

где бп – продолжительность баллистической паузы, Н – максимальная высота, h – минимальная высота, D – диаметр области, V1 и V2 – скорости ЛА в центральной и крайней точках соответственно.

Следует отдельно обратить внимание на область достижимости последней ступени (см. рис. 5) – кинетического перехватчика, оснащенного РДТГ коррекции положения и ориентации, с 10 высокочастотными соплами.

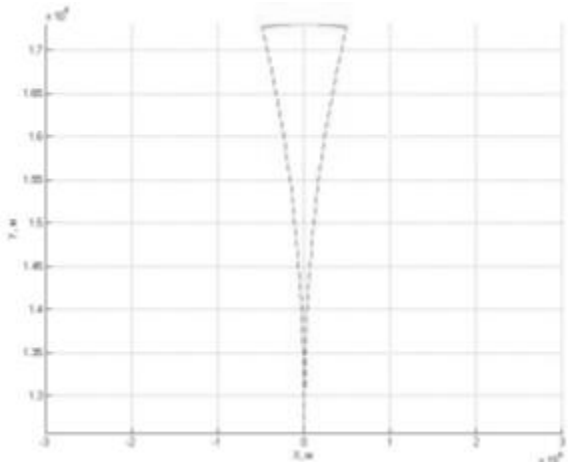


Рисунок 5 – Область достижимости кинетического перехватчика mk-142

Таблица 4

Н, м	h, м	D, м
52548	52606,27	9853

Как видно из таблицы 4 - максимальная боковая коррекция ступени перехвата составляет порядка 4,5 км на дальности полета в 52,5 км при

УДК 681.785.554

МАЛОАБЕРРАЦИОННЫЙ МОНОХРОМАТОР ИЗОБРАЖЕНИЯ С ВЫЧИТАНИЕМ ДИСПЕРСИИ

Гулис И.М., Купреев А.Г.

Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Спектроскопия с пространственным разрешением (СПР) это интенсивно развивающаяся область с приложениями в геологии, экологии, сельском хозяйстве, промышленности и других областях человеческой деятельности [1]. Задача СПР – получение изображения множества элементов исследуемой области пространства со спектральным разрешением от десятков нм (мульспектральный анализ) до долей нанометра (гиперспектральный анализ). Для эффективного использования СПР необходима специальная спектральная аппаратура, к которой предъявляются требования не только по спектральному разрешению, но и по изображающим характеристикам.

Анализ аппаратных решений для СПР позволяет сделать заключение о перспективности

отсутствии пассивного участка по окончании работы РДТГ второй ступени.

На основании выполненных расчетов можно сделать следующие заключения: максимальная высота поражения цели зенитной управляемой ракетой RIM-161 «Standard Missile 3» при учете принятых допущений и продолжительности баллистической паузы в 60 секунд составляет 256 километров при скорости в 2310 м/с, продолжительность полета при этом равняется 142 секундам. Максимальный радиус поражения целей при этих условиях составляет 238,5 км.

Результаты исследования, приведенные в таблице 3 и рисунках 2 и 3, подтверждаются тактико-техническими характеристиками и натурными испытаниями, в ходе которых на высоте 247 километров был поражен военный спутник USA-193 двигавшийся со скоростью 7580 м/с., что так же подтверждает достоверность аэродинамических коэффициентов, полученных в первой части исследовательской работы.

В связи с чем полученные результаты представляется возможным использовать в дальнейшем, при исследовании игровых методов наведения в околоземном пространстве.

1. Шалыгин А.С. «Аэродинамические характеристики летательных аппаратов». – СПб.: БГТУ, 2003. – 119 с.
2. Горохов А.В. «Зенитная управляемая ракета Standard-3 (SM-3/RIM-161)» [Электронный ресурс]. – <http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/sm3/sm3/shtml> – (дата обращения 25 августа 2014 г.)

разработки монохроматора изображения – прибора для узкополосной спектральной фильтрации на базе дисперсионного монохроматора. Использование диспергирующей системы для спектральной фильтрации потенциально обеспечивает улучшенное спектральное разрешение и подавление фона по сравнению с системами для мультиспектральной съемки на базе полосовых или перестраиваемых фильтров (значимость подавления фона существенно возрастает при уменьшении спектральной ширины выделяемой полосы). Отличие от систем со сканирующей щелью – независимость спектрального и пространственного разрешений, за счет чего возможно увеличение входной щели для единовременной регистрации всей входной апертуры в узком спектральном диапазоне. Для многих рутинных

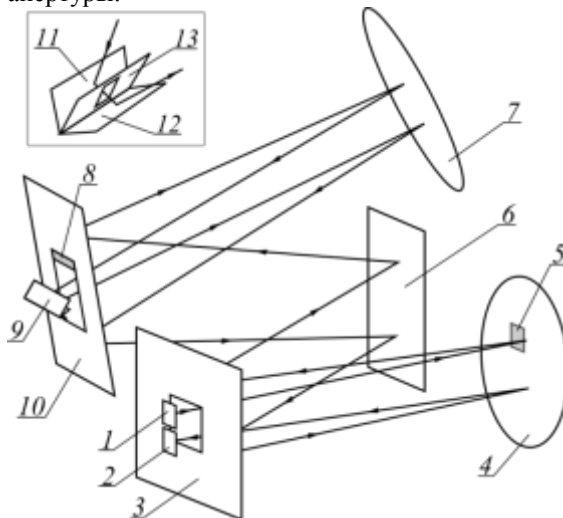
задач мультиспектральной съемки достаточно разрешение порядка 10 нм. В то же время, к изображающим характеристикам оптической системы прибора предъявляются гораздо более жесткие требования, чем к гиперспектрометрам со сканирующей щелью, поскольку требуется работать с протяженным в двух измерениях входным полем.

В работе [2] предложен метод мультиспектральной съемки с использованием двойного монохроматора с вычитанием дисперсии. Широкая входная апертура прибора формирует в фокальной плоскости камерного объектива первого монохроматора совокупность смещенных хроматических изображений, из которой при помощи щелевой маски выделяется участок. Он подается на вход второго монохроматора с вычитанием дисперсии, формирующего изображение входной апертуры без спектрального «размытия». Существенная особенность схемы – вычитание дисперсии обратным прохождением выделенного маской пучка через ту же оптическую систему, что автоматически обеспечивает требуемую идентичность двух монохроматоров и позволяет сканировать по спектральному диапазону поворотом диспергирующего элемента. Симметричный разворот светового пучка для обратного прохождения осуществляется двумя плоскими зеркалами, расположенными подобно уголкового отражателю так, что в их биссекторной плоскости формируется промежуточное изображение. Показано, что спектральное разрешение при таком способе регистрации не зависит от размера входной апертуры, а определяется шириной щелевой маски; пространственное разрешение лимитируется аберрационными характеристиками изображающей системы и пиксельностью детектора.

Для уменьшения оптических аберраций системы (в первую очередь, астигматизма и комы) предложен вариант оптической схемы, в котором минимизировано отклонение световых пучков от осей сферических зеркальных объективов (рисунок 1). Пучок от входной апертуры 1 коллимируется объективом 4, после отражения от плоского зеркала 3 падает на дифракционную решетку 6. Диспергированные компоненты посредством плоского зеркала 10 направляются на объектив 7, формирующий в плоскости маски 13 совокупность хроматических изображений апертуры. Выделенные маской хроматические световые пучки идут симметрично прямому прохождению и после вычитания дисперсии решеткой 6 пространственно совмещаются на детекторе 2.

Для оценки изображающих характеристик и светопропускания схемы с учетом потерь на апертурных отверстиях проведено численное моделирование в пакете оптического дизайна.

Исследовано прохождение световых пучков номинальной числовой апертурой 0,11 от точек в центре, углах и серединах сторон входной апертуры.



1 – входная апертура; 2 – детектор; 3, 10 – плоское зеркало с апертурным отверстием; 4 – коллиматорный зеркальный объектив; 5, 8 – светопоглощающий экран; 6 – дифракционная решетка; 7 – камерный зеркальный объектив; 9 – зеркальный отражатель со щелевой маской. На врезке: зеркальный отражатель со щелевой маской; 11, 12 – плоские зеркала, 13 – маска с отверстием.

Рисунок 1 – Оптическая схема дисперсионного монохроматора изображения с вычитанием дисперсии (схематичное прохождение светового пучка обозначено стрелками)

Имитация полихроматического светового излучения проводилась дискретным набором длин волн, задаваемых с шагом 4 нм в диапазоне 480–520 нм. Оценивалась работа оптической системы с увеличением 1:1, поэтому входная 1 и выходная 2 апертуры имеют размер 7,18×5,32 мм, соответствующий промышленно выпускаемой серии матриц с диагональю 1/1.8". Фокусное расстояние коллиматорного 4 и камерного 7 объективов 333,5 мм, дифракционная решетка 6 имеет 1200 штр./мм. Апертуры симметрично разнесены в разные полупространства относительно плоскости симметрии (расстояние до ближнего края апертуры 1,33 мм), но лежат в одной плоскости.

Угол между зеркалами отражателя 11 и 12 равен 87,8°, так что после отражения от первого зеркала главный луч пучка от центра апертуры перпендикулярен биссекторной плоскости, а промежуточное изображение формируется вблизи ее. Благодаря такой конфигурации обратное прохождение симметрично прямому для осевых пучков. Световые пучки вводятся в систему и выводятся на детектор через отверстия в плоских

зеркалах 3 и 10.

Рассчитанная полуширина профилей пятен рассеяния на всем поле не превышает 20 мкм. При продольном смещении плоскости изображения (дефокусировке) в пределах ± 50 мкм от оптимального положения полуширина не превышает 22 мкм. Эффективное число разрешаемых пространственных элементов составляет порядка 8×10^5 . Моделирование подтвердило выполненные теоретические оценки ширины выделяемой спектральной полосы для точки объекта, в частности, при ширине отверстия в маске 1 мм она равна 2,4 нм (теоретическое значение 2,5 нм). Минимально достижимая ширина спектральной полосы определяется требованиями к ширине общего спектрального диапазона всех точек изображения при одновременном снимке.

Для устранения засветки детектора использованы два светопоглощающих экрана: прямоугольник 5 размером $13,6 \times 10,8$ мм, расположенный вблизи центра объектива 4, и прямоугольник 8 размером $6 \times 18,4$ мм над апертурным отверстием плоского зеркала 10. Потери света на них в среднем по полю не превышают 21%, что эквивалентно фактической апертуре не менее 0,087.

УДК 57.086.8:621.317.321

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ IN VIVO

Гусев О.К.¹, Жарин А.Л.¹, Цедик Л.В.², Тявловский А.К.¹, Свистун А.И.¹, Дубаневич А.В.¹

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Привлекательность метода контактной разности потенциалов (метода Кельвина) для биохимических исследований определяется возможностью выполнения измерений при нормальных условиях без использования высоких температур, вакуума, воздействия на образец ионизирующим излучением или пучком заряженных частиц, что позволяет производить исследования *in vivo*. Особенный интерес представляет исследование взаимодействия клеток и органических молекул (ДНК, РНК, нуклеотидов, антител и т.д.) с различными субстратами, поскольку такое взаимодействие чаще всего происходит с участием сил Кулона и, таким образом, связано с перераспределением электрического заряда в системе биохимический образец – субстрат. Существующие электрометрические зонды обеспечивают чувствительность к изменению потенциала поверхности на уровне 1 мВ при поперечных размерах зонда до 1 мкм и менее, что позволяет регистрировать и исследовать взаимодействие с субстратом отдельных клеток. В то же время, несмотря на появление в последнее время соответствующих разработок

Моделирование показало, что благодаря близкому к аксиально-симметричному прохождению светового потока внеосевые aberrации в такой схеме существенно меньше, чем в схеме, предложенной в [2]. В совокупности с широким входным отверстием и средней числовой апертурой это позволяет использовать схему в качестве основы для построения монохроматора изображения. Система обладает небольшими габаритными размерами (оценочно не более $350 \times 300 \times 280$ мм) и пригодна для создания мобильных устройств, ориентированных на полевые применения. Технологичная элементная база – сферические зеркальные объективы, плоские зеркала, плоская отражательная дифракционная решетка – делает ее перспективной для массовых недорогих приборных решений мультиспектральной съемки.

1. Borengasser M., Hungate W., Watkins R. *Hyperspectral remote sensing: principles and applications*. – Boca Raton, CRC Press, 2007. – 128 p.
2. Гулис И.М., Купреев А.Г., Костюкевич А.Г. Двойной монохроматор изображения с вычитанием дисперсии // *Вестн. Беларус. дзярж. ун-та. Сер. 1.* – 2011. – №2. – С. 19-23.

[1], практическое применение метода контактной разности потенциалов в биологии сдерживается сложностью интерпретации получаемых результатов. Выходной сигнал зонда Кельвина пропорционален не собственно электрохимическому потенциалу биологического образца, а разности потенциалов образца и электрометрического зонда – так называемая контактная разность потенциалов (КРП). Вследствие этого результаты измерений, выполненных с использованием различных зондов либо при различных условиях, будут различными. Обеспечить сопоставимость результатов измерений можно при реализации сканирования поверхности образцов непосредственно в процессе воздействия биологического препарата на субстрат при неизменных внешних условиях. При этом желательно, чтобы в одном сканировании были проанализированы все состояния субстрата от исходного (без препарата) до конечного с максимальной концентрацией препарата на поверхности субстрата. При интерпретации полученных результатов необходимо учитывать, что