



УДК 681.7.068
doi:10.21685/2587-7704-2021-6-1-7



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Разработка волоконно-оптического датчика больших угловых перемещений для стартовой площадки космодрома

Алексей Николаевич Кукушкин

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

Аннотация. Рассматривается альтернативная конструкция волоконно-оптического датчика больших угловых перемещений для стартовой площадки космодрома и перспективы его внедрения.

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

Для цитирования: Кукушкин А. Н. Разработка волоконно-оптического датчика больших угловых перемещений для стартовой площадки космодрома // Инжиниринг и технологии. 2021. Т. 6(1). С. 1–6. doi:10.21685/2587-7704-2021-6-1-7

Development of a fiber-optic sensor of large angular displacement for the launch pad of the cosmodrome

Aleksey N. Kukushkin

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
Kukushkin.97@mail.ru

Abstract. This report discusses an alternative design of a fiber-optic sensor of large angular displacement for the launch pad of the cosmodrome and the prospects for its implementation.

Keywords: fiber-optic, angle sensor, angular movement, supporting truss

For citation: Kukushkin A.N. Development of a fiber-optic sensor of large angular displacement for the launch pad of the cosmodrome. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2021;6(1):1–6. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2021-6-1-7

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

Для определения угловых перемещений используются тросиковые датчики угловых перемещений (рис. 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.

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 поиска¹ 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 рис. 3, 4).

На основании исследований возможных принципов преобразования измерительной информации в изменении 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 [1–12].

© Кукушкин А. Н., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

¹ Авторские свидетельства: № 2310160, кл. G01B 11/26 «Устройство для измерения угла наклона»; № 2419765, кл. G01B 21 «Волоконно-оптический преобразователь углового перемещения»; № 2142117, кл. G01B 11/26 «Микрорезонаторный волоконно-оптический датчик угловых перемещений»; № 2142615, кл. G01H 9/00 «Мультиплексная система автогенераторных микрорезонаторных волоконно-оптических датчиков физических величин»; № 2548397, кл. G01C 9/12 «Маятниковый датчик угла наклона»; № 2440556, кл. G01C 9/06 «Датчик угла наклона».

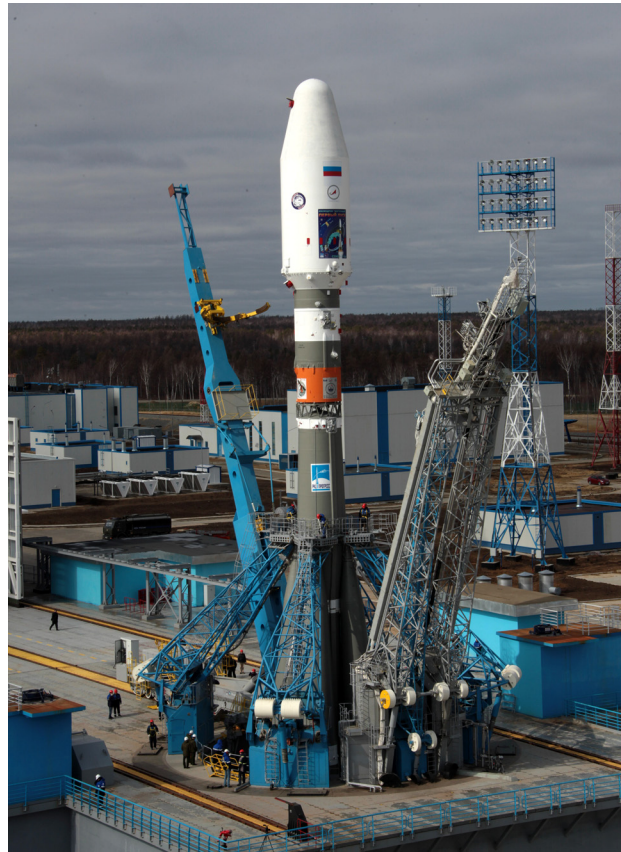


Рис. 1. Фермы-опоры на стартовой площадке



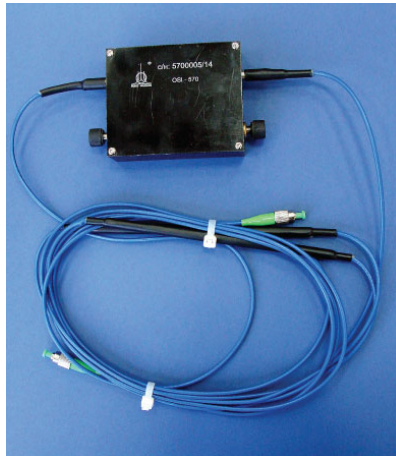
Рис. 2. Внешний вид тросикового датчика угловых перемещений



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

Рис. 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, °С	- 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

Рис. 4. Волоконно-оптический датчик угла наклона OSI-570 и его характеристики

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.

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 рис. 5.

Из-за сложности юстировки линзы на этапе сборки было принято решение опробовать другие методы взаимодействия со светом. Одной из наиболее удачных методик оказалось применение аттенюатора.

Переработана конструкция маятника так, чтобы при изменении угла изменялась площадь отверстия, через которое проходит свет (рис. 6). За счет этого можно изменять мощность излучения. Как и в прошлой модели, отклоняется опора маятника. Схема измерительного преобразователя датчика представлена на рис. 7.

При разработке новой конструкции используется 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 рис. 8–10.

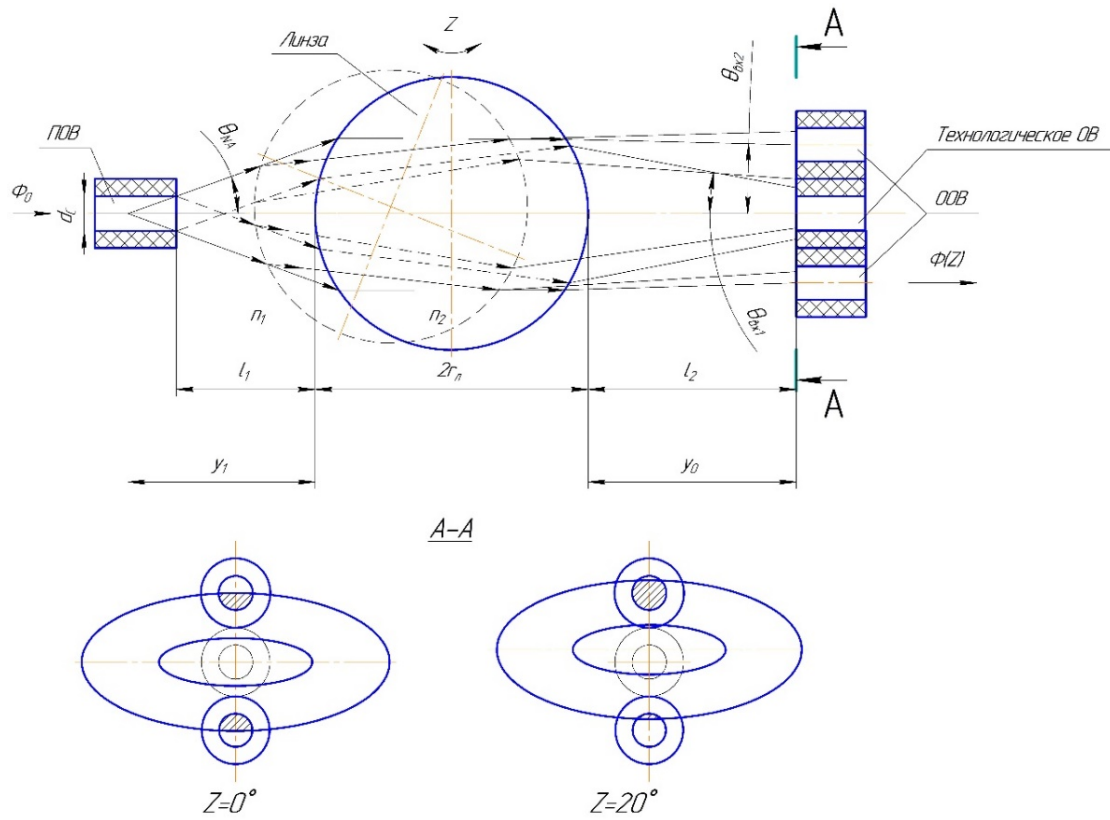


Рис. 5. Ход светового потока в датчике

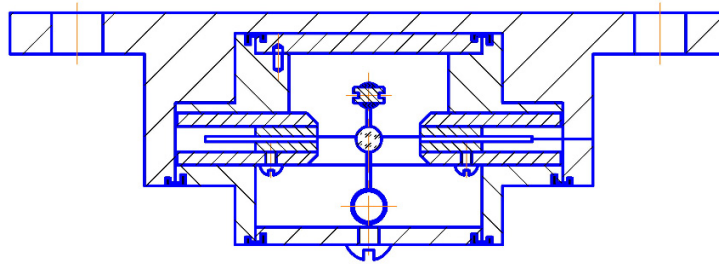


Рис. 6. Конструкция первой модели волоконно-оптического датчика больших угловых перемещений

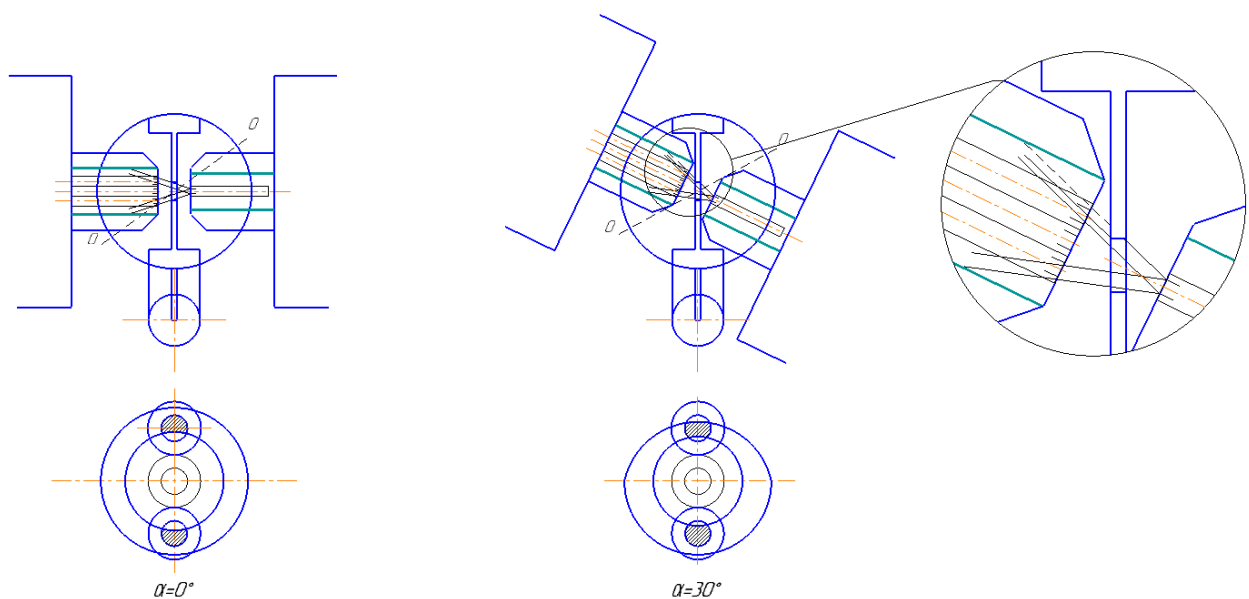


Рис. 7. Схема измерительного преобразователя

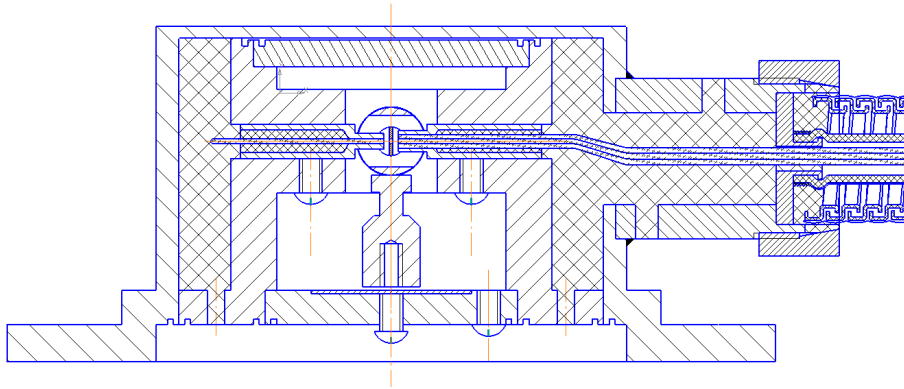


Рис. 8. Конструкция волоконно-оптического датчика больших угловых перемещений с применением аттенюатора

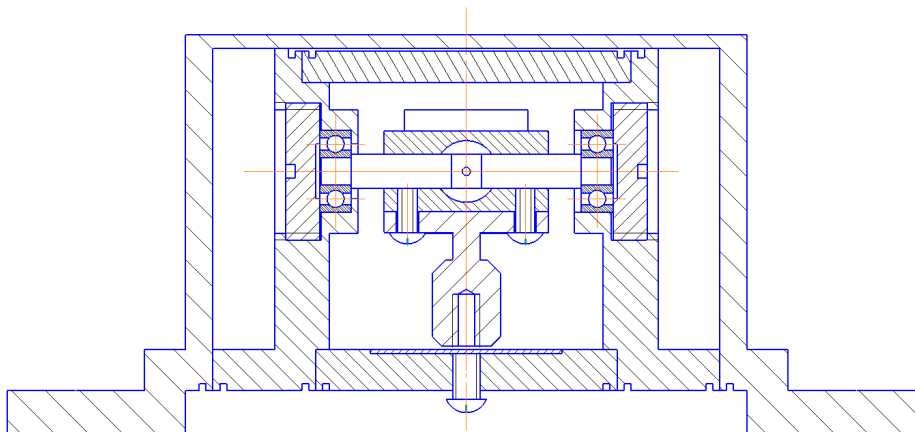


Рис. 9. Поперечный разрез датчика

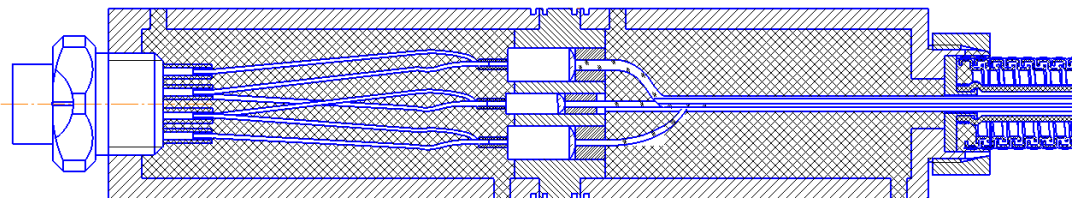


Рис. 10. Хвостовая часть датчика

Основными достоинствами являются:

- 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, электромагнитные 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 во внедрении в другие отрасли промышленности: нефтегазовую, атомную, военную. В перспективе создание линейки датчиков других физических величин с возможностью объединения их общую систему.



Список литературы

1. Мурашкина Т. И. Теория, расчет и проектирование волоконно-оптических измерительных приборов и систем : учеб. пособие. Пенза : Изд-во ПГУ, 1999. 188 с.
2. Гауэр Дж. Оптические системы связи : пер. с англ. М. : Радио и связь, 1989. 500 с.
3. Murashkina T. I., Badeeva E. A., Yurova O. V., Savochkina M. M., Motin A. V. Transformation of Signals in the Optic Systems of Differenzial-type Fiber-Optic Transducers // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11, iss. 13. P. 2853–2857.
4. Murashkina T. I., Motin A. V., Badeeva E. A. Mathematical simulation of the optical system of a fiber-optic measuring micro motion converter with a cylindrical lens modulation element // Journal of Physics: Conference Series (JPCS): 012101. 2017. Vol. 803(1). С. 012101.
5. Гармаш В. Б., Егоров Ф. А., Коломиец Л. Н. Возможности, задачи и перспективы волоконно-оптических измерительных систем в современном приборостроении // ФОТОН-ЭКСПРЕСС. 2005. № 6 (46). С. 128–140.
6. Нестеров С. А., Акимов Д. А., Артемова Н. Е., Лемин А. С. Проблемы механической обработки корпусных деталей специзделий // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки». 2017. № 2. С. 109–116. doi:10.21685/2072-3059-2017-2-10
7. Михайлов В. С. Оценка вероятности безотказной работы по результатам испытаний, не давших отказы // Надежность и качество сложных систем. 2017. № 2. С. 56–60. doi:10.21685/2307-4205-2017-2-8
8. Назарова И. Т., Серебряков Д. И., Бростилова Т. Ю., Мурашкина Т. И. Модернизированная волоконно-оптическая система измерения уровня жидкости // Надежность и качество сложных систем. 2013. № 4. С. 4–9.
9. Бростилов С. А., Бростилова Т. Ю., Мурашкина Т. И. Волоконно-оптический датчик деформации // Надежность и качество сложных систем. 2013. № 1. С. 93–98.

References

1. Murashkina T.I. *Teoriya, raschet i proektirovanie volokonno-opticheskikh izmeritel'nykh priborov i sistem: ucheb. posobie* = Theory, calculation and design of fiber-optic measuring devices and systems: textbook. Penza: Izd-vo PGU, 1999:188. (In Russ.)
2. Gauer Dzh. *Opticheskie sistemy svyazi: per. s angl.* = Optical communication systems: trans. from English. Moscow: Radio i svyaz', 1989:500. (In Russ.)
3. Murashkina T.I., Badeeva E.A., Yurova O.V., Savochkina M.M., Motin A.V. Transformation of Signals in the Optic Systems of Differenzial-type Fiber-Optic Transducers. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016;11(13):2853–2857.
4. Murashkina T.I., Motin A.V., Badeeva E.A. Mathematical simulation of the optical system of a fiber-optic measuring micro motion converter with a cylindrical lens modulation element. *Journal of Physics: Conference Series (JPCS): 012101*. 2017;803(1):012101.
5. Garmash V.B., Egorov F.A., Kolomiets L.N. Opportunities, tasks and prospects of fiber-optic measuring systems in modern instrumentation. *PHOTON-EXPRESS*. 2005;6(46):128–140. (In Russ.)
6. Nesterov S.A., Akimov D.A., Artemova N.E., Lemин A.S. Problems of mechanical processing of body parts for special products. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskije nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2017;2:109–116. (In Russ.). doi:10.21685/2072-3059-2017-2-10
7. Mikhaylov V.S. Evaluation of the probability of trouble-free operation based on the results of tests that did not give failures. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2017;2:56–60. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2017-2-8
8. Nazarova I.T., Serebryakov D.I., Brosttilova T.Yu., Murashkina T.I. Upgraded fiber-optic liquid level measurement system. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2013;4:4–9. (In Russ.)
9. Brosttilov S.A., Brosttilova T.Yu., Murashkina T.I. Fiber-optic strain sensor. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2013;1:93–98. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 30.01.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 02.03.2021

Принята к публикации / Accepted 11.03.2021