

УДК 535.243.2

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК В ЗАДАЧАХ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Казakov В. И., Китаев В. В.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП)  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматривается возможность многокритериального контроля технологических процессов, сопровождающихся оптическими излучениями, посредством формирования векторов выхода на базе спектроскопических измерений дифракционным спектральным прибором. Предложена оптимизационная модель для нахождения наиболее подходящих параметров дифракционной решетки с целью ее эффективного применения в спектроскопических системах контроля. Представлены результаты моделирования дифракционной решетки с возможностью анализа спектров сразу в нескольких дифракционных порядках.

**Ключевые слова:** контроль, спектроскопические измерения, оптимизация, дифракционная решетка.

## POSSIBILITIES OF APPLICATION OF DIFFRACTION GRATINGS IN PROBLEMS OF MULTICRITERIAL CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Kazakov V., Kitaev V.

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The possibility of multi-criterial automatic control of technological process, accompanied by optical radiation, by means of formation of output vectors on the basis of spectroscopic measurements by a diffraction spectral device is considered. An optimization model is proposed for finding the most suitable parameters of a diffraction grating for the purpose of its effective application in spectroscopic control systems. The results of modeling a diffraction grating with the possibility of analyzing spectra in several diffraction orders at once are presented.

**Key words:** control, spectroscopic measurements, optimization, diffraction grating.

Адрес для переписки: Казakov В.И., ул. Большая Морская, 67, г. Санкт-Петербург, 190000, Российская Федерация, e-mail: kvi@guap.ru

**Введение.** Возрастающая с каждым годом тенденция к интеграции все большего количества датчиков в единую контролируемую систему, например, интернета вещей, диктует современные тренды развития таких систем [1]. К числу таких трендов относятся миниатюризация, снижение энергопотребления и слияния датчиков. Этим трем трендам соответствует предлагаемая в работе замена множества классических датчиков – одним спектроскопическим, где измерительным прибором является дифракционный спектрометр.

Особенностью работы дифракционного спектрометра является многопорядковость формируемого спектра. На практике используется только один дифракционный порядок ввиду низкой интенсивности дифрагированного света в высшие порядки. В работе [2] показано, что задача перераспределения света в более высокие порядки может быть решена путем оптимизации функции пропускания дифракционной решетки. Это открывает возможности использования более высоких порядков для анализа спектра при выполнении процедуры контроля, например технологических процессов.

**Многоальтернативная система контроля на базе спектрального прибора.** Функциональная схема многоальтернативной системы автоматического управления с использованием дифракционного спектрального прибора представлена на рисунке 1.

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:  $x_k$  – входные переменные; ИУ – исполни-

тельные устройства;  $f_k$  – возмущающие воздействия. Вектор выхода  $\{y_j\}$  формируется по результатам спектроскопических измерений, а система измерительных устройств (датчиков) заменяется одним измерительным устройством: оптическим дифракционным спектральным прибором.

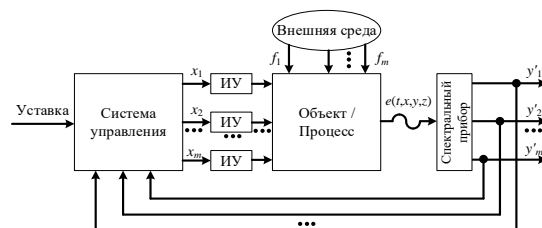


Рисунок 1 – Функциональная схема многоальтернативной системы автоматического управления

**Оптимизация функции пропускания дифракционной решетки.** Применение дифракционных решеток с оптимизированной функцией пропускания в многоальтернативных системах контроля имеет чрезвычайно большие перспективы. Например, одновременное измерение спектра оптического излучения в нескольких порядках может быть использовано для целей многопараметрического контроля процессов горения [3]. Низшие дифракционные порядки могут быть задействованы для измерения температуры процесса горения, в то время как использование выс-

ших дифракционных порядков может быть использовано для анализа спектрального состава и определения химических элементов, сопровождающих процесс горения.

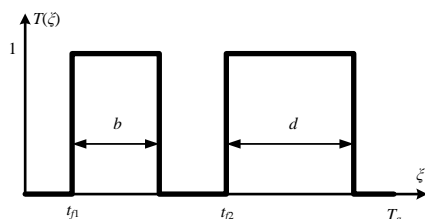
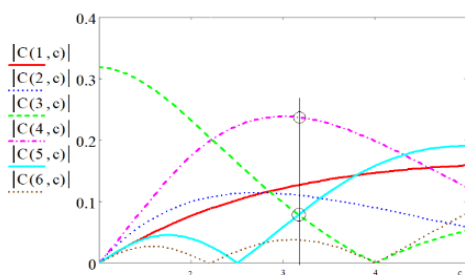
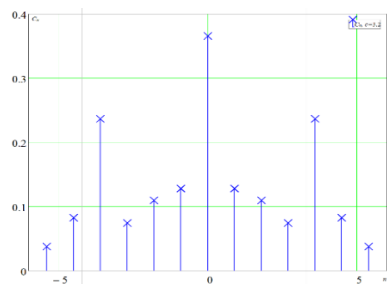


Рисунок 2 – Оптимизационные параметры функции пропускания решетки



а



б

Рисунок 3 – Результат компьютерного моделирования

Амплитудная дифракционная решетка, работающая в проходящем свете, рассмотрена как оптический транспарант с функцией пропускания  $T(\xi)$  (рисунок 2), которая осуществляет ввод анализируемого оптического излучения в оптический когерентный Фурье-процессор, включающий два слоя свободного пространства и расположенную между ними линзу с фокусным расстоянием  $F$ . В задней фокальной плоскости линзы формируется оптический сигнал, отображающий мгновенный комплексный спектр анализируемого излучения, который подвергается квадратичному детектированию линейкой фотоприемных устройств. Показано, что коэффициенты разложения  $C_n$  в ряд Фурье функции пропускания дифракционной решетки  $T(\xi)$

определяют интенсивность дифрагированного света в  $n$ -ый порядок.

На основе радиооптической модели [2] работы дифракционного спектрального прибора предложена модель, позволяющая находить оптимальные параметры штрихов решетки для эффективной дифракции в соответствующие дифракционные порядки. Алгоритм поиска оптимального решения для соответствующего дифракционного порядка сводится к перебору возможных значений параметров и нахождению максимального значения коэффициента  $C_n$  для интересующего дифракционного порядка.

Реализована программа, отражающая описанный выше алгоритм. Результат расчета параметров штрихов дифракционной решетки согласно предложенной модели представлен на рисунке 3. Рисунок 3, а соответствует изменению коэффициентов разложения функции пропускания решетки в процессе оптимизации; рисунку 3, б – результат расчета относительной интенсивности дифракции в оптимизированной решетке.

Таким образом, предложенная модель дает возможность увеличения интенсивности дифрагированного света в высшие порядки при дифракции на амплитудной пропускающей решетке. Показано, что путем изменения топологии дифракционной решетки возможно перераспределение света между дифракционными порядками, и эффективно использовать в спектроскопических системах контроля.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, «Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга».

#### Литература

1. Подвальный, С. Л. Интеллектуальные системы многоальтернативного управления: принципы построения и пути реализации / С. Л. Подвальный, Е. М. Васильев // Всероссийское совещание по проблемам управления. – М.: ВСПУ, 16-19 июля 2014. – С. 996–1007.
2. Казаков, В. И. Измерение оптических спектров решеточным спектральным прибором в высших дифракционных порядках / В. И. Казаков, О. Д. Москалец // Датчики и системы. – 2018. – № 12 (231). – С. 22–27.
3. Ваганов, М. А. Многоканальный оптический спектрометр бесконтактного анализа для контроля процессов горения / М. А. Ваганов // Вопросы радиоэлектроники. – 2017. – № 10. – С. 39–43.