

• **ОПТИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА**[2023 \(29\)](#) [Первое информационное
сообщение](#)[Второе информационное
сообщение](#)[Третье информационное
сообщение](#)[Четвертое
информационное
сообщение](#)[Программный комитет](#)[Организационный
комитет](#)[Местный оргкомитет](#)[Организаторы](#)[Спонсоры](#)[Полученные доклады](#)[Программа](#)[Программа \(.pdf\)](#)[Авторский указатель](#)[Организации-участники](#)[Труды](#)[Дополнительная
информация](#)[Родственные конференции](#)[Онлайн регистрация,
приём докладов и оплата
участия](#)[2022 \(28\)](#) [2021 \(27\)](#) [2020 \(26\)](#) [2019 \(25\)](#) [2018 \(24\)](#) [2017 \(23\)](#) [2016 \(22\)](#) [2015 \(21\)](#) [2014 \(20\)](#) [2013 \(19\)](#) [Главная](#) / [Оптика атмосферы и океана](#) / [2023 \(29\)](#) / Труды

XXIX Международный Симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы"

26-30 ИЮНЯ 2023 ГОДА, МОСКВА

Труды

**Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы
XXIX Международного симпозиума.**

Электронный ресурс

Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2023. - 169 МВ. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: PC Pentium 1 или выше; Acrobat Reader 4.0 или выше.

ISBN 978-5-94458-196-9

© ИОА СО РАН, 2023

Содержание

1. [Конференция А. Молекулярная спектроскопия и распространение излучения в атмосфере и океане](#)
2. [Конференция В. Исследование атмосферы оптическими методами](#)
3. [Конференция С. Исследование океана оптическими методами](#)
4. [Конференция D. Физика тропосферы](#)
5. [Конференция Е. Физика средней и верхней атмосферы](#)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ СВЕРХЧУВСТВИТЕЛЬНОГО НАНОФОТОННОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

Михайлов И.О.¹, Штанько Е.И.²

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Россия

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Россия

e-mail: prooptiku@gmail.com, mik_kat@ngs.ru

В статье рассмотрено развитие идеи и конструктивной реализации нанопотонного датчика широкой сферы применения, предложенной авторами ранее. В работе исследуется возможность одного из конструктивных решений сверхчувствительного датчика давления, построенного на основе наноструктур, обеспечивающих миниатюризацию сенсоров и применение их в различных технических изделиях. На основе проведенного ранее математического моделирования процесса прохождения высокочастотного электромагнитного излучения через массив наноконусов, являющихся базовым элементом предлагаемой конструкции, приняты обоснованные решения о габаритных размерах конструкции, ее внутренней структуре и оптимальной частоте источника возбуждения поля. В данной работе решается, в частности, проблема защиты внутренней конструкции от внешних электромагнитных полей. Путем твердотельного моделирования подтверждается линейно-поступательное движение пластин датчика при внешнем нагружении в предложенной конструкции прибора.

Введение. Следующим шагом на пути миниатюризации технических устройств является переход от применяемых в настоящее время микродатчиков к нанодатчикам, размеры которых обычно не превышают 100-200 нм. Потребность во внедрении нанодатчиков возникает при изготовлении широкого круга технических изделий в различных прикладных областях. Для навигационных приборов активно ведется разработка инерциальных наносенсоров [1, 2]. В медицине, биологии и химии востребованы нанотермометры, позволяющие, например, производить неинвазивное и точное измерение внутриклеточной температуры [3], высокочувствительные газоанализаторы [4] и нановесы [5]. В геофизических приложениях наноэлектромеханические системы могут применяться на этапах мониторинга при нефтедобыче, при бурении скважин и для интенсификации процесса нефтеотдачи [6, 7].

В работах [8-10], опубликованных авторами ранее, приводится обоснование перспектив применения нанопотонных блоков в современных системах управления и контроля технических устройств, стремящихся к миниатюризации. Приводится теоретическое обоснование и математическое моделирование прохождения электромагнитного излучения через наноструктуру, представляющую собой динамически изменяющуюся систему из массива конических элементов.

Принцип работы датчика основан на изменении напряженности электромагнитного поля при прохождении через массив конических наноструктур, диаметр и плотность смыкания которых зависит от внешнего прилагаемого давления. Таким образом давление P (Па) является функцией напряженности электрического поля E' (В/м) на выходе датчика:

$$P = p(E'),$$

причем $E' = g(E, R, \varepsilon, \mu, \sigma)$, где E – напряженность электрического поля на входе датчика (В/м); ε – диэлектрическая проницаемость (Ф/м); μ – магнитная проницаемость (Гн/м); σ – удельная электропроводность (См/м); R – радиус конуса в сечении, проходящем через центр датчика (м).

Численное трехмерное моделирование рассматриваемой системы позволило получить результаты (рис. 1), которые могут быть реализованы в технических изделиях различного применения: датчики давления, датчики вибраций, датчики температуры, датчики контроля геометрических параметров поверхности и т.п. Выполненный с помощью математического моделирования подбор оптимальных габаритных размеров датчика и материалов для конусов наноструктуры и калибровка частоты источника излучения позволили добиться монотонного убывания функции интенсивности I (рис. 1.б).

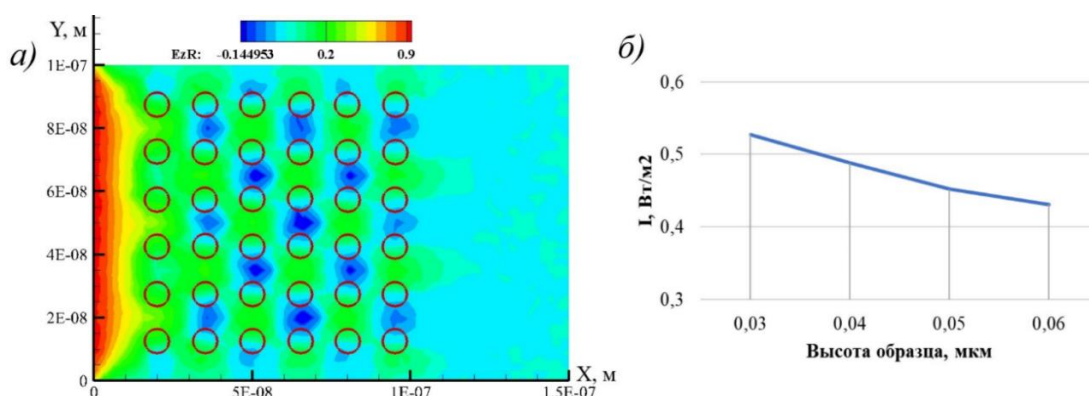


Рисунок 1 – а) график распределения действительной компоненты Ez в центральном сечении датчика при $h = 0.05$ мкм; б) график интенсивности I в контрольной точке p_0 в зависимости от высоты смыкания датчика (фактически – от радиуса конусов в сечении)

Предварительное конструктивное решение датчика давления. Высокая степень помехозащищенности датчика от влияния электромагнитного излучения определяется его конструкцией, исключающей элементы микроэлектроники. В соответствии с рис. 2 пирамидальные наноструктуры 1 и 2 размещены на основании 3 и упругом элементе датчика 4. Прикладываемая внешняя сила $F(H)$ приводит к взаимному смещению наноструктур. Величина их смещения функционально связана с изменением потока излучения в оптоволокне 5. Поток излучения подается в датчик и считывается с него через разъем 6.

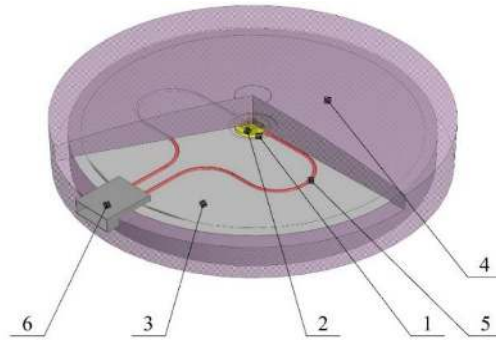


Рисунок 2 – Конструкция датчика давления

Компьютерное исследование твердотельной модели одного из вариантов датчика (рис. 3) с упругим элементом сферической формы и плоской площадкой диаметром 2 мм для приложения внешней силы подтвердило линейную зависимость деформации (перемещения) области с наноструктурой от прилагаемой внешней силы F (рис. 4). Переход от заданной величины силы прилагаемого внешнего воздействия F к давлению P осуществляется при известной площади поверхности S приложения силы F .

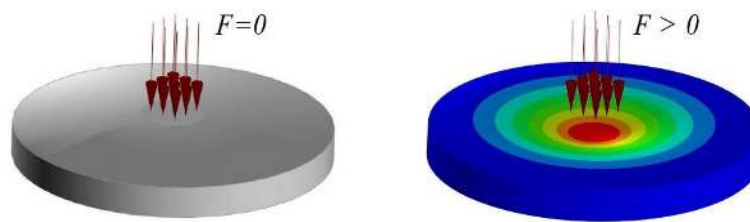


Рисунок 3 – Деформация датчика давления

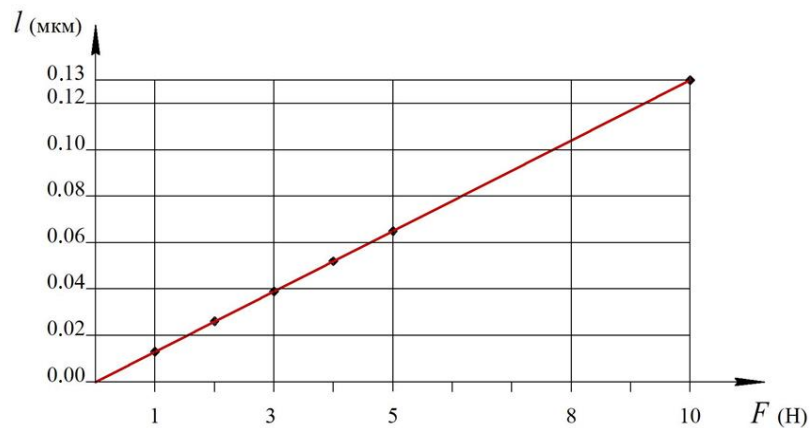


Рисунок 4 – Зависимость перемещения l наноструктуры от внешнего нагружения F , приложенного к центральной плоской площадке диаметром 2 мм, для рассматриваемого датчика

В данном варианте датчика давления с диапазоном измерения внешнего нагружающего воздействия от 1 до 10 Н упругий элемент изготовлен из пружинной стали и имеет толщину равную 1 мм. В диапазоне воздействия внешней силы F от 1 до 5 Н линейные перемещения элементов наноструктуры соответствуют проведенному ранее моделированию распространения электромагнитного поля в датчике при изменении высоты смыкания конических массивов

наноструктуры. Выбор материала, формы и толщины упругого элемента позволяет варьировать характеристики датчика в широких диапазонах.

Заключение. В работе предлагается предварительное конструктивное решение сверхчувствительного датчика давления на основе наноструктур, защищенного от воздействия внешних электромагнитных полей. Конструкция предлагается на основе проведенных ранее исследований. Варианты конструктивных решений могут быть расширены как в сторону измерения слабых воздействующих сил, так и в сторону их увеличения. В работе рассматривается датчик давления, но принцип его работы может быть применен, например, в датчиках измерения температуры, вибраций, ускорения и т.п.

Работа выполнена при поддержке проектов ФНИ № FWZZ-2022-0030.

1. *Ермаков Р.В., Попов А.Н., Скрипаль Е.Н., Калихман Д.М., Кондратов Д.В., Львов А.А.* Методы и результаты испытаний инерциальных датчиков, предназначенных для эксплуатации на летательных аппаратах вертолётного типа // XXIV Санкт-Петербургская международная конф. По интегрированным навигационным системам. 2017. С. 244-248.

2. *Барулина, М. А., Галкина, С. А., Кондратов, Д. В., Изнаилов, И. А., Сидорова, М. А.* Построение модели чувствительного элемента нанодатчика на основе новой модифицированной теории парных напряжений // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы XI Международной научно-практической конференции. 2021. №1(2).

3. *Ke G., Wang C., Ge Y., Zheng N., Zhu Z., Yang C.J.* L-DNA molecular beacon: a safe, stable, and accurate intracellularnano-thermometer for temperature sensing in living cells // Journal of the American Chemical Society. 2012. V. 134. No 46. P. 18908-18911.

4. *Шейкин М.* С точностью до молекулы. Виды и принципы работы наносенсоров // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2011. №1. С. 46-53.

5. *Mishra G.K., Sharma A., Bhand S.* Ultrasensitive detection of streptomycin using flow injection analysis-electrochemical quartz crystal nanobalance (FIA-EQCN) biosensor // Biosensors and Bioelectronics. 2015. № 67. P. 532-539.

6. *Крысько В.А., Папкина И.В., Яковлева Т.В., Захарова А.А., Жигалов М.В., Крысько А.В.* Динамика геометрически и физически нелинейного чувствительного элемента наноэлектромеханического датчика в виде неоднородной нанобалки, находящейся в температурном и шумовом полях // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. V. 331. № 5. С. 87-96.

7. *Воробьев А.Е., Ляныцы Ч., Воробьев К.А.* Развитие конструктивных особенностей нанодатчиков для нефтяной отрасли // Нефть и газ. 2019. №1. С. 116-134.

8. *Mikhaylov I.O., Shtanko E.I.* Three-dimensional computer modeling of the electromagnetic wave propagation process in a supersensitive nanophotonic pressure microsensors // Proc. SPIE. 2022. V. 12341. 1234105.

9. *Mikhaylov I.O., Shtanko E.I.* Computer simulation of wave processes in optical media for nanophotonic devices // Proceedings of SPIE. 2020. V. 11560. 115600Q.

10. *Mikhaylov I.O., Shtanko E.I.* Operation concept and computer simulation of the wave process in a highly sensitive nanophotonic pressure microsensors // Proceedings of SPIE. 2021. V. 11916. 119160c.