

Шакиров А.А.

**Перспективы использования
USM-приводов в конструкциях
двухкоординатных целостатов**

Цель исследования – разработка модели двухкоординатного целостата с USM-приводами. Была построена теоретическая модель устройства. Оптическая схема включает телескоп с установленным на его входе двухкоординатным целостатом, состоящим из двух блоков, включающих диагональные зеркала и USM-приводы. Нахождение объекта, наведение на объект и его ведение может осуществляться автоматически при помощи компьютера. Исследования выявили высокую перспективность применения USM-приводов в данной конструкции. Был разработан и сконструирован рабочий макет устройства на основе объектива Максудова. Была отработана методика работы на макете в азимутальном, экваториальном, фотографическом, горизонтальном и перископном режимах. Двухкоординатный автоматический целостат с USM-приводами сможет найти применение в больших телескопах, в том числе космических и ртутных.

Ключевые слова: телескоп, целостат, гелиостат, USM-привод, пьезопривод, ультразвуковой привод.

Shakirov A.L.

**Prospects of USM-drivers use in
two-coordinate coelostat design**

The aim of the study is to develop a model of two-coordinate coelostat with USM- drivers. A theoretical model of the device was designed. The optical scheme includes a telescope with a two-coordinate coelostat mounted at the entry and consisting of two units including diagonal mirrors and USM- drivers. Finding of the object, setting and driving may be performed automatically by the computer. The studies revealed highly promising prospects of USM- drivers application in this design. A working dummy based on the Maksutov lens was developed and constructed. The technique of work in azimuthal, equatorial, horizontal and periscopal operation was tested. Two-coordinate coelostat with USM- drivers may find application in large telescopes, including space and mercury ones.

Key words: telescope, coelostat, heliostat, USM- driver, piezoelectric driver, ultrasonic driver.

Шакиров А.А.

**Екі координатты USM-жетігін
целостаттың конструкциясын-
да қолданылу келешегі**

Жұмыстың мақсаты – екі координатты USM-жетігі бар целостаттың моделін жасап шығару. Қондырғының теориялық моделі құрастырылды. Оптикалық сызба, ол диагональды айналы екі блоктан тұратын екі координатты USM-жетікті целостаттың кірісіне орналас-тырылған телескоптан тұрады. Объектіні табу, объектіні іздеу және оны жүргізу автоматты түрде компьютердің көмегімен жүзеге асырылады. Зерттеулер USM-приводын осы конструкцияға қолданудың үлкен келешегі бар екендігін анықтады. Максудов объективі негізінде жұмыс моделінің макеті құрастырылды және жасап шығарылды. Макетте азимутальды, экваториальды, фотографикалық, горизонтальды және перископтық режимдерде жұмыс істеу әдістемелері қарастырылды. Екікоординатты автоматты USM-приводты целостат үлкен телескоптарда, оның ішінде космостық және сынаптық түрлерінде кең қолданыс табуы мүмкін.

Түйін сөздер: телескоп, целостат, гелиостат, USM-приводы, пьезоприводы, ультрадыбыстық привод.

**ПЕРСПЕКТИВЫ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
USM-ПРИВОДОВ
В КОНСТРУКЦИЯХ
ДВУХКООРДИНАТНЫХ
ЦЕЛОСТАТОВ**

Введение

В оптической астрономии широко используются целостаты, которые в основном применяются при наблюдениях Солнца. Это вызвано тем, что при этом не надо направлять телескоп в любую точку неба. Солнце бывает только в полосе $\pm 23,5^\circ$ от небесного экватора. Ограниченность применения целостата традиционной конструкции обусловлена органично присущими ей недостатками.

В источнике [1] описан целостат – вспомогательное приспособление для неподвижно установленных телескопов, с помощью которых астрономы ведут наблюдение, и фотографирование небесных светил, перемещающихся вследствие видимого суточного вращения небесной сферы. Целостат состоит из 2-х плоских зеркал. Часовой механизм вращает одно зеркало вокруг оси, параллельной плоскости этого зеркала, и оси мира. Скорость одного оборота – 48 часов. Второе, неподвижное зеркало позволяет направить луч, идущий от небесного светила, в объектив телескопа.



Рисунок 1 – Фотография целостатной установки

На рисунке 1 приведена фотография целостатной установки, включающей 2 плоских зеркала – целостатное и дополнительное. Свет от Солнца падает на целостатное зеркало и в виде неподвижного пучка направляется на дополнительное зеркало, которое отражает пучок на объектив, строящий изображение Солнца в фокальной плоскости. Поскольку склонение Солнца меняется в течение года, солнечный свет будет падать на целостатное зеркало под разными углами. Следовательно, и отраженный пучок будет менять свое направление в зависимости от времени года. Чтобы этот пучок всегда попадал на дополнительное зеркало, надо иметь возможность менять относительное расположение целостата и дополнительного зеркала. Конструкция целостатной установки далека от совершенства. Она громоздка, неудобна в обслуживании, поскольку требует ежедневной перестройки, допускает работу только в экваториальном режиме. Очевидно также, что при больших углах падения (скользящем падении лучей) значительно уменьшается поле зрения.

Еще в 1908 году [2] американский физик Роберт Вуд построил зеркальный телескоп, в котором вогнутым зеркалом служила поверхность ртути во вращающемся тазу диаметром полметра. Роберт Вуд пытался использовать целостатную установку для того, чтобы скомпенсировать основной недостаток ртутного телескопа – невозможность его наклона. Однако его усилия не увенчались заметным успехом ввиду описанных выше недостатков, присущих целостатной установке. В 2009 году четырехметровый телескоп, основанный на этом принципе, вступил в строй в Индии. Он создавался международным консорциумом научных учреждений, финансировался Бельгией и Канадой. Недостаток телескопов такого рода – невозможность их наклонять, нацеливать и поворачивать вслед за объектом наблюдения – ведь тогда ртуть выльется из вращающегося сосуда. Однако при некоторых астрономических исследованиях этот недостаток принципиального значения не имеет и искупается простотой и дешевизной создания зеркал большого диаметра.

В описании к инновационному патенту РК [3] дано описание настольного телескопа с повышенным удобством использования. В вариантах исполнения прибора предусмотрено использование двухкоординатного целостата в комплекте с оптическим телескопом. Указана возможность использования двухкоординатного целостата с большими стационарными опти-

ческими, а также с космическими телескопами. Техническими результатами названы: улучшение качества изображения, оборачивание изображения, повышение компактности, расширение зоны применения, экономия ресурсов и энергии. Дальнейшее развитие эта тема получила в работе [4], где обозначена возможность применения двухкоординатного целостата в ртутных телескопах.

Ультразвуковые двигатели (USM-приводы, или пьезоприводы, или ультразвуковые приводы), [5] впервые примененные в объективах фирмы Canon в 2012г, используют абсолютно новый принцип, когда сила вращения формируется из энергии ультразвуковых колебаний. Базовая конструкция двигателя очень проста (рисунок 2), она состоит из статора и вращающегося ротора. нижняя часть статора состоит из эластичного металлического кольца с прикрепленным к нему пьезоэлектрическим керамическим элементом, а верхняя часть состоит из множества равноотстоящих выступов с поперечным сечением трапециевидной формы. Ротор представляет собой алюминиевое кольцо с пружиной в форме фланца в месте контакта со статором, поэтому ротор прижат к статору.

Основные возможности ультразвуковых приводов состоят в следующем:

1. Можно легко реализовать выходные характеристики с низкой скоростью и высоким крутящим моментом, что позволяет выполнять прямое перемещение без использования понижающей зубчатой передачи.
2. Они имеют большой момент удержания. Другими словами, когда двигатель останавливается, ротор автоматически удерживается на месте тормозом диска.
3. Их конструкция предельно проста.
4. Обладают хорошей управляемостью и реакцией при запуске и остановке.
5. Предельно тихо работают (практически бесшумно).
6. Имеют высокую эффективность и низкое энергопотребление, что позволяет приводить USM-привод в действие от элементов питания фотокамеры.
7. Кольцевая форма USM-привода является оптимальной для встраивания в тубус объектива.
8. низкая скорость вращения оптимально подходит для привода объектива.
9. Возможно непрерывное изменение скорости вращения в широком диапазоне, что обеспечивает высокую точность и высокую скорость управления приводом объектива.

10. Стабильность их работы достигается в самых жестких условиях, при использовании в широком диапазоне температур.

Теоретическая модель телескопа с двухкоординатным целостатом

На рисунке 3 приведена принципиальная оптическая схема телескопа с двухкоординатным целостатом.

Здесь 1 – длиннофокусный объектив Максудова, состоящий из мениска 2, главного зеркала 3 и вторичного зеркала 4. Для поворота лучей в окуляр служит призма полного внутреннего отражения 5. Окуляр 6 предназначен для рассматривания изображения, созданного объективом Максудова 1. Между призмой 5 и окуляром может располагаться фокусировка (не обозначена). К верхней части объектива Максудова крепится двухкоординатный целостат, представленная двумя практически одинаковыми узлами, соединенными перпендикулярно друг к другу. Первый узел состоит из первого USM-привода 7 с присоединенным первым диагональным зеркалом 8. Второй узел состоит из второго USM-привода 9 с присоединенным вторым диагональным зеркалом 10. Элементы 7-10 образуют собственно двухкоординатный целостат, который обеспечивает наведение на любой объект по двум координатам – высоте и азимуту. Вместо зеркал 8 и 10 могут быть использованы призмы полного внутреннего отражения. Описанная конструкция может быть установлена на азимутальную или экваториальную монтировки традиционной конструкции, что придаст ей дополнительные функции, например, возможность работы в обычном режиме после снятия целостата. В общем случае вместо примененного нами телескопа Максудова может использоваться любой другой телескоп, в том числе описанный выше ртутный или же космический.

Анализ перспектив использования USM-приводов в конструкции двухкоординатного целостата

В настоящее время в подобных устройствах (например, традиционных астрономических монтировках, гониометрах, применяемых на ускорителях) используются электромагнитные приводы. Двигатели этого типа довольно сложны и содержат сотни деталей. При дальнейшем уменьшении размеров усложняется процесс сборки, а также теряется эффективность двигателя.

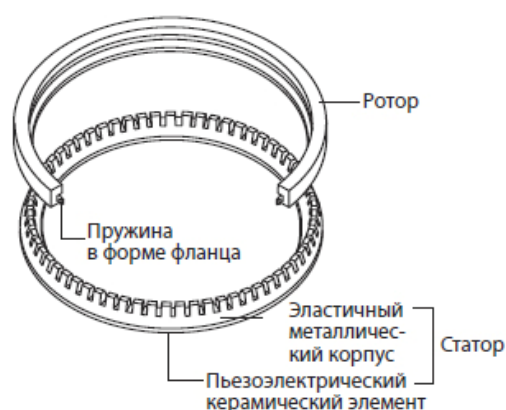
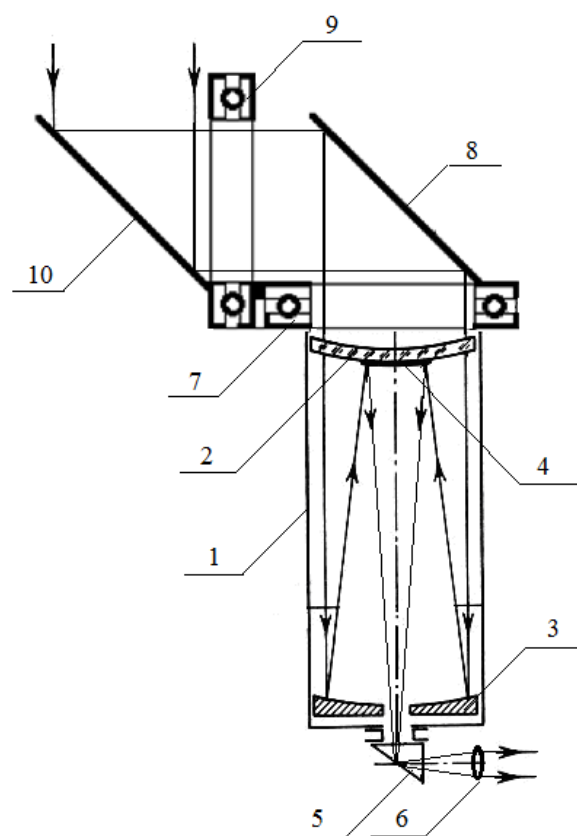


Рисунок 2 – Конструкция кольцевого USM-привода



- 1 – объектив Максудова; 2 – мениск; 3 – главное зеркало;
- 4 – вторичное зеркало; 5 – призма полного внутреннего отражения; 6 – окуляр; 7 – первый USM-привода;
- 8 – первое диагональное зеркало; 9 – второй USM-привод;
- 10 – второе диагональное зеркало.

Рисунок 3 – Принципиальная оптическая схема телескопа с двухкоординатным целостатом

Для намотки катушек статора приходится использовать более тонкий провод, который имеет более высокое сопротивление. В большинстве случаев для получения приводов на базе электродвигателей необходимо применение дополнительных механических передач и редукторов. При этом возрастают размеры всего устройства в целом, а значительная часть энергии тратится на преодоление трения в механических передачах.

USM-приводы могут с успехом использоваться в тех областях техники, где необходимо достижение минимальных угловых и линейных перемещений. Основные преимущества USM-приводов при их установке в двухкоординатном целостате состоят в следующем:

1. Можно легко реализовать выходные характеристики с низкой скоростью и высоким крутящим моментом (USM может генерировать большее количество энергии на более низких скоростях, чем обычный двигатель, который вращается электромагнитной силой), что позволяет выполнять прямое перемещение без использования понижающей зубчатой передачи. В отдельных случаях это позволит отказаться от тяжелых противовесов.

2. Большой момент удержания. Другими словами, когда USM-привод останавливается, вращающаяся часть автоматически удерживается на месте тормозом.

3. Конструкция USM – приводов предельно проста, они имеют практически неограниченный срок службы.

4. Хорошая управляемость и реакция при запуске и остановке.

5. Предельно тихая работа, это улучшает условия труда.

6. Высокая эффективность и низкое энергопотребление позволяют приводить USM-приводы в действие от автономных элементов питания.

7. Кольцевая форма привода является оптимальной для встраивания в конструкцию целостата.

8. Низкая скорость вращения оптимально подходит для привода целостата в режиме ведения объекта.

9. Беспрецедентно малый шаг, реализуемый в USM – приводе (0,01 угловой секунды!) обеспечивает высокое качество фотографий в режиме астрофотографирования.

10. Возможность непрерывного изменения скорости вращения в широком диапазоне обеспечивает высокую точность и высокую скорос-

ть управления приводами целостата в режимах поиска объекта и дальнейшего его ведения.

11. Стабильность работы приводов достигается в самых жестких условиях, при использовании в широком диапазоне температур вплоть до 300 градусов Цельсия. Некоторые из них могут работать в вакууме, в сильных магнитных полях, в условиях повышенной радиации, при погружении в воду или в масло. Это обеспечивает высокую эффективность их работы при установке на целостаты космических телескопов.

12. Точность позиционирования может достигаться без использования датчиков положения благодаря тому, что движение происходит без проскальзывания, и перемещение прямо пропорционально числу импульсных сигналов. Это позволит отказаться от сложных схем контроля.

13. USM-приводы практически безинерционны, обеспечивают отличную приемистость (движение с ускорением до 10g), это их свойство обеспечивает оперативность перенацеливания целостата.

Из анализа этих пунктов следует, что USM-привод идеально подходит для использования в конструкции двухкоординатного целостата.

Описание макета телескопа

Для проверки работоспособности предложенной модели телескопа был изготовлен и испытан ее рабочий макет, в основе своей отражающий основные качества модели.

На рисунке 4 приведена фотография макета, где на станине 1 неподвижно закреплена стойка 2. Крепление 3 служит для перемещения конструкции по высоте с возможностью фиксации. Шаровое сочленение 4 неподвижно закреплено на креплении 3 и служит для установки конструкции под необходимым углом, в том числе вертикально. Вертикальность конструкции необходима для работы в азимутальном режиме и контролируется при помощи пузырькового уровня 5. На шаровом сочленении закреплен объектив 6 схемы Максудова. В нижней части объектива 6 установлен окулярный блок 7, включающий поворотную призму полного внутреннего отражения и сменный окуляр с фокусировкой. Двухкоординатный целостат 8 установлен на верхней части объектива Максудова. Противовес 9 состоит из стержня с резьбой и груза и служит для уравновешивания внешнего блока целостата.

Конструкция целостата

Следует более подробно остановиться на конструкции целостата, реализованного в данном макете (рисунок 5).

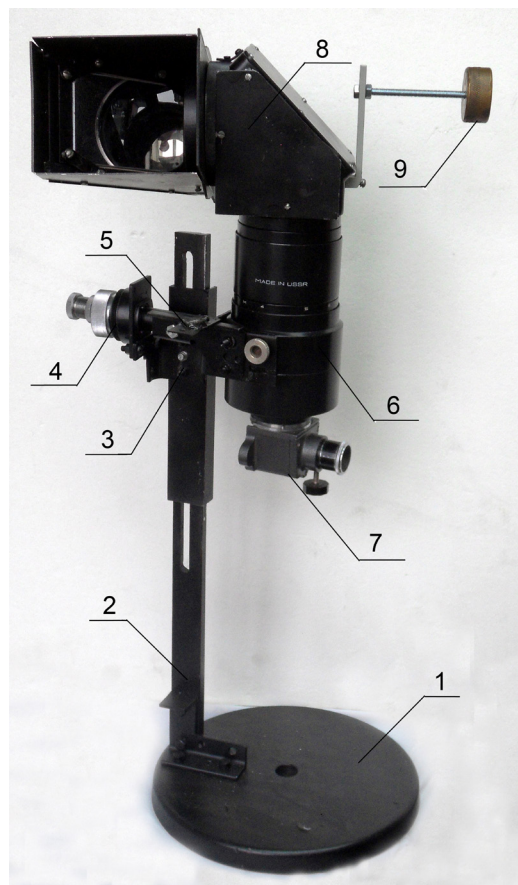
елостат представлен двумя практически одинаковыми блоками, каждый из которых включает кольцевое резьбовое соединение и диагональное зеркало. К функциям целостата относятся поиск объекта наблюдения, наведение на него. В случае наблюдения небесного объекта возникает необходимость его “ведения”, т.е., компенсация суточного вращения Земли. И хотя в представленной модели предполагается использование пьезоприводов, ввиду невозможности их изготовления в наших условиях они были заменены кольцевыми резьбовыми соединениями. В перископном режиме используется только один блок, наружный снимается. Вместо диагональных зеркал могут быть использованы призмы полного внутреннего отражения, функционально им аналогичные.

Рабочий макет телескопа в экваториальном режиме работы

Макет может работать также в экваториальном режиме (рисунок 6). Сначала оптическую ось объектива Максудова необходимо выставить в направлении Полюса Мира.

Для этого с него снимается двухкоординатный целостат, и телескоп наводится на Полярную звезду. Это осуществляется посредством шарового сочленения и поворота станины. Затем производится установка на вход телескопа целостата, поиск объекта и наведение на него путем вращения кольцевых резьбовых соединений. После нахождения объекта производится его ведение только по одной координате (смещением внутренней кольцевой резьбы). В случае использования пьезопривода с компьютерным управлением такое ведение сможет осуществляться автоматически. Кроме того, в данном случае можно значительно упростить конструкцию и вести объект посредством часового механизма или же шагового электродвигателя. Была отработана методика работы на макете также в азимутальном, фотографическом, горизонтальном и перископном режимах.

Естественно, экваториальный режим может использоваться и в конструкциях больших стационарных, в том числе солнечных, телескопов. В этом случае телескоп должен неподвижно располагаться под углом к горизонту, соответс-



1 – станина; 2 – стойка; 3 – крепление; 4 – шаровое сочленение; 5 – пузырьковый уровень; 6 – объектив Максудова; 7 – окулярный блок с поворотной призмой; 8 – двухкоординатный целостат; 9 – противовес.

Рисунок 4 – Фотография рабочего макета телескопа с двухкоординатным целостатом

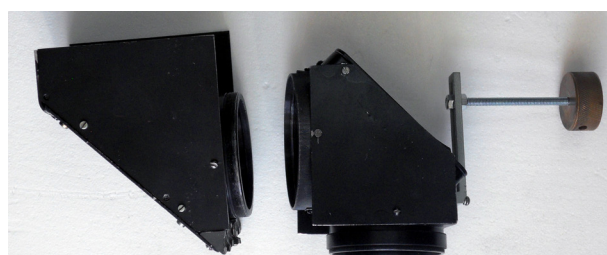


Рисунок 5 – Фотография целостата в разъятном виде

твующему географической широте местности, таким образом, чтобы его главная оптическая ось была параллельна Оси Мира.



Рисунок 6 – Фотография макета в экваториальном режиме

Заключение

Проведенные исследования выявили перспективность использования USM-приводов в

конструкции двухкоординатного целостата. После дополнительных доработок производителем данная модель может быть рекомендована к тиражированию.

Использование технических решений, воплощенных в данной модели, открывает большие возможности для дальнейшего технического творчества, как любителей, так и профессиональных конструкторов. Необходимо отметить удобство работы с небольшими телескопами, снабженными подобными целостатами, так как в этом случае окуляр остается неподвижным.

Использование двухкоординатных целостатов позволит отказаться от громоздких монтажных конструкций традиционной конструкции и строить корпуса обсерваторий гораздо более скромных размеров. Сам телескоп в этом случае будет оставаться неподвижным, что приведет к значительному упрощению всей конструкции. Это приведет к экономии ресурсов и энергии на термостатирование здания обсерватории и главного зеркала. В перспективе возможно использование таких целостатов в ртутных и космических телескопах. В Космосе двухкоординатный целостат обеспечит наведение на объект наблюдения без необходимости разворота всего спутника.

Можно использовать устройства, подобные двухкоординатным целостатам в других устройствах, работающих не только “на прием”, но и “на излучение”. Например, для перенаправления узконаправленного электромагнитного излучения, частота которого выходит за рамки видимого диапазона. В области радиолокации можно будет перенаправлять электромагнитные волны в любую точку небесной сферы, если вместо диагональных зеркал поставить отражающие эти волны плоские поверхности. Использование таких устройств в лазерных системах позволит оперативно перенаправлять лазерный луч без вращения корпуса лазера.

References

- 1 <https://ru.wikipedia.org/wiki/Целостат>
- 2 cunc.ru/rtutnyi-teleskop.html
- 3 Shakirov A.L. Zayavka na izobrenie “teleskop” // №2012/1350.1 ot 20.12.2012. Innovatcionny patent RK PK №27653.
- 4 Shakirov A.L., D'yatkov V.V. Model teleskopa s nepodvijnym okulyarom // Sbornik trudov: 8-ya Mejdunarodnaya nauchnaya konferenciya “Sovremennye dostizheniya fiziki I fundamentalnoe fizicheskoe obrazovanie” RK, Almaty, 9-11oktyabrya 2013. – S.226-227.
- 5 <http://www.shtapov.ru/fotomekhanika/9/86/>