

В. В. АРТЕМЬЕВ, Н. П. БЕЛОВ, А. В. СМИРНОВ, А. Д. ЯСЬКОВ

## ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРОТЯЖЕННОГО ОБЪЕКТА

Рассмотрен оригинальный подход к реализации инвариантного оптико-электронного измерителя скорости перемещения протяженного объекта. Отличительной особенностью рассматриваемого подхода является использование двухканальной схемы анализа изображения с применением межканальных связей для компенсации помех, возникающих при измерении скорости протяженного объекта с оптически-неоднородной поверхностью.

*Ключевые слова:* измеритель скорости, оптически-неоднородные поверхности, помехоустойчивость, инвариантные характеристики.

Измерение скорости перемещения протяженных объектов с оптически-неоднородными поверхностями (ОНП), таких как бумажное полотно в процессе его отлива на сеточном столе бумагоделательной машины, поток руды на транспортной ленте, поверхность Земли при ее фотографировании с борта летательного аппарата и т.п., осуществляется с использованием оптико-электронных устройств, предназначенных для выделения первичной информации. При реализации таких устройств необходим специальный подход к выбору схемы построения оптического тракта приема сигналов и электронного тракта их преобразования и обработки.

Реальные поверхности имеют различные коэффициенты отражения и поглощения световой энергии и разные размеры неоднородностей, которые характеризуются средним радиусом корреляции [1]. В оптическом тракте характерными помехами являются высокоинтенсивные фоновые засветки и флюктуационные помехи, которые возникают в поле зрения оптической системы. Поэтому электрические сигналы на выходе фотоприемного устройства имеют весьма сложный характер.

Процесс преобразования информации в системе можно представить в виде схемы [2], показанной на рис. 1, а. Изображение участка 1 ОНП протяженного объекта формируется объективом 2 в плоскости периодического растра 3. Конденсор 4 обеспечивает равномерную засветку светочувствительной поверхности фотоприемника 5, электрический сигнал с которого через усилитель 6 подается на блок фильтров 7, обеспечивающий очистку сигнала от помех. Растр 3 выполнен в виде чередующихся с периодом  $2\delta$  прозрачных и непрозрачных полос равной ширины (рис. 1, б). Если совместить изображение участка 1 ОНП с периодическим растром 3 и перемещать это изображение перпендикулярно полосам растра со скоростью  $V_{и}$ , то по растру одновременно будут перемещаться изображения множества ОНП различного контраста и размеров, взаимное положение которых случайно и независимо [2].

Полный световой поток, формируемый за плоскостью периодического растра, представляет собой суммарный световой поток, образуемый отдельными неоднородностями, световые потоки которых имеют одинаковые частоты модуляции и число периодов (см. рис. 1, б, поз. 1—5), но распределенные по случайному закону начальные фазы.

Средняя частота модуляции результирующего светового потока равна частоте модуляции отдельных потоков (см. рис. 1, б, поз. б). Суммарным световым потоком, попадающим на фотоприемник, формируется электрический сигнал (см. рис. 1, б, поз. 7), полезная составляющая которого определяется по формуле

$$f = \frac{V_{\text{и}}}{2\delta} \sin \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол между вектором скорости  $V_{\text{и}}$  и направлением полос раstra.

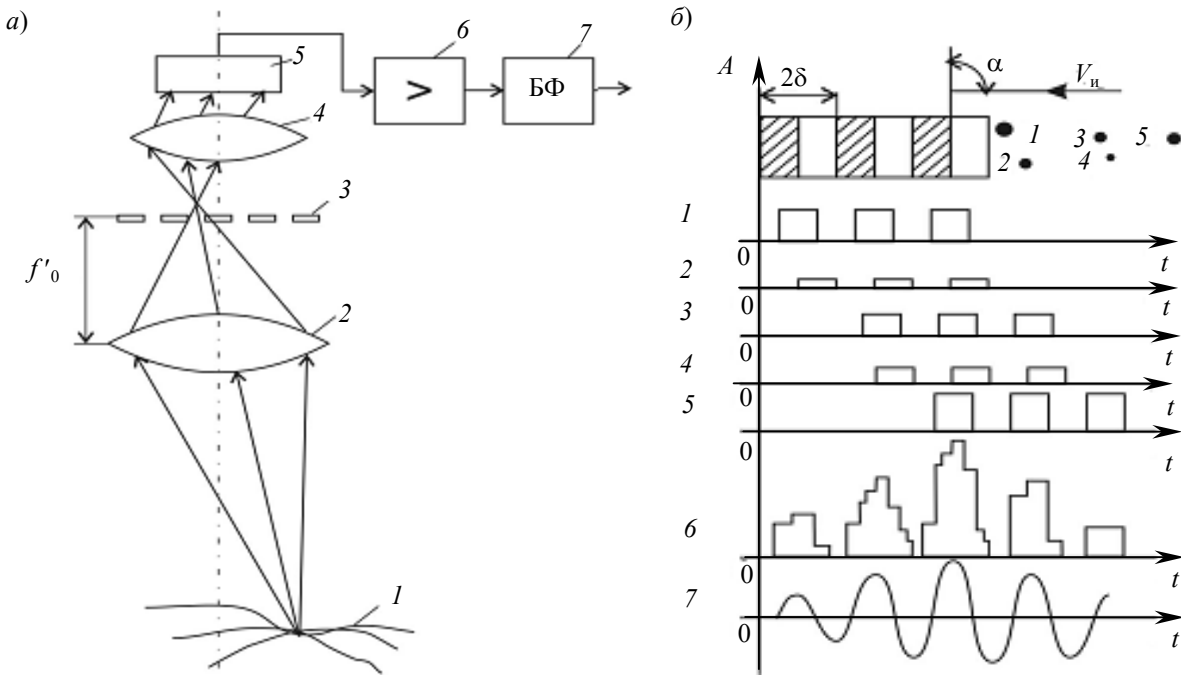


Рис. 1

Соотношение сигнал/шум на выходе фотоприемника зависит не только от уровня освещенности наблюдаемого участка поверхности, но и от согласования размеров поля зрения объектива, пространственного периода раstra и радиуса пятна рассеяния объектива со средним радиусом корреляции неоднородностей [3].

При согласовании этих параметров возникают противоречия, разрешить которые с использованием только классических методов не удастся. Это в значительной степени ограничивает возможности метода узкополосной пространственно-частотной фильтрации при реализации высокоточных оптико-электронных измерителей скорости перемещения протяженных объектов с ОНП, используемых в аэронавигационной и расходоизмерительной технике для контроля скорости потоков жидкостей, газов, сыпучих материалов и т.д.

Наиболее распространенным методом построения высокоточных измерительных устройств является использование принципа инвариантности [4], в основу которого положено предположение о наличии нескольких каналов формирования и обработки сигналов, построенных таким образом, чтобы суммирование сигналов приводило к компенсации помех. При этом информативные признаки сигналов не подвергаются изменениям. Однако это не исключает возможности появления случайных помех хотя бы в одном из каналов, что может привести к искажению информативных признаков сигнала.

Реализация принципа инвариантности к случайным помехам, возникающим в тракте приема сигналов, может быть осуществлена в классе систем с инвариантными характеристиками помехоустойчивости. Для функционирования таких систем достаточно лишь минимальной информации о характеристиках сигнала и помех, а в ряде случаев такая информация вообще не нужна [5].

Такой подход к построению каналов приема и преобразования сигналов в оптико-электронных устройствах для измерителей скорости перемещения протяженных объектов с ОНП можно назвать принципом адаптивной инвариантности.

На рис. 2, а представлена функциональная схема двухканального оптико-электронного измерителя скорости перемещения протяженного объекта 1 [6]. В основу этой схемы положен принцип инвариантности. Анализатор изображения такого измерителя выполнен в виде вращающегося с частотой  $\omega_p$  периодического растра 6 (см. рис. 2, б; здесь  $V_p$  — линейная скорость движения растра). На диаметрально противоположных сторонах растра 6 с помощью светоделительного устройства 3 формируется изображение одного и того же участка протяженного объекта 1. Периодический растр 6 приводится во вращение двигателем 9.

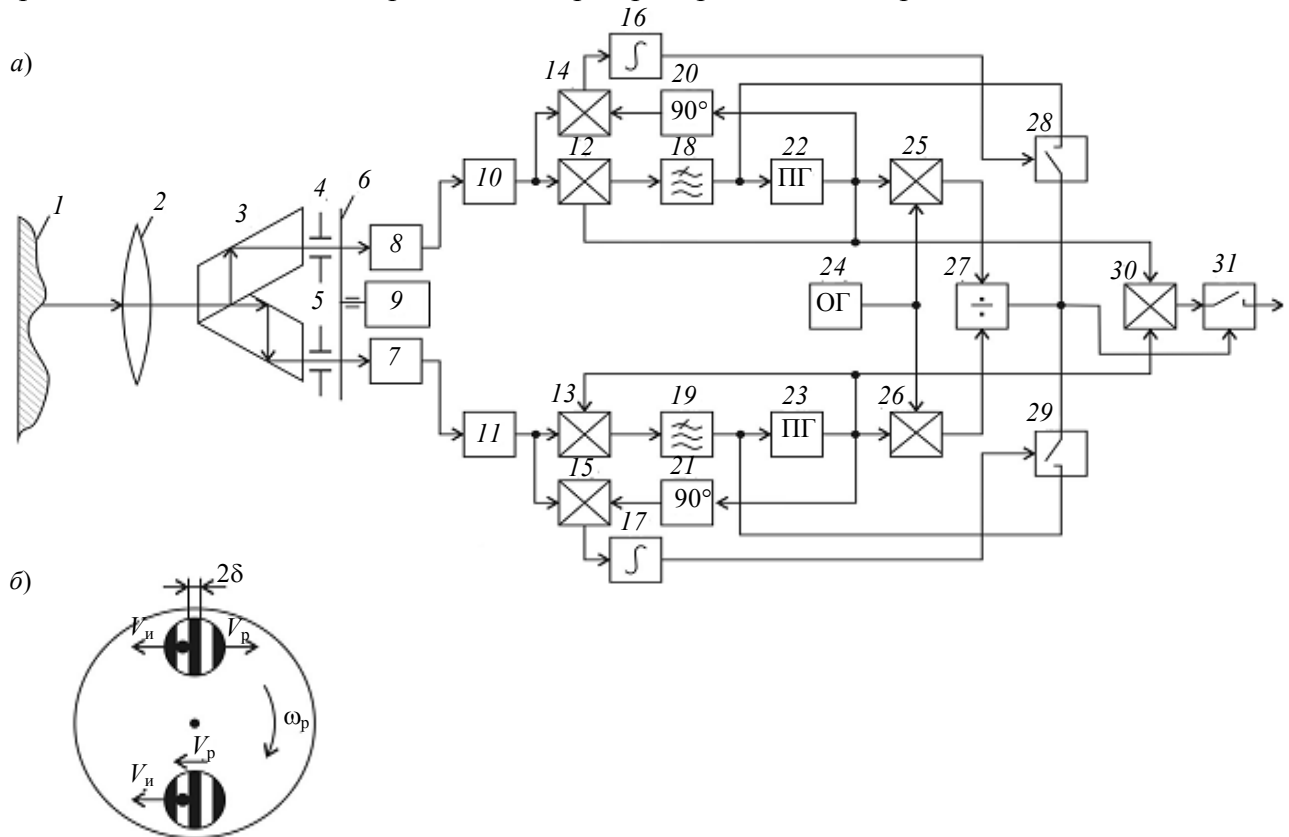


Рис. 2

Изображение участка поверхности протяженного объекта 1, сформированное с помощью объектива 2 и светоделительного блока 3, на диаметрально противоположных сторонах растра подвергается узкополосной пространственной фильтрации, которая обеспечивается периодической структурой растра 6 и диафрагмами 4 и 5. В результате этого на выходе формируется модулированный световой поток, который поступает на фотоприемники 7 и 8, а затем на усилители 10 и 11, снабженные полосовыми фильтрами. Фотоизображения электрических сигналов на выходе полосовых фильтров, полученные с использованием экспериментального макета, представлены на рис. 3.

Характерной особенностью этих сигналов является подверженность их амплитуд резким колебаниям вплоть до полного исчезновения. Это связано с изменениями соотношения между размером изображения неоднородностей поверхности и шагом растра, с одной стороны, и с изменением

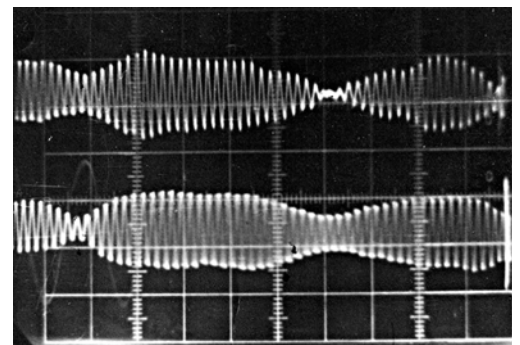


Рис. 3

освещенности поверхности и изменениями контраста неоднородностей на фоне поверхности протяженного объекта — с другой. Однако эти модулированные сигналы жестко синхронизированы по фазе относительно друг друга, что позволяет использовать их для компенсации начального изменения фазы в каждом из каналов электронного тракта обработки сигналов.

После усиления и фильтрации электрические сигналы поступают в электронный тракт обработки сигналов (см. рис. 2, а), в состав которого входят перемножители 12 и 13, фильтры нижних частот 18 и 19, перестраиваемые генераторы (ПГ) 22 и 23, генератор опорной частоты (ОГ) 24, блоки вычитания частот 25 и 26, блок сравнения информативных признаков сигналов 27 и электронный ключ 31.

Рассмотрим характер изменения частот сигналов в каждом из каналов. При неподвижном изображении в плоскости раstra частота электрических сигналов на выходах приемников излучения определяется выражениями

$$f_{01} = \frac{V_p}{2\delta}, \quad f_{02} = \frac{V_p}{2\delta}.$$

При движении изображения в плоскости раstra со скоростью  $V_n$  центральная частота электрических сигналов на выходе каждого из приемников излучения смещается на величину

$$\Delta f_1 = \frac{V_n}{2\delta}, \quad \Delta f_2 = \frac{V_n}{2\delta}.$$

Тогда частоты электрических сигналов, формируемых на выходах приемников излучения каждого из каналов, будут изменяться в зависимости от направления движения:

$$f_1 = f_{01} \pm \Delta f_1, \quad (1)$$

$$f_2 = f_{02} \pm \Delta f_2. \quad (2)$$

Подставив величины  $f_{01}$ ,  $f_{02}$ ,  $\Delta f_1$ ,  $\Delta f_2$  в выражения (1) и (2), получим

$$f_1 = \frac{V_p + V_n}{2\delta}, \quad f_2 = \frac{V_p - V_n}{2\delta}.$$

Анализ полученных выражений показывает, что частоты  $f_1$  и  $f_2$  определяются пространственным периодом раstra  $2\delta$ , скоростью  $V_p$  движения периодического раstra и скоростью  $V_n$  движения изображения. Приращения частот  $\Delta f_1$  и  $\Delta f_2$  равны между собой и отличаются только знаком. На этой основе в электронном тракте реализуется операция оценки качества сигналов с помощью блоков 25, 26 и 27. Посредством блоков 25 и 26 частоты  $f_1$  и  $f_2$  сравниваются с частотой опорного генератора 24, выделенные приращения частот сравниваются между собой, и при наличии их равенства информация передается в цепи управления.

Вычитая частоты  $f_1$  и  $f_2$  с использованием блока 30, получаем выражение

$$f_1 - f_2 = 2\Delta f.$$

С помощью блоков 15, 17 и 21 в одном канале и блоков 14, 16 и 20 в другом выявляются случаи пропадания сигналов на выходе фотоприемников 7 и 8 соответственно. При одновременном пропадании сигналов в обоих каналах поступление сигналов в цепь индикации после прохождения блока 27 перекрывается устройством 31; при пропадании сигналов в одном из каналов с помощью блока 28 или 29, по результатам сравнения информации блоком 27, сигнал поступает в цепь управления частотой перестраиваемого генератора 22 или 23. В этом случае, при „замирании“ сигнала в одном из каналов, на выходе блока 30 формируется достоверная информация о скорости движения изображения.

Наличие двух каналов пространственно-частотной фильтрации в оптическом тракте формирования сигналов позволяет расширить возможности для согласования размеров поля зрения и радиуса пятна рассеяния оптической системы со средним радиусом корреляции оп-

тических неоднородностей, а также уменьшить влияние флюктуационных помех, возникающих в любом из каналов, на результаты измерения скорости перемещения протяженного объекта с ОНП.

Начальная фаза гармоник сигналов каждого из каналов в такой схеме изменяется одновременно, поэтому при совместной обработке сигналов блоком 27 эти изменения компенсируются, что позволяет обеспечить более высокую точность измерений при малых скоростях движения изображения поверхности.

Предложенная процедура обработки сигналов позволяет осуществить адаптивную коррекцию сигналов и исключить влияние флюктуационных помех на выходные параметры измерительного устройства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левшин В. Л. Обработка информации в оптических системах пеленгации. М.: Машиностроение, 1978.
2. Соломатин В. А., Шилин В. А. Фазовые оптико-электронные преобразователи. М.: Машиностроение, 1986.
3. Казамаров А. А., Хорол Д. М., Шкурский Б. И. Оптимальное измерение параметров оптического сигнала оптико-электронными системами с прямолинейным сканированием // Оптико-механическая промышленность. 1977. № 4.
4. Петров Б. Н. и др. Принцип инвариантности в измерительной технике. М.: Наука, 1976.
5. Артемьев В. В., Демин А. В., Панков Э. Д. Об одном способе повышения точности оптико-электронных угломерных устройств // Оптико-электронные системы и приборы: Межвуз. сб. Новосибирск: НИИГАиК, 1980.
6. А.с. 1350499 СССР, МКИ G 01H 9/00. Оптико-электронное устройство для измерения скорости перемещения объекта относительно оптически-неоднородной поверхности / В. В. Артемьев, Г. Н. Юркова // Б.И. 1987. № 41.

#### Сведения об авторах

- Василий Викторович Артемьев** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра проектирования компьютерных систем; E-mail: technocon@imail.ru
- Николай Павлович Белов** — Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра твердотельной оптоэлектроники, ст. науч. сотрудник; E-mail: technocon@imail.ru
- Андрей Васильевич Смирнов** — канд. техн. наук; ООО „Технокон“, Санкт-Петербург; зам. ген. директора; E-mail: technocon@imail.ru
- Андрей Дмитриевич Яськов** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра твердотельной оптоэлектроники; E-mail: technocon@imail.ru

Рекомендована кафедрой  
проектирования компьютерных систем  
СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию  
07.12.09 г.