

На подвижной пластине 7 с помощью пластилина закрепляется планка 9 с отверстием, на которую предварительно натягивается и с помощью прозрачного скотча закрепляется полиэтиленовая пленка. Работа устройства осуществляется следующим образом. При включении электродвигателя каретка вместе с испытуемой иглой перемещается в направлении рамки с пленкой со скоростью  $v$ . В момент ее прокалывания испытуемой иглой происходит деформация упругих пластин, что фиксируется тензометрическими датчиками и регистрируется на экране осциллографа.

В дальнейшем необходимо проведение комплекса исследований различных типов хирургических игл с использованием различных материалов. Это позволит разработать дополнительные технические требования к хирургическим дугообразным иглам, усовершенствовать существующие отраслевые и государственные стандарты изготовления.

В конечном итоге это позволит для оценки остроты хирургических игл использовать количественные показатели, в частности, максимальное значение усилия прокалывания пленки из определенного материала.

## Литература

1. Бурых М.П. Операционная техника. Тесты, ответы, комментарии. – Харьков, 1995. – 132 с.
2. Бурых М.П. Основы технологии хирургических операций. – Харьков : РА и ООО «Знание», 1998. – 480 с.
3. Буянов В.М., Егиев В.И., Удотов О.А. Хирургический шов. – М. : ТОО «Рapid-Print», 1993. – 104 с.
4. Григорьев Е.Е. Приемы и способы, позволяющие надежно и быстро завязывать узлы при проведении хирургических операций (советы молодым хирургам). – СПб : Изд-во Буковского, 1996. – 143 с.
5. Золтан Я. *Cicatrix optima*. Операционная техника и условия оптимального заживления раны. – Будапешт : Изд-во АН Венгрии, 1983. – 175 с.
6. Слепцов И.В., Черников Р.А. Узлы в хирургии. – СПб : Салитмедкнига, 2000. – 176 с.
7. Федоров И.В., Сигал Е.И., Одинцов В.В. Эндоскопическая хирургия. – М. : ГЭОТАР «Медицина», 1998. – 350 с.

УДК 528.8; 629.78

## СОЗДАНИЕ МАЛОМАССОГАБАРИТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ НАНОСПУТНИКОВ

Беляев Б.И., Казак А.А., Кучинский П.В., Литвинович Г.С., Хомицевич А.Д.

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета, Минск, Республика Беларусь*

Проблема изменения климата, в котором важную роль играет атмосфера, ее оптически активные компоненты, приводит к необходимости организации мониторинга характеристик газового состава атмосферы и, в частности, глобальные непрерывные наблюдения за содержанием «парниковых» и «озоноразрушающих» малых газовых составляющих (МГС).

В НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ в рамках выполнения задания НТП Союзного государства «Технология-СГ» разрабатывается и изготавливается экспериментальный образец (ЭО) комплекта маломассогабаритных оптических датчиков (МОД) с различными оптическими диапазонами, на базе которых создается трехдиапазонный маломассогабаритный спектро радиометр (МСР) научной аппаратуры наноспутников для исследования МГС тропосферы Земли.

МОД предназначены для решения следующих фундаментальных задач, относящихся к физике и химии атмосферы:

– установление механизмов и скорости восстановления озона в атмосфере и получение ответа на актуальный вопрос: происходит ли восстановление содержания озона в атмосфере (ликвидация озоновых дыр), в соответствии

с существующими представлениями в данной области исследований;

– установление и уточнение источников аэрозолей и газовых примесей, которые влияют на качество приземного воздуха;

– выяснение и уточнение роли озона и аэрозолей в изменении климата;

– определение основных путей переноса аэрозолей и малых газовых примесей в атмосфере;

– выяснение степени количественных изменения потоков УФ радиации, достигающей поверхности планеты.

МОД с различными оптическими диапазонами будут определять количественное содержание МГС на основе измерений спектров рассеянного солнечного излучения методом спектроскопии дифференциального поглощения со спутников в спектральных диапазонах, содержащих полосы поглощения исследуемых газов.

Маломассогабаритный спектро радиометр МСР-08 предназначен в первую очередь для надирных наблюдений, но также позволяет реализовать и лимбовый метод измерения (рис. 1).

В случае надирной схемы в МОД поступает солнечное излучение отраженное земной поверхностью и дважды прошедшее сквозь слой

атмосферы, т. е. уходящее излучение атмосферы измеряется в вертикальном направлении или под различными углами к вертикали (вертикальное разрешение составляет 5-10 км и хуже, а горизонтальное может достигать ~2-3 км).

При лимбовых измерениях линия наблюдения направлена на горизонт Земли (вертикальное разрешение 1-4 км, горизонтальное – 200-300 км и более).

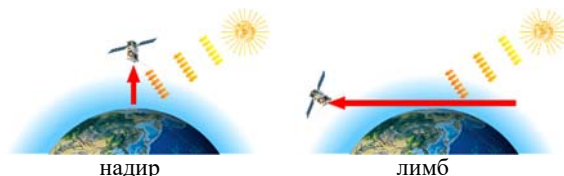


Рисунок 1 – Методика измерений

Поле зрения каждого элемента изображения и ширина полосы для каждого наблюдения определяется приемником излучения МОД спектро-радиометра и высотой орбиты спутника. Развертка по второй пространственной координате обеспечивается движением аппарата по орбите. Поскольку никаких мер по коррекции смаза изображения не будет предприниматься, то время накопления на детекторах прибора будет ограничено только горизонтальной скоростью космического аппарата.

Все МОД в составе МСР-08 имеют одинаковую логическую структуру и представляют собой моноблок, в который входит проекционный объектив; стандартный узел полихроматора: узел входной щели, дифракционная решетка с узлом юстировки или без, плоское поворотное зеркало; приемник излучения, размещенный на электронной плате контроллера МОД и представляющий собой приемную линейку с числом элементов 3648, что позволяет получать спектр высокого разрешения в диапазоне 0,3 ÷ 0,5 мкм. За счет движения спутника по орбите МОД позволит получать изображение эмиссий лимба Земли.

Электронная часть – одноплатный компьютер – расположена на тепловой панели, которая поддерживает необходимую рабочую температуру, контроль за которой осуществляется с помощью датчиков температуры.

В ходе реализации задания были промоделированы и оптимизированы оптические схемы полихроматоров МОД в программе для оптического моделирования ZEMAX для различных спектральных диапазонов с целью достижения максимального спектрального разрешения в соответствующих спектральных каналах. В результате сделаны следующие выводы: спектральные диапазоны МОД обеспечиваются применением различных вогнутых сферических голографических дифракционных решеток с расчетной плотность штрихов на мм, а также регулировкой ширины входных щелей полихроматоров; уменьше-

ние габаритов достигается вводом в оптическую схему поворотного плоского зеркала; требуемое спектральное разрешение достигается применением компактных многоэлементных неохлаждаемых приемников излучения линейного или матричного типа с высокой чувствительностью в УФ области.

Были изготовлены макеты оптических схем полихроматоров МОД и проведены их лабораторные испытания на метрологическом комплексе для спектрально-энергетических калибровок систем оптического дистанционного зондирования «Камяя».

В результате испытаний была определена зависимость аппаратной функции от ширины входной щели полихроматора МОД и проведена калибровка МОД по абсолютным значениям спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) при различных ширинах входных щелей, времени экспозиции сигнала и различной СПЭЯ диффузного излучателя комплекса «Камяя».

При испытаниях была выявлена зависимость выходного сигнала МОД от температуры, и на основании исследований определен калибровочный коэффициент температурной зависимости СПЭЯ.

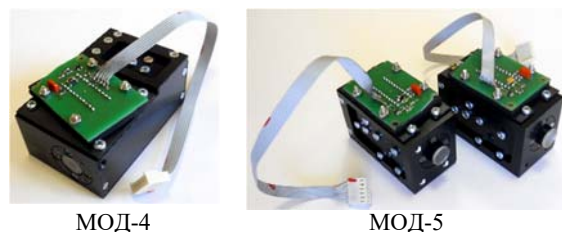


Рисунок 2 – Внешний вид ЭО МОД



Рисунок 3 – Внешний вид ЭО МСР-08 с закрытыми и раскрытыми панелями солнечных батарей

К настоящему времени разработаны экспериментальные образцы трех маломассогабаритных оптических датчиков (рис. 2): двух МОД-5 на спектральные диапазоны 300-500 и 470-500 нм и одного МОД-4 на диапазон 300-450 нм. Датчики МОД-5 имеют одинаковый конструктив и отличаются только дифракционными решетками и узлом входной щели, МОД-4 выполнен в другом конструктиве.

В конструктивном варианте компоновки ЭО маломассогабаритного спектро-радиометра МРС-8

(рис. 3) полихроматоры и контроллеры трех маломассогабаритных оптических датчиков (МОД-4 и двух МОД-5) размещены в алюминиевом корпусе формата 1U CubeSat размером  $10 \times 10 \times 10$  см. При этом для реализации методики измерений в надирной и касательной геометрии два объектива полихроматоров МОД на спектральный диапазон 300 - 500 и 470 - 500 нм направлены в надир, а третий объектив полихроматора на спектральный диапазон 300 - 450 нм направлен с помощью углового фоконя под  $30^\circ$

вниз относительно вектора скорости полета и в плоскости орбиты спутника.

Маломассогабаритные оптические датчики для регистрации спектров высокого разрешения и изображений с орбит высотой 510-550 км позволят получить новые знания об изменении климата Земли на основе проведения регулярных измерений содержания  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  и др. малых газовых составляющих тропосферы Земли с образовательных и исследовательских микро- и наноспутников.

УДК 53.082.5:621.373.826

### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОФИЛОМЕТРА С НАКЛОННЫМ ПАДЕНИЕМ СКАНИРУЮЩЕГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА

Рыжевич А.А.<sup>1,2</sup>, Балыкин И.В.<sup>1,2</sup>, Машенко А.Г.<sup>1</sup>, Смирнов А.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

В задачах бесконтактной оптической профилометрии различных поверхностей в качестве рабочего инструмента зачастую используются лазерные световые пучки. В работе [1] рассмотрена оригинальная конструкция профилометра, использующего сфокусированный цилиндрической линзой лазерный пучок, направленный не по нормали к приближенно плоской поверхности объекта, для исследования профиля этой поверхности. Суть предложенного в [1] профилометрического метода состоит в определении величины смещения  $\Delta L$  участка поверхности объекта от прямолинейной образующей по величине поперечного смещения  $\Delta l$  светового пятна в виде полосы с помощью CCD-камеры, оснащенной микроскопом. Для измерения величины смещения полосы был использован алгоритм, основанный на построении аппроксимации усредненного поперечного профиля интенсивности излучения одномерной функцией Гаусса. Однако в силу того, что в используемой схеме излучение падает на поверхность под углом, профиль интенсивности световой полосы на исследуемой поверхности в общем случае отличается от симметричного гауссова, и максимум найденной аппроксимирующей симметричной функции Гаусса, по которому определяется положение полосы, не совпадает с истинным максимумом профиля интенсивности, из-за чего точность измерений уменьшается.

Настоящая работа посвящена усовершенствованию программы для указанного профилометрического устройства путем нахождения аппроксимирующей функции, более точно описывающей профиль интенсивности световой полосы на поверхности исследуемого объекта.

Интенсивность рассеянного излучения в рассмотренной схеме пропорциональна интенсивности падающего, поэтому для построения аппрок-

симирующей функции необходимо получить выражение для поперечного профиля интенсивности пучка в месте «соприкосновения» с поверхностью.

Интенсивность в перетяжке гауссова пучка [1] задается выражением:

$$I(\rho, z) = I_0(z) \exp\left(-\frac{2\rho^2}{w^2(z)}\right), \quad (1)$$

где  $\rho$  – радиальная координата,  $z$  – продольная координата ( $z=0$  соответствует фокальной плоскости линзы),  $w$  – половинная ширина пучка по уровню  $1/e^2$  (рис. 2 [3]). При этом:

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2}\right)^2} \quad \text{или} \quad (2)$$

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{b}\right)^2},$$

где  $w_0$  – половинная ширина пучка по уровню  $1/e$  в перетяжке,  $\lambda$  – длина волны излучения,  $b = \pi w_0^2 / \lambda$  – рэлеевская длина.

Для определения явного вида  $I_0(z)$  необходимо учесть закон сохранения энергии, который для «одномерного» пучка сфокусированного цилиндрической линзой можно записать в форме:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} I(z, \rho) d\rho = \text{const} = P \quad (3)$$

Отсюда следует, что:

$$I_0(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{P}{w(z)} \quad (4)$$

Для определения параметра  $P$  использовано условие нормировки вида:

$$I(0, -f) = 1 \quad (5)$$

Суть его состоит в том, что интенсивность на оси пучка в плоскости линзы равна 1 относительной единице. Тогда: