, приводящим к преждевременному износу.

**Ключевые слова:** уровень рельсового пути антенн, анализ динамики изменений, износостойкость элементов конструкции, систематическая ошибка.

*Контакты для связи:* Шамо́в Андрей Олегович ([newbizz@bk.ru](mailto:newbizz@bk.ru)).

*Статья поступила в редакцию 29.07.2020, принята к публикации 15.10.2020, опубликована 30.10.2020.*

**Для цитирования:** Шамо́в А. О. Уровень рельсового пути антенн радиотелескопов RT-32 комплекса «Квazar–КВО» // Труды ИПА РАН. 2020. Вып. 54. С. 71–74.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.54.71-74>

## Rail Track Level of RT-32 Antennas of the Quasar VLBI Network

A. O. Shamov

Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

### Abstract

The paper presents the results of measuring the rail track level of the Quasar VLBI Network radio telescopes. The three radio telescopes (RT-32) located in different astronomical observatories of IAA RAS have the main mirrors that are 32 m in diameter.

The durability of the RT structural elements associated with movement in azimuth depends on the state of the rail track. In addition, in the case of an unsatisfactory state of the rail track, a systematic error has an impact on the spatial position of the RT elevation axis. It should be noted that the systematic error has different values in each position of the RT in azimuth. In this regard, the level of the RT-32 elevation axis was calculated depending on the azimuthal position in order to determine, in particular, the altitude component of this systematic error. As a result, for each RT-32 of the Quasar VLBI Network, the altitude component of the systematic error of the elevation axis position was determined. The range of its changes during the RT movement in azimuth was also obtained.

The analysis shows that the level of the RT-32 rail track deteriorates over time, which reflects in the growth of such a parameter as the standard deviation of the RT rail track level. In the event of significant elevation differences in the areas of a radio telescope operation during azimuth movement, the mechanisms of azimuth movement, the rail and the base of the RT are subjected to abnormal loads, leading to premature wear.

**Keywords:** rail track level of antennas, analysis of the dynamics of changes, wear resistance of structural elements, systematic error.

*Contacts:* Andrey O. Shamov ([newbizz@bk.ru](mailto:newbizz@bk.ru)).

*Received 29 July, 2020, accepted 15 October, 2020, published 30 October, 2020.*

**For citation:** Shamov A. O. Rail track level of RT-32 antennas of the Quasar VLBI complex // Transactions of IAA RAS. 2020. Iss. 54. P. 71–74.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.54.71-74>

## Введение

Радиоинтерферометрический комплекс «Квазар-КВО» — постоянно действующая отечественная сеть обсерваторий [1], где основным методом наблюдений — метод РСДБ. В состав комплекса входят три радиоастрономические обсерватории: «Светлое» (Ленинградская область), «Зеленчукская» (Карачаево-Черкесия) и «Бадарь» (Республика Бурятия), которые являются современными пунктами колокации [2, 3].

РСДБ-наблюдения, выполняемые на радиотелескопах комплекса «Квазар-КВО», используются для решения фундаментальных задач астрометрии, геодезии, а также для высокоточного определения ПВЗ, в том числе всемирного времени [4].

Рельсовый путь [5, 6] РТ-32 предназначен для азимутального перемещения РТ и представляет собой окружность радиусом 20062 мм, имеющую два стыка с зазорами для компенсации свободного удлинения при изменении температуры.

В связи с выполнением высокоточных измерений на РТ, а также по причине значительной его массы (более 700 т), к стабильности уровня головки рельсового пути предъявляются высокие требования. СКО уровня головки не должно превышать 0.5 мм. В случае превышения данного параметра пространственное положение УМ оси будет иметь заметную ошибку, причем ее значение в каждом азимутальном положении РТ будет меняться. Кроме этого, механизмы азимутального вращения РТ будут подвергаться повышенному износу, что в свою очередь приведет к уменьшению их срока службы, увеличению стоимости и продолжительности срока ремонта.

## Изменение СКО уровня рельсового пути РТ-32

Уровень рельсового пути РТ-32 представляет собой среднее значение по совокупности высотных положений контрольных точек (в количестве 195), равномерно расположенных на поверхности самого рельса.

На протяжении 10 лет, начиная с 2010 г., проводились ежегодные геодезические измерения по определению уровня головки рельсового пути РТ-32. По результатам всех измерений можно дать оценку динамики произошедших изменений за данный период.

На графиках рис. 1–3 представлено СКО уровня рельсового пути РТ-32 в период 2010–2020 гг. По оси абсцисс отложено время, а по оси ординат — величина СКО уровня рельсового пути, соответствующая времени его определения.

Как видно из графиков, уровень головки рельсового пути РТ-32 всех трех обсерваторий изменяется с течением времени. Полученные линии

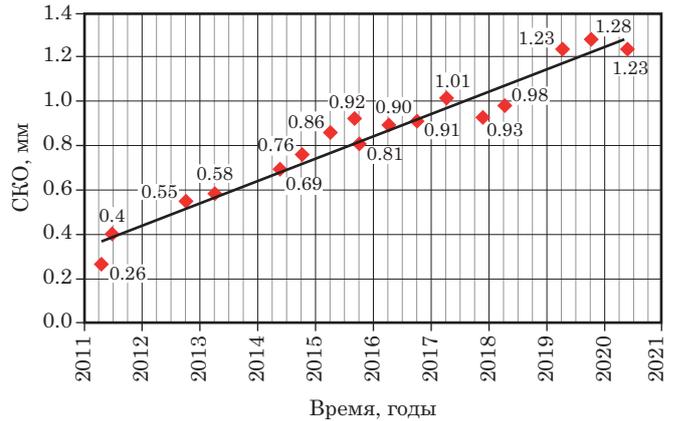


Рис. 1. Значение СКО уровня рельсового пути РТ-32 обсерватории «Светлое»

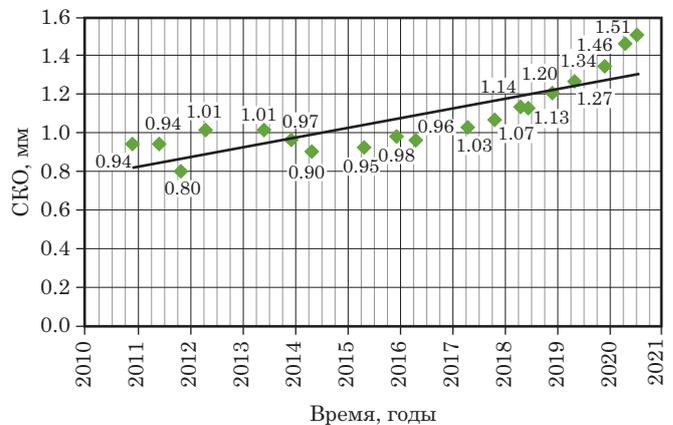


Рис. 2. Значение СКО уровня рельсового пути РТ-32 обсерватории «Зеленчукская»

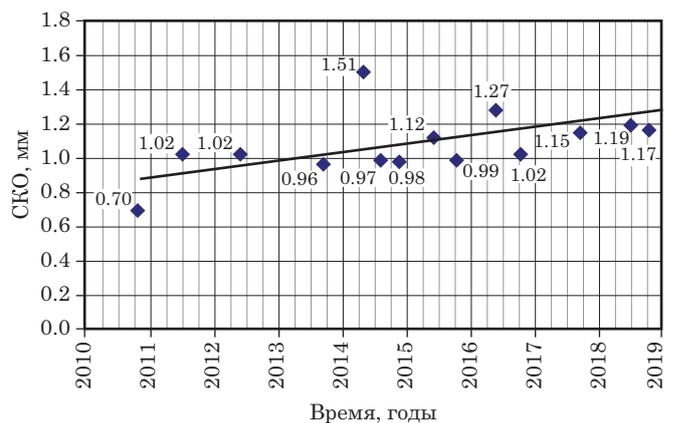


Рис. 3. Значение СКО уровня рельсового пути РТ-32 обсерватории «Бадарь»

тренда указывают на динамику изменения СКО уровня головки рельсового пути в сторону увеличения.

В табл. 1 приведены величины изменений СКО уровня головки рельсового пути РТ-32, произошедших за указанный период.

Таблица 1

Динамика изменения СКО уровня головки рельсового пути РТ-32

Обсерватория	Период	$\Delta$ СКО <sup>1</sup> , мм
«Светлое»	2011–2020 гг.	+ 0.97
«Зеленчукская»	2010–2020 гг.	+ 0.57
«Бадарь»	2010–2019 гг.	+ 0.47

<sup>1</sup>Примечание:  $\Delta$ СКО — изменение СКО уровня головки рельса

Из табл. 1 видно, что изменение СКО уровня головки рельсового пути РТ-32 обсерватории «Светлое» практически вдвое превышает аналогичные параметры, присущие РТ-32 обсерваторий «Зеленчукская» и «Бадарь». Вероятной причиной данного обстоятельства является то, что общая продолжительность эксплуатации РТ-32 обсерватории «Светлое» превосходит РТ-32 обсерваторий «Зеленчукская» и «Бадарь» на 4 года и на 8 лет соответственно. С увеличением общей продолжительности эксплуатации РТ, вследствие циклических напряжений в процессе работы растет количество повреждений внутри элементов, в частности рельсового пути и его основания.

#### Уровень рельсового пути как фактор влияния на высотное положение УМ оси РТ-32

На рис. 4–6 изображено состояние головки рельсового пути РТ-32 в вертикальной проекции по результатам измерений 2019–2020 гг. Измерения проводились методом поэтапного определения уровня головки рельсового пути РТ-32 в контрольных точках, в количестве 195, которые, в свою очередь, являются точками крепежа рельсового пути к фундаменту РТ. По оси абсцисс отложены номера участков рельсового пути РТ, а по оси ординат — значения высоты головки рельсового пути в контрольных точках.

Из рассмотрения данных графиков возникает вопрос: как изменяется уровень УМ оси РТ при ее вращениях по азимуту, если уровень рельсового пути имеет значительные перепады по высоте; их амплитуда в некоторых точках превышает 4 мм? Зная положение колес азимутального движения относительно рельсового пути для конкретного положения РТ по азимуту, можно рассчитать превышение каждого колеса в течение всего прохождения РТ по азимуту. Это, в свою очередь, дает возможность определения высотного положения УМ оси РТ на каждом азимутальном положении по формулам:

$$H_{\text{УМ}} = (H_{\text{ЛБ}} + H_{\text{ПБ}})/2,$$

$$H_{\text{ЛБ}}, H_{\text{ПБ}} = (H_{\text{ЛТ}} + H_{\text{ПТ}})/2,$$

$$H_{\text{ЛТ}}, H_{\text{ПТ}} = (H_{\text{ЛК}} + H_{\text{ПК}})/2,$$



Рис. 4. Уровень головки рельсового пути РТ-32 обсерватории «Светлое» по результатам измерений в мае 2020 г.



Рис. 5. Уровень головки рельсового пути РТ-32 обсерватории «Зеленчукская» по результатам измерений в марте 2020 г.



Рис. 6. Уровень головки рельсового пути РТ-32 обсерватории «Бадарь» по результатам измерений в сентябре 2019 г.

где  $H_{\text{УМ}}$  — высота УМ оси РТ;  $H_{\text{ЛБ}}, H_{\text{ПБ}}$  — высота левой и правой башен УМ оси, если смотреть со стороны качающей стойки;  $H_{\text{ЛТ}}, H_{\text{ПТ}}$  — высота левой и правой тележек азимутального движения, относящихся к одной из башен УМ оси, если смотреть со стороны азимутальной оси;  $H_{\text{ЛК}}, H_{\text{ПК}}$  — высота левого и правого колес азимутального движения, относящихся к одной из тележек, если смотреть со стороны азимутальной оси.

На рис. 7–9 изображено высотное положение УМ оси в зависимости от азимута РТ-32, полученное из последних результатов измерений уровня рельсового пути. По оси абсцисс указано значение азимутального положения РТ-32, а по оси ординат — значение высоты УМ оси РТ-32.

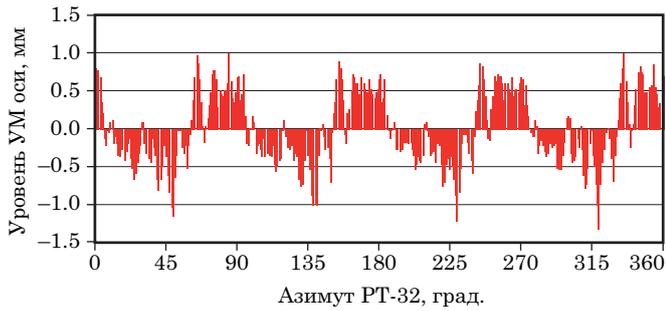


Рис. 7. Высота УМ оси в зависимости от азимута РТ-32 обсерватории «Светлое» по результатам измерений уровня рельсового пути в мае 2020 г.

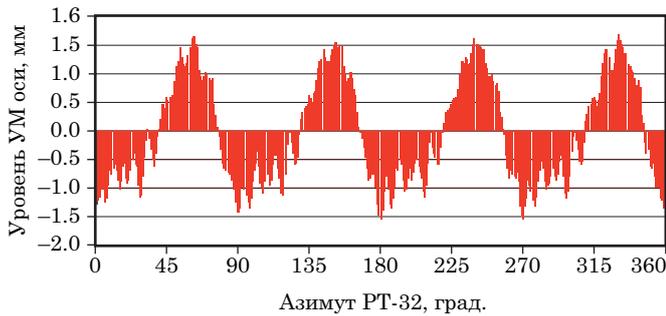


Рис. 8. Высота УМ оси в зависимости от азимута РТ-32 обсерватории «Зеленчукская» по результатам измерений уровня рельсового пути в марте 2020 г.

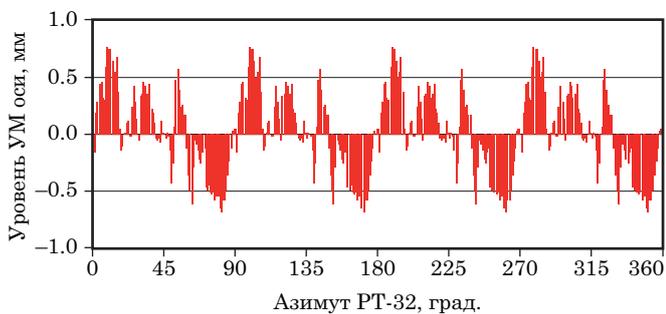


Рис. 9. Высота УМ оси в зависимости от азимута РТ-32 обсерватории «Бадарь» по результатам измерений уровня рельсового пути в сентябре 2019 г.

В табл. 2 приведены сведения о том, в каких пределах происходят изменения высоты УМ оси при перемещениях РТ-32 по азимуту.

Таблица 2  
Диапазон колебаний высоты УМ оси РТ-32

Обсерватория	Предел колебаний по высоте, мм	
	min	max
«Светлое»	-1.34	1.01
«Зеленчукская»	-1.55	1.68
«Бадарь»	-0.69	0.76

По совокупности представленного материала можно сделать следующие выводы. От состояния рельсового пути РТ-32 зависит стабильность положения УМ оси при перемещениях РТ по азимуту. Кроме этого, в случаях когда РТ-32 при движении по азимуту преодолевает участки рельсового пути со значительными перепадами по высоте, между колесами азимутального движения и рельсом возрастает контактное напряжение, что приводит к преждевременному износу механизмов.

## Заключение

Проведенный анализ показывает, что уровень рельсового пути радиотелескопов РТ-32 с течением времени ухудшается, что отражается на росте такого параметра, как СКО уровня рельсового пути.

В случае значительных перепадов по высоте на участках рельсового пути РТ во время движения по азимуту механизмы азимутального движения, рельс и его основание подвергаются нештатным нагрузкам, ведущим к преждевременному их износу.

От состояния рельсового пути РТ-32 зависит также стабильность положения УМ оси. Колебания высоты УМ оси, возникающие в процессе движения РТ-32 по азимуту, будут оказывать влияние на точность проводимых измерений РТ, а в конечном итоге — на построения фундаментальных небесной и земной систем координат, а также на определение ПВЗ.

## Литература

1. Финкельштейн А. М., Ипатов А. В., Кайдановский М. Н. и др. Радиointерферометрическая сеть «Квazar-КВО» — базовая система фундаментального координатно-временного обеспечения // Труды ИПА РАН. 2005. Вып. 13. С. 104–138.
2. Finkelstein A. M., Ipatov A. V., Smolentsev S. G. The network “Quasar”: 2008–2011 // The 5<sup>th</sup> IVS General Meeting Proc. 2008. P. 39–46.
3. Gayazov I. S., Skurikhina E. A. Local ties between co-located space geodetic instruments at QUASAR network observatories // The 5<sup>th</sup> IVS General Meeting Proc. 2008. P. 82–86.
4. Финкельштейн А. М., Гаязов И. С., Скурихина Е. А. и др. Определение ПВЗ из наблюдений на РСДБ-сети «Квazar-КВО» // Труды ИПА РАН. 2009. Вып. 20. С. 119–125.
5. Христиансен У. Н., Хегбом И. Л. Радиотелескопы. М.: изд-во «Мир», 1976, 620 с.
6. ГОСТ 4121-76 Рельсы крановые. Технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3). М.: Изд-во стандартов, 1991.