

УДК 681.7.068

РАЗРАБОТКА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА БОЛЬШИХ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ СТАРТОВОЙ ПЛОЩАДКИ КОСМОДРОМА

Кукушкин А. Н

Научный руководитель - д.т.н. профессор Мурашкина Т. И.

Пензенский государственный университет, ул. Красная 40, Пенза, Россия
kukushkin.97@mail.ru

Ключевые слова: волоконно-оптический; датчик угла; угловое перемещение;
ферма-опора.

В данном докладе рассматривается альтернативная конструкция волоконно-оптического датчика больших угловых перемещений для стартовой площадки космодрома и перспективы его внедрения.

В настоящее время на стартовых площадках космодромов при запуске ракет используются системы контроля угловых перемещений ферм-опор (рисунок 1).

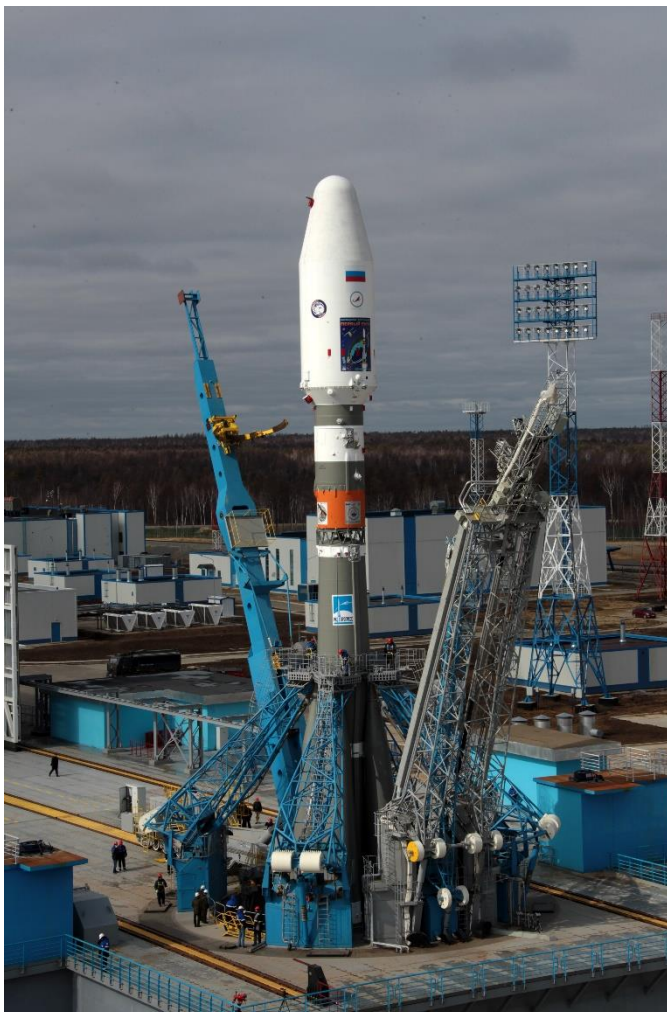


Рисунок 1 – Фермы-опоры на стартовой площадке

Для определения угловых перемещений используются тросиковые датчики угловых перемещений (рисунок 2), реализующие электромеханический принцип работы, что является не самым лучшим решением из-за недостаточной искро-взрыво-пожаробезопасности конструкции, чувствительности к помехам, вызванным электромагнитными импульсами различной природы.



Рисунок 2 - Внешний вид тросикового датчика угловых перемещений

Перспективно обеспечить внедрение волоконно-оптических датчиков угловых перемещений для решения задачи уменьшения массы измерительных средств и кабельных сетей, обеспечения повышенной искро-взрыво-пожаробезопасности и помехоустойчивости.

В ходе патентного поиска выявлены различные волоконно-оптические датчики угловых перемещений различных конструкций, в том числе и датчики наклона, но ни один из них не способен контролировать угол отклонения более чем на 10° (примеры на рисунках 3, 4).

На основании исследований возможных принципов преобразования измерительной информации в изменение параметров оптического сигнала определено, что необходимо сконцентрировать усилия на разработке простых, надежных и универсальных с точки зрения конструктивных и схемных решений волоконно-оптических датчиков угловых перемещений.

В связи с необходимостью улучшения мер безопасности на стартовых площадках космодромов была произведена разработка волоконно-оптического датчика больших угловых перемещений для контроля перемещений ферм-опор.



ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Диапазон измерений, град	10(±5)
Разрешение, град	0,002
Чувствительность, пм/град	500
Максимальная ошибка калибровки, град	0,05
Рабочий диапазон температур, °С	-20 ... +80
Диапазон длин волн, нм	1500 - 1600
Коэффициент отражения	>65
Материал корпуса	нержавеющая сталь
Тип соединения	по требованию
Габариты, мм	220x140x43
Вес, кг	3,3

Рисунок 3 - Волоконно-оптический датчик угла наклона ASTRO A541 и его характеристики



Технические характеристики

Параметр / Артикул	OSI - 570
Центральная длина волны, нм	1510 ± 1590
Тип датчика	концевой / проходной
Диапазон измерения, °	± 5
Разрешение, % FS	< 0.01
Точность измерения, % FS	< 0.1
Температурная компенсация	есть
Температурный рабочий диапазон, °C	- 20 ÷ +80
Длина кабеля, м	1
Тип разъема	FC/APC
Габаритные размеры, мм (Д x Ш x В)	97 x 32 x 106
Способ крепления датчика	механическое крепление

Рисунок 4 - Волоконно-оптический датчик угла наклона OSI – 570
и его характеристики

Первая модель основывалась на принципе действия модуляции оптического сигнала при изменении углового положения линзы относительно рабочих торцов оптических волокон.

Исходя из уже известных конструкций, был выбран в качестве воспринимающего элемента маятник, в центре подвеса которого закреплен оптический модулятор в виде цилиндрической или шарообразной линзы. При изменении положения опоры, на которой неподвижно закреплен датчик, происходит отклонение маятника с линзой, изменение положения линзы изменяет направление светового потока, благодаря которому становится возможным зафиксировать новое значение угла отклонения. Именно этот способ модуляции позволяет фиксировать угловые отклонения до 30°. Ход светового потока от подводящего оптического волокна (ПОВ) через линзу к отводящему оптическому волокну (ООВ) изображен на рисунке 5.

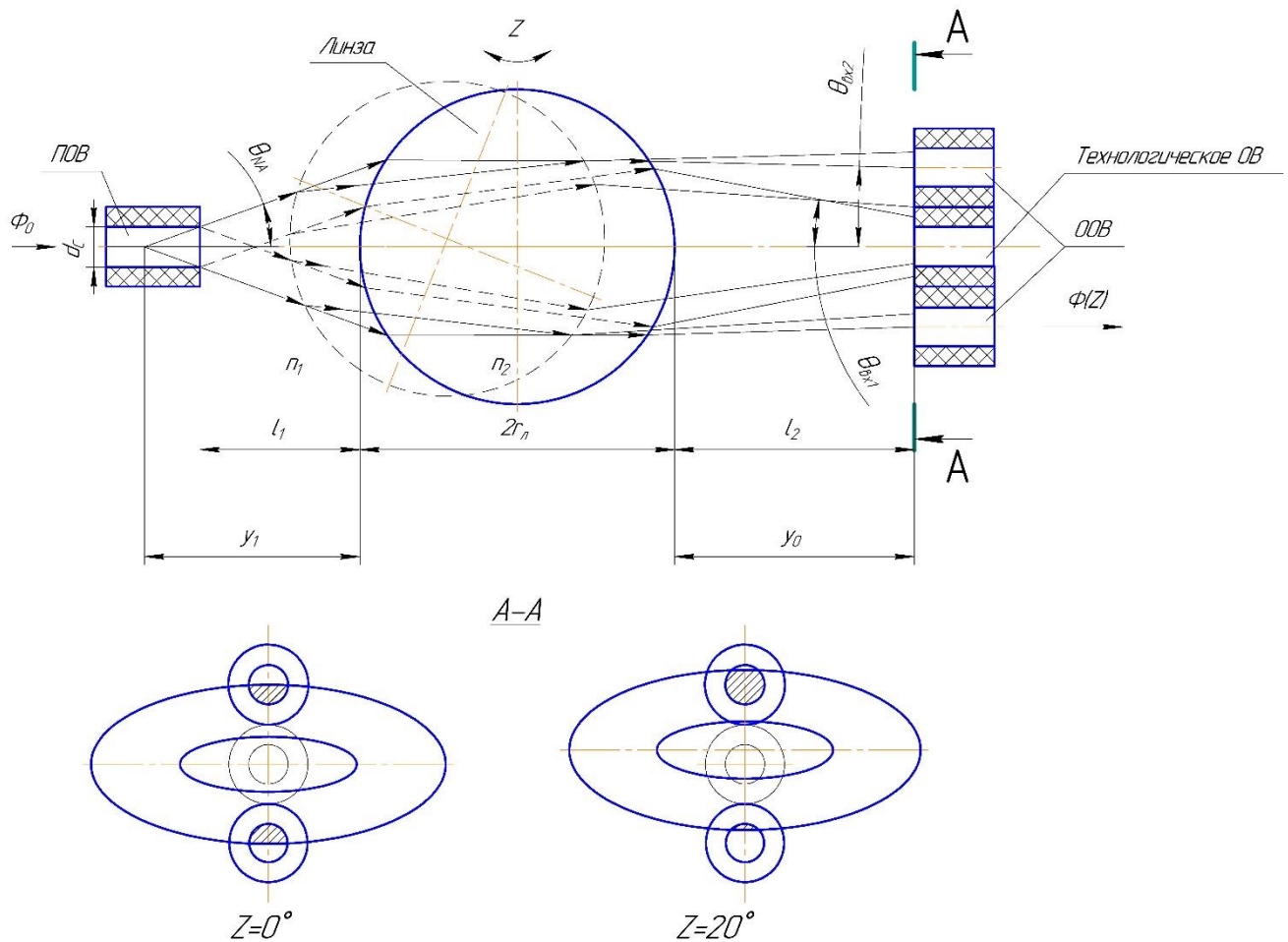


Рисунок 5 – Ход светового потока в датчике

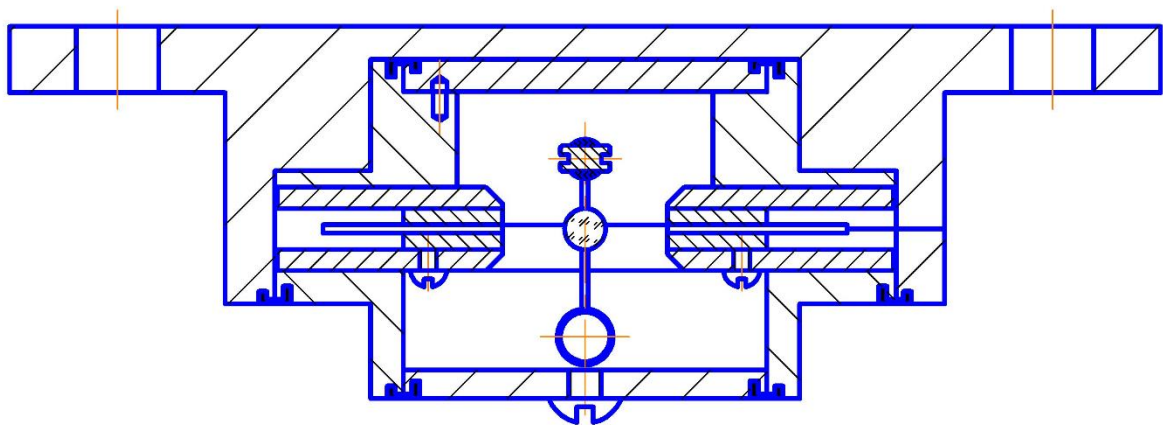


Рисунок 6 - Конструкция первой модели волоконно-оптического датчика
 больших угловых перемещений

Из-за сложности юстировки линзы на этапе сборки, было принято решение опробовать другие методы взаимодействия со светом. Одним из наиболее удачных методик оказался с применением аттенюатора.

Переработана конструкция маятника так, чтобы при изменении угла изменялась площадь отверстия, через которое проходит свет. За счет этого можно изменять мощность излучения. Как и в прошлой модели отклоняется опора маятника. Схема измерительного преобразователя датчика представлена на рисунке 7.

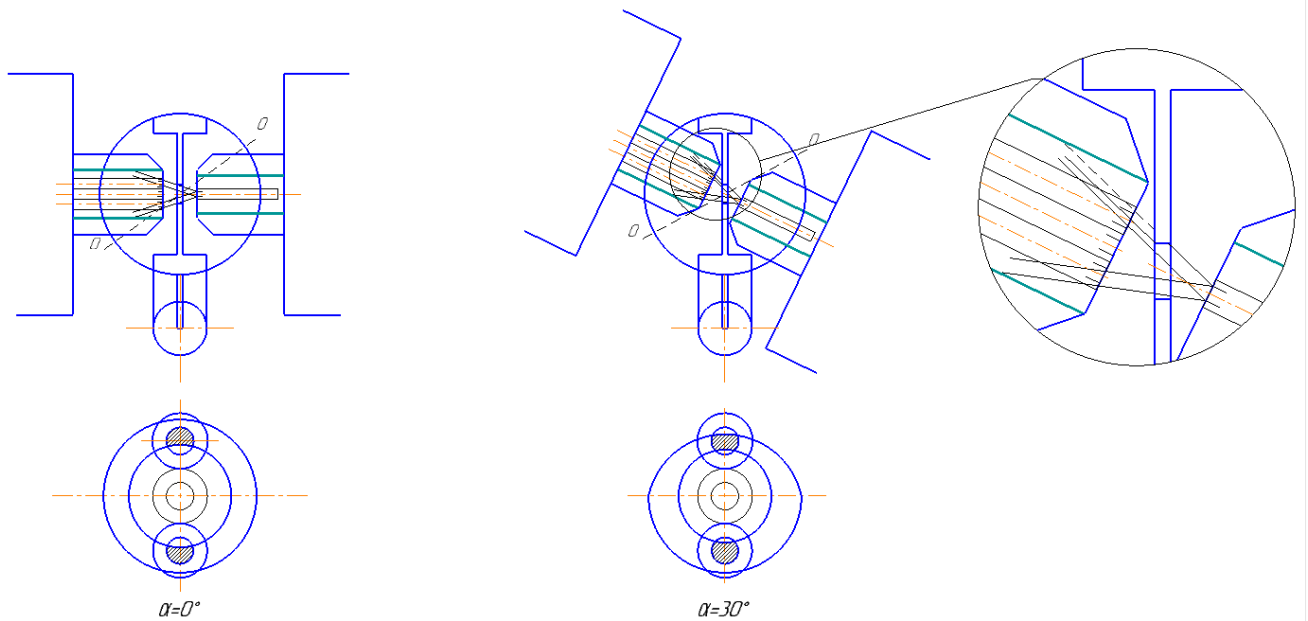


Рисунок 7 - Схема измерительного преобразователя

При разработке новой конструкции учитывается доступное на базе АО «НИИФИ» оборудование, оснастка, материалы и технологии производства. За счет особого процесса сборки будет упрощена юстировка аттенюатора (в сравнении методом модуляции). За счет перехода на керамические подшипники увеличится срок службы. Для транспортировки добавлен блокиратор маятника, в виде мембраны и винта. Предварительная конструкция представлена на рисунках 8, 9 и 10.

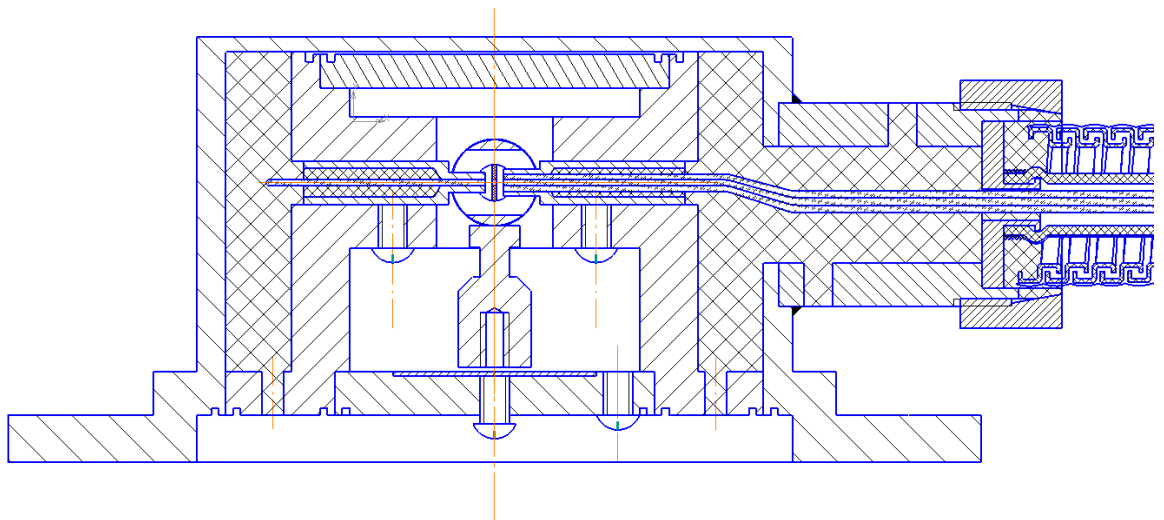


Рисунок 8 - Конструкция волоконно-оптического датчика больших угловых перемещений с применением аттенюатора

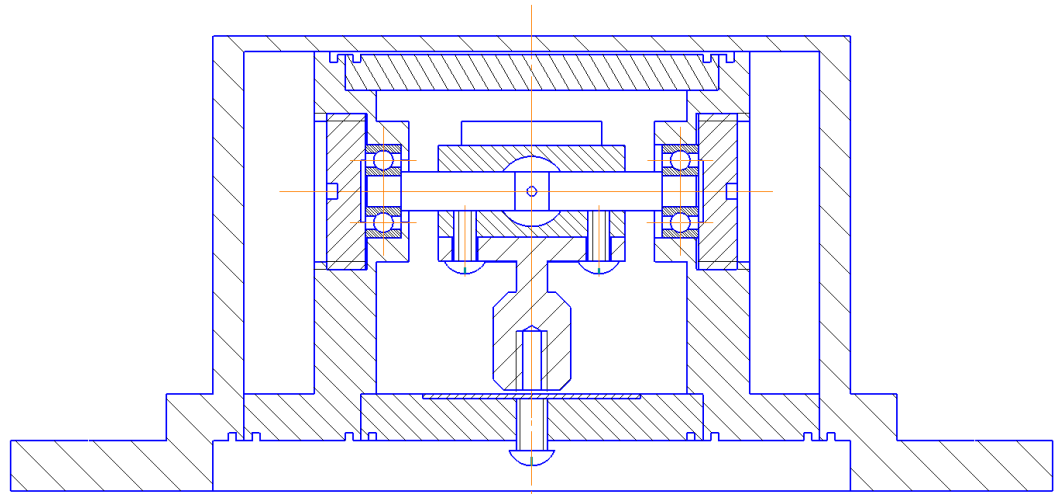


Рисунок 9 – Поперечный разрез датчика

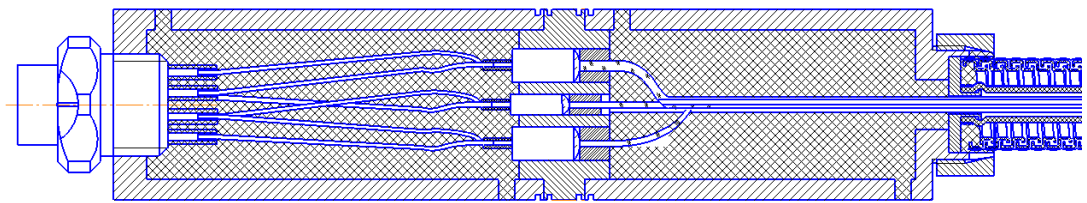


Рисунок 10 – Хвостовая часть датчика

Основными достоинствами является:

1. высокая чувствительность и быстродействие;
2. прочный герметичный металлический корпус, идеально подходящий для наружной установки датчика;
3. высокая помехозащищенность, нечувствительность к электромагнитным помехам, таким как СВЧ-поле, искровой разряд, магнитное поле, электро-магнитные импульсы различной природы и любой интенсивности;
4. абсолютная электробезопасность, связанная с отсутствием электрических цепей между датчиком и регистрирующим модулем;
5. искро-взрыво- и пожаробезопасность.

Исследование проводится при поддержке Фонда содействия инновациям по договору № 679ГУЦЭС8-D3/63696 от 11.12.2020 г. В результате будет разработана новая конструкция и технологическая последовательность изготовления волоконно-оптического датчика больших угловых перемещений, имеющего ряд преимуществ перед устройствами, применяющимися на стартовых площадках космодромов в настоящее время. Безусловно, устройство имеет потенциал, как в модернизации, так и внедрения

в другие отрасли промышленности. Таких как: нефтегазовая, атомная, военная. В перспективе создание линейки датчиков других физических величин с возможностью объединения их общую систему.

Библиографический список

- 1 Авторское свидетельство № 2310160, кл. G01B 11/26. Устройство для измерения угла наклона.
- 2 Авторское свидетельство № 2419765, кл. G01B 21. Волоконно-оптический преобразователь углового перемещения.
- 3 Авторское свидетельство № 2142117, кл. G01B 11/26. Микрорезонаторный волоконно - оптический датчик угловых перемещений
- 4 Авторское свидетельство № 2142615, кл. G01H 9/00. Мультиплексная система автогенераторных микрорезонаторных волоконно - оптических датчиков физических величин
- 5 Авторское свидетельство № 2548397, кл. G01C 9/12, Маятниковый датчик угла наклона
- 6 Авторское свидетельство № 2440556, кл. G01C 9/06, Датчик угла наклона
- 7 Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора: Справочник - Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1983.
- 8 Краткий физико-технический справочник; т 2. Под общей редакцией Яковлева К.П. - М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962.
- 9 Мурашкина Т.И. Теория, расчет и проектирование волоконно-оптических измерительных приборов и систем: Учебное пособие. - Пенза: Издательство Пензенского государственного университета, 1999.
- 10 Гауэр Дж. Оптические системы связи: Перевод с английского - М: Радио и связь, 1989
- 11 Transformation of Signals in the Optic Systems of Differenzial-type Fiber-Optic Transducers / T.I. Murashkina, E.A. Badeeva, O.V. Yurova, M.M.Savochkina, A. V. Motin // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11, [Iss. 13](#). – P. 2853–2857.
- 12 Mathematical simulation of the optical system of a fiber-optic measuring micro motion converter with a cylindrical lens modulation element/T I Murashkina, AV Motin, E A Badeeva// Journal of Physics: Conference Series (JPCS): 012101 – January 2017. – Vol. 803(1).
- 13 Справочник конструктора оптико-механических приборов. В.А. Ганов, М.Я. Кругер, В.В. Кулагин и др.; Под общей редакцией В.А. Панова. - Л: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1980.
- 14 Спецвыпуск «ФОТОН-ЭКСПРЕСС» Наука № 6_2005 ВОЗМОЖНОСТИ, Задачи и перспективы волоконно-оптических измерительных систем в современном приборостроении В.Б. Гармаш, Ф.А. Егоров, Л.Н. Коломиец

15 Журнал «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки» № 2 (42), 2017, Проблемы механической обработки корпусных деталей специзделий С. А. Нестеров, Д. А. Акимов, Н. Е. Артемова, А. С. Лемин

16 Журнал «Надежность и качество сложных систем» № 2 (18), 2017, Оценка вероятности безотказной работы по результатам испытаний, не давших отказы, В.С Михайлов.

17 Журнал «Надежность и качество сложных систем» № 4, 2013, Модернизированная волоконно-оптическая система измерения уровня жидкости, И.Т Назарова, Д.И. Серебряков, Т.Ю. Бростилова, Т.И. Мурашкина

18 Журнал «Надежность и качество сложных систем» № 1, 2013, Волоконно-оптический датчик деформации, С.А. Бростилов, Т.Ю. Бростилова, Мурашкина Т.И.