

## ПРОЕКТУВАННЯ І МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СЕНСОРІВ

### SENSORS DESIGN AND MATHEMATICAL MODELING

---

---

УДК 621.282.535;621.315.532

#### **ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФОНО-ЦЕЛЕВОЙ ОБСТАНОВКИ В ГИБРИДНЫХ ОЭС МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ ГИЛЬБЕРТ-ОПТИКИ**

*Н. К. Власенко*

Университет Ополе, Республика Польша, Ополе, 45-365, ул. Романа Дмовского, 7/9,  
тел. +4877-454-29-51, e-mail: vlasenkon@uni.opole.pl

#### **Аннотация**

#### **ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФОНО-ЦЕЛЕВОЙ ОБСТАНОВКИ В ГИБРИДНЫХ ОЭС МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ ГИЛЬБЕРТ-ОПТИКИ**

*Н. К. Власенко*

Рассмотрены подходы к проектированию информационных технологий (ИТ) идентификации динамических объектов и текстур сложной формы (ОСФ, ТСФ) в гибридных оптико-электронных системах (ГОЭС) контроля фоно-целевой обстановки (ФЦО), основанные на методах цифровой гильберт-оптики (ЦГО). Представлены примеры идентификации моделей ОСФ (ТСФ) в пространствах преобразований Гильберта с помощью методов векторного сигнатурного анализа и интегральной геометрии

**Ключевые слова:** Цифровая гильберт-оптика, оптико-электронные системы; идентификация.

#### **Анотація**

#### **ІДЕНТИФІКАЦІЯ СТРУКТУРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЛО-ЦІЛЬОВІЙ СИТУАЦІЇ У ГІБРИДОВИХ ОЕС МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЇ ГИЛЬБЕРТ-ОПТИКИ**

*Н. К. Власенко*

Розглянуті підходи до проектування інформаційних технологій (ІТ) ідентифікації динамічних об'єктів і текстур складної форми (ОСФ, ТСФ) у гібридових оптико-електронних системах (ГОЕС) контролю тло-цільової ситуації (ТЦС), засновані на методах цифрової гильберт-оптики (ЦГО). Представлені приклади ідентифікації моделей ОСФ (ТСФ) в просторах перетворення Гильберта за допомогою методів векторного сигнатурного аналізу і інтегральної геометрії.

**Ключові слова:** Цифрова гильберт-оптика, гібридові оптико-електронні системи; ідентифікація

**Abstract****IDENTIFICATION OF TARGET-BACKGROUND SITUATION STRUCTURAL ELEMENTS AT HYBRID OES BASED ON DIGITAL HILBERT-OPTICS METHODS***N. K. Vlasenko*

Approaches to synthesis of dynamic complex shape objects (CSO) and textures (CST) models identification technologies at targets and backgrounds surveying and reconnaissance optical-electronic systems (OES) are considered. Information technologies are based on Hilbert-optics' methodology. Examples of identification methods at spectral domains of Hilbert transforms i based on vector image signatures (VIS) of CSO and CST transforms and computing integral-geometric (CIG) are presented.

**Key words:** Digital Hilbert-optics, optical-electronic systems, identification

**Список основных сокращений:**

АФА — амплитудно-фазовый анализ;  
 ВСО — векторное сигнатурное описание;  
 ВМТ — векторная морфологическая тень;  
 ГОЭС — гибридная (аналого-цифровая) оптико-электронная система;  
 ДПГ — дискретное преобразование Гильберта;  
 ДПФк-Г (ДПФк) — дискретное преобразование Фуко-Гильберта (Фуко);  
 ИТ — информационная технология;  
 МФА — морфологический анализ;  
 ОСФ — объект сложной формы;  
 СтСтМ — сигнально — структурная модель формы объекта (текстурного примитива);  
 СпСтМ — спектрально-структурная модель формы объекта (текстурного примитива);  
 СЭ — структурный элемент динамической сцены (информационной структуры);  
 ТСФ — текстура со сложной формой текстурного примитива (ТП);  
 ФЦО — фоно-целевая обстановка;  
 ЦГО — цифровая гильберт-оптика;

**Введение**

Методы анализа и интерпретации ФЦО с помощью оптических и оптико-электронных устройств применяются в системах автоматического управления, наблюдения, контроля территории, навигации, наведения и т.д. [1 — 14]. ГОЭС, как многоспектральные мультисенсорные подсистемы таких систем, требуют применения эффективных ИТ идентификации объектов и текстур [7 — 17]. Способы обработки, интегрирующие (комплексующие) входную информацию и де-

тектирующие характерные области (точки) изображений при идентификации ОСФ как СЭ ФЦО активно разрабатываются. Важным этапом проектирования таких систем является объектное моделирование преобразования в ГОЭС специфицированных информационных структур — “объектов”, объединенных в “классы” [25 — 27].

Применение, с начала 60-х г.г. XX в., в информационных оптических системах методов **фурье-оптики** [1 — 5] показывает их эффективность при распознавании одиночных объектов, но приводит к потере связности структуры исходной сцены при интерпретации ФЦО. Развитие методов **гильберт-оптики** и, в частности, начавшееся в 80-х г.г. внедрение методов **ЦГО** показали их перспективность для оценки ФЦО [4 — 7]. Анализ современного состояния этой проблемы показывает, что гильберт-оптика используется, в основном, для решения задач визуализации т.н. “фазовых объектов” методами рефлектометрии [16, 17], анализа внутренней структуры объектов в оптической томографии и восстановления фазовой структуры полей по их распределениям интенсивности [18 — 22], радио- и оптической спектроскопии [23]. Все эти методы могут быть объединены в общий класс как “фазо-контрастная **визуализация**”. Однако, уникальные, в определенном смысле, свойства ДПГ (ДПГ-Ф, ДПФк) позволяют применить их для **идентификации моделей формы** объектов (текстур) и последующей интерпретации ФЦО. Исследование эффективности такого применения ДПГ для идентификации актуально и представляет научный интерес.

Особое внимание в настоящее время уде-

ляется разработке и внедрению т.н. частичных (“дробных” — fractional) ортогональных преобразований (Фурье, Гильберта, Хартли и др.) и гибридных частотно-временных преобразований (напр., вейвлет-, Вигнера-Вилля и др.) для обработки изображений, распознавания и оценки движения объектов [28]. Использование таких методов для идентификации — дело будущего.

**Целью статьи** является систематизация ЦГО-методов идентификации моделей описания формы (текстурных примитивов) ОСФ (ТСФ) и представление объектно-ориентированного (ОО-) гибридного подхода к идентификации таких моделей на основе АФА и МФА ВСО спектров Гильберта (Фуко-Гильберта).

### 1. Обобщенные структуры ИТ идентификации на основе методов ЦГО

Первый методологический компонент ИТ определяется свойствами сохранения энергии исходного изображения, ее концентрации в характерных областях формы и динамической адекватности ДПГ-трансформанты исходной структуре. Объединение

методов Фурье- и гильберт-оптики классифицирует ОЭС как гибридные. Класс ДПГ включает подклассы преобразований (рис.1). На рис.2,а приведены обобщенная структура ГОЭС, реализующей ЦГО-методы, а на рис. 2,б — примеры бинарных изображений (компонент ВМТ) ОСФ, используемых далее для моделирования.

### 2. Методы векторизации изображений трансформант Фуко-Гильберта

Вторым методологическим компонентом ИТ идентификации является векторизация на основе методов **вычислительной интегральной геометрии (ВИГ)** [18 — 25]. Формируя с помощью многоканальных матричных фотоприемников векторные интегральные проекции гильберт-трансформант ОСФ (ТСФ) возможно перейти к их ВСО. При изотропности преобразования (напр. ДИПГ; ДИПФк-Г) устраняются влияния ротационных и масштабных искажений, при анизотропии же (ДАПГ; ДАПФк) возникают различные гониометрические зависимости трансформант объектов разных форм, что повышает дискриминационную способность идентификации.

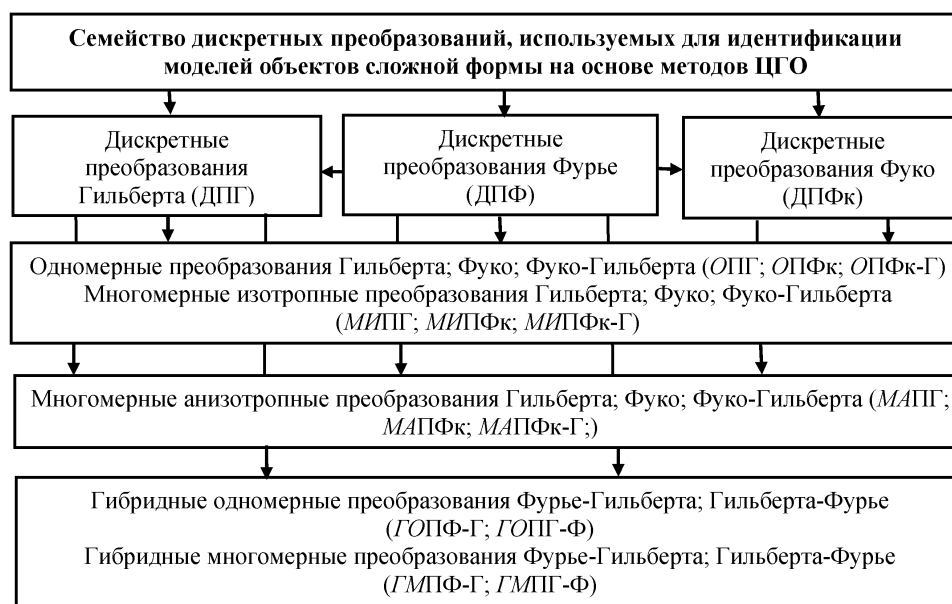
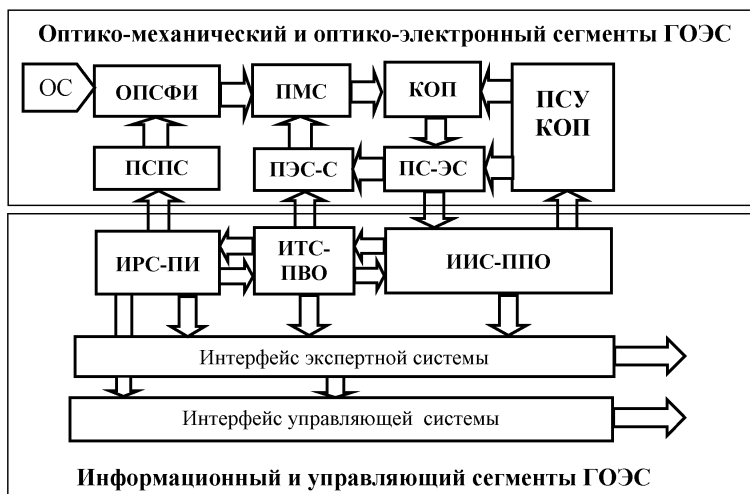


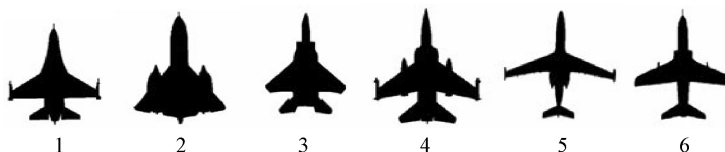
Рис. 1. Схема классификации алгоритмов ортогональных преобразований, используемых для проектирования ИТ обработки изображений и идентификации ОСФ(ТСФ) методами ЦГО

Вторичная обработка состоит в формировании векторных лучевых сумм (ВЛС): в исходном пространстве (ВЛС-ИП); трансформанты преобразования (ВЛС-ТП); либо кластеров

характерных точек формы (ВК-ХТФ); сигнальных конволюционно-фильтровых сигнатур (ВСКФС-хПГ); интегрально-проекционных сигнатур (ВСИПС-хПГ).



а) Обобщенная структурная схема ГОЭС, реализующей функции контроля ФЦО методами ЦГО: ОС — ввод оптического сигнала; ОПСФИ — оптическая подсистема формирования изображения; ПМС — пространственный модулятор света; ПСПС -подсистема пространственного сканирования; ПЭС-С — преобразователь “электрический сигнал-свет”; КОП — когерентно-оптический процессор; ПСУКОП — подсистема управления КОП; ПС-ЭС — преобразователь “свет — электрический сигнал”; ИИС-ППО — информационно-измерительный сегмент — процессор первичной обработки; ИТС-ПВО — информационно-технологический сегмент — процессор вторичной обработки; ИРС-ПИ — информационно-решающий сегмент — процессор интерпретации



б) Примеры морфологических теней (функций замещения) ОСФ

Рис. 2. Иллюстрации ИТ идентификации ОСФ (ТСФ) на основе методов ЦГО

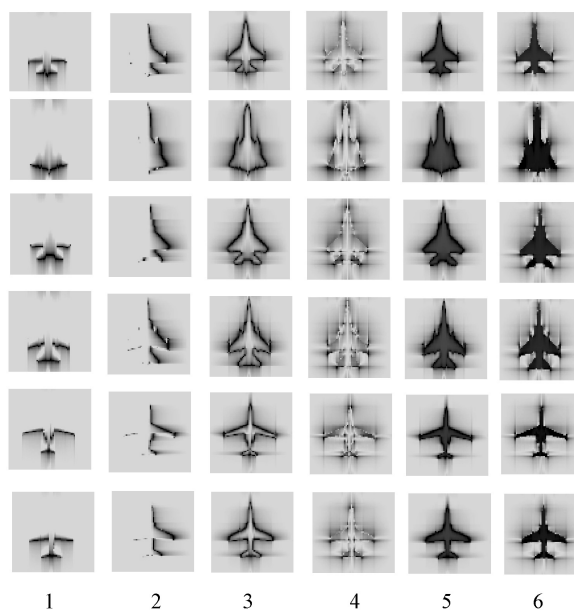


Рис. 3. Примеры первичной обработки ВМТ ОСФ (Рис.2,б) на основе ОПГ (1,2), ДИПГ (3), ДАПГ(4), ДИПФк (5) и ДАПФк (6)

На рис.4 представлена диаграмма классификации методов векторизации гильберт-трансформант. ВСО обрабатываются методами АФА. Для построения СгСтМ (СпСтМ) повторно используются хПГ (хПФк-Г) ( $x = O, ДИ, ДА$ ). Гибридизация преобразований Фурье и Гильберта ( $ГхПФ-Г; ГхПГ-Ф: x = O; ДИ; ДА; МИ; МА$ ) позволяет произвести ВСО-анализ ТСФ по спектрам Фурье. При этом синтезируются СпСтМ в виде пространственных

распределений ВМТ спектров: Фурье; Фурье-Гильберта; Гильберта-Фурье. На рис. 5, 6 приведены примеры таких СгСтМ ОСФ (рис. 2; 3). На рис.5 представлены модели характерных точек формы (МХТФ) в пространстве ДАПГ, а рис. 6 — модели лучевых сумм (МЛС) в пространствах: а) — ДИПГ; б) — ДАПГ; в) — ДИПФк; г) — ВЛС-сигнатуры ОСФ-1..6 на основе ДИПГ (курсовой угол  $\varphi_k = (0..90)^0$  изменяется с шагом  $10^0$ ).

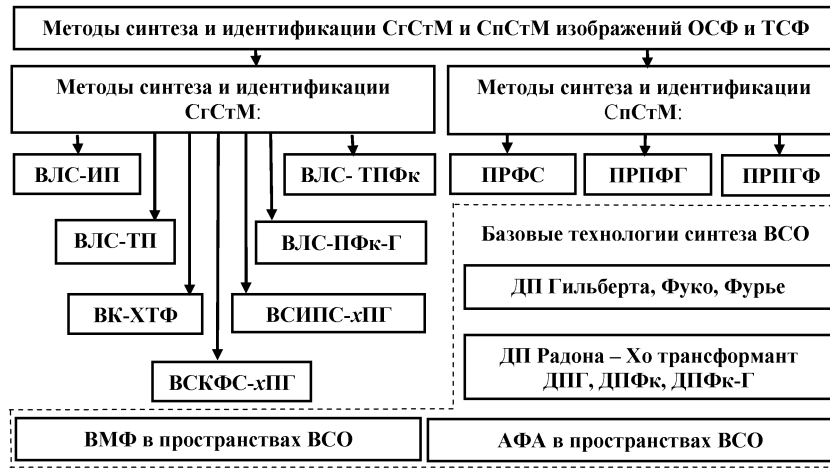


Рис. 4. Классификация методов вторичной обработки изображений в ГОЭС

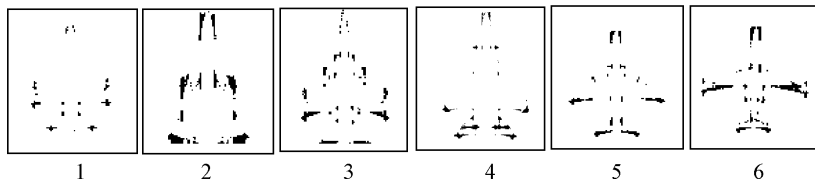


Рис. 5. Примеры моделей характерных точек формы ОСФ (МХТФ)

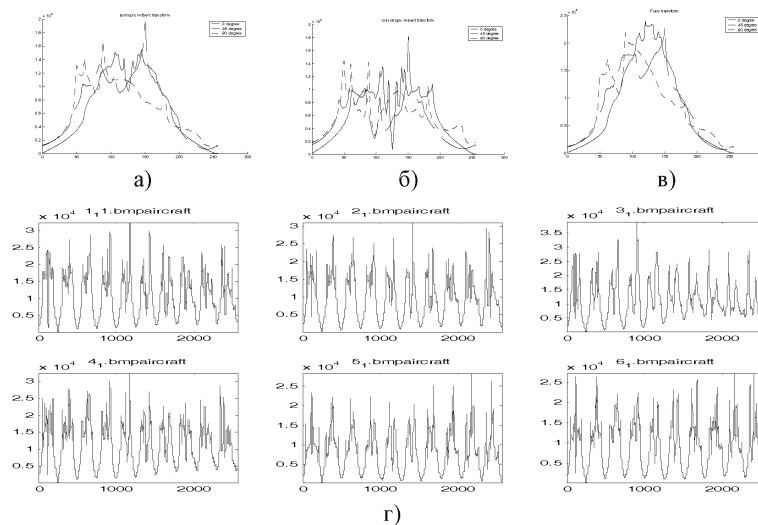


Рис. 6. Примеры сигнально-структурных моделей на основе ВЛС ОСФ-1..6

На рис. 7 представлена структурная схема ИТ идентификации ТСФ, на рис. 8 — пример фрагмента ТСФ, содержащего ТП, а на рис.9 —

ДАПГ спектров ТП ТСФ и векторные сигнатуры веерного сканирования трансформант этих спектров.

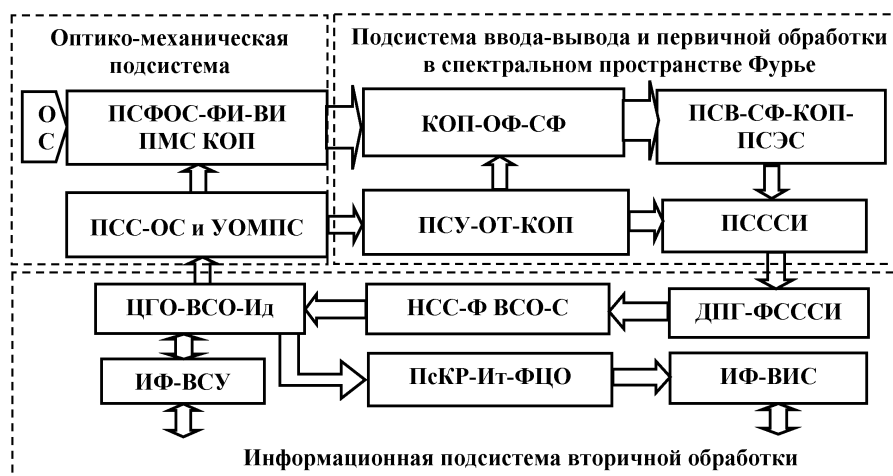


Рис. 7. Структура ИТ ЦГО-ВСО-идентификации ОСФ (ТП ТСФ) в пространстве двумерного преобразования Фурье (ОС — ввод оптического сигнала; ПСС-ОС и УОМПС — подсистема сканирования оптического сигнала и управления оптико-механической подсистемой; ПСФОС-ФИ-ВИ ПМС КОП — подсистема формирования оптического сигнала, формирования изображения, ввода изображения в пространственный модулятор света когерентного оптического процессора; КОП-ОФ-СФ — когерентно-оптический процессор — оптический фильтр — формирователь спектра Фурье; ПС-ОТ-КОП — подсистема управления оптическим трактом когерентно-оптического проекта; ПСССИ — подсистема сканирования спектрального изображения; ДПГ-ФСССИ — вычислитель дискретного преобразования фрагментов сканированного спектрального изображения; НСС-Ф ВСО-С — накопитель скалярных сигнатур — формирователь векторных сигнатурных описаний спектров; ЦГО-ВСО-Ид — устройство идентификации векторных сигнатур на основе методов ЦГО; ИФ-ВСУ — интерфейс с внешней системой управления; ПсКР-Ит-ФЦО — построитель карты решений — интерпретатор фоно-целевой обстановки; ИФ-ВИС — интерфейс с внешней информационной системой (сетью).

### 3. Технологии интерпретации ВСО ОСФ(ТСФ) в контексте контроля ФЦО

Интерпретация ВСО основана на различных методах ОО-моделирования. Применение ЦГО-методов распространяет АФА на домен интерпретации ВСО. Т.к. возможно неограниченное множество ситуаций ФЦО, то ограничимся тремя характерными примерами этой технологии:

- **Интерпретация одиночного ОСФ как СЭ ФЦО:** идентификация объекта во фрагменте ДС с нормализацией его изображения, обеспечивающей динамическую инвариантность. Эти подходы эффективны при использовании СтСтМ (ВЛС-ИП, ВЛС-ТП, ВСКФС-хПГ, ВСИПС-хПГ- см. рис.4);

- **Интерпретация пространственно-неоднородной (динамической) ТСФ как подстилающей поверхности ФЦО:** производятся оценивание масштаба и сегментация текстуры на фрагменты, классификация ТП во фрагменте, иден-

тификация СпСтМ. Эти подходы используют гибридные преобразований, напр. ГОПФ-Г; -Ф; ГМПФ-Г; -Ф;

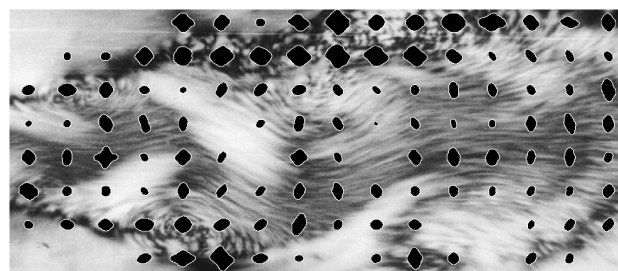


Рис. 8. Пример первого этапа ИТ синтеза СпСтМ ТСФ и ЦГО-ВСО-идентификации (на исходное изображение наложены модули ДИПФк топосечений магнитуд двумерных Фурье спектров фрагментов ТСФ [29]).

- **Интерпретация ФЦО с выделением мало-размерных динамических ОСФ на фоне интенсивной подстилающей поверхности:** выявление (оценивание) трендов и обнаружение (идентификация и предсказание) на основе этих трен-

дов различных **аномалий поведения ОСФ и развития ситуации в ФЦО.**

### Выводы. Перспективы развития дальнейших исследований

На основе методологии ЦГО предпринята попытка системного структурного анализа и проектирования ИТ идентификации СЭ дина-

мических сцен в ГОЭС, основанных на векторных сигнатурах в спектральных пространствах ДПГ (ДПФк-Г).

**Основные выводы** из полученных результатов:

- применение методов ЦГО-ВСО-идентификации открывает перспективу построения систем анализа и интерпретации фоно-целевой обстановки в динамических сценах;

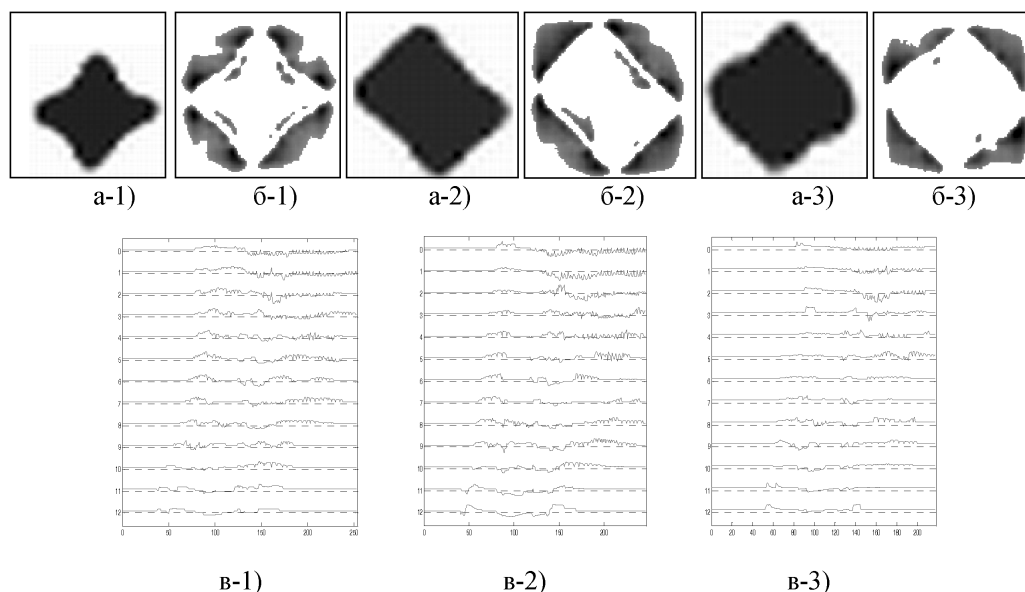


Рис. 9. Примеры идентификации ТП ТСФ на основе гибридного двумерного преобразования Фурье-Гильберта и ЦГО-ВСО: а-*i*) — компоненты ВМТ двумерных спектров магнитуд Фурье (*i*-номер спектра); б-*i*) — модули ДАПГ компонент ВМТ; в-*i*) — ЦГО-ВСО компонент ВМТ

- применение векторизации гильберт-трансформант снижает информационный объем их исходного описания без потери атрибутов и структурной связности;

- ЦГО-ВСО-идентификация создает возможности проектирования информационно-технологических и решающих сегментов ГОЭС контроля и управления ФЦО.

**Перспективными направлениями исследований**, по мнению автора, являются:

- сравнительный анализ эффективности методов ЦГО-ВСО-идентификации;

- гибридизация подходов, основанных на СгСтМ и СпСтМ;

- оценка устойчивости идентифицируемых моделей в типовых приложениях;

Автор выражает благодарность магистру Д.О.Семенову за помощь при вычислении векторных сигнатур ОСФ на основе метода лучевых сумм.

### Литература

1. *Optical Signal Processing*, Van der Lugt, Ed., Wiley Series in Pure and Applied Optics, John Wiley, N.Y., 1992.
2. *Tutorials in Fourier Optics* / Reynolds G. O., DeVelis J. B., Parrent G. B., Thompson B. J.. In: *Physical Optical Notebook*, SPIE Optical Engineering Press, N. Y., 1989.
3. *Применение методов Фурье-оптики* / под ред. Г.Старка.- М.: Радио и связь, 1988.
4. Сороко Л.М. *Гильберт-оптика*.- М.: Наука, 1981.
5. Ярославский Л.П. *Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику*.- М.: Радио и связь, 1987.
6. Власенко В.А., Лаппа Ю.М., Ярославский Л.П. *Методы синтеза быстрых алгоритмов свертки и спектрального анализа* / Под ред. Л. П. Ярославского. — М.: Наука. 1990.
7. Власенко В.А., Шкодин О.И. *Микропроцессорные системы неразрушающего контроля качества изделий электронной техники*.- К.: Техника, 1990.- 144 с.

8. Hannon S.M., Shapiro J.H. Active-passive detection of multipixel targets // *Proc.SPIE*, 1990, 1222, p.p. 2-23.
9. Koksal A.E., Shapiro J.H., Wells W.M., III. Model-based object recognition using laser radar range imagery // *Proc. SPIE*, 1999, 3718, p.p. 256-266.
10. Multiresolution detection of coherent radar targets / Subotic N.S., Thelen B.J., Gorman J.D., Reiley M.F. // *IEEE Trans. on Image Processing*, 1997, 6, p.p. 21-35.
11. Yeang C.P., Shapiro J.H. Target detection theory for stripmap SAR using physics-based multiresolution signatures // *Proc. SPIE*, 1998, 3370, p.p. 646-660.
12. Yeang C.P., Shapiro J.H. Target identification for stripmap- and spotlight-mode SARs using physics-based signatures // *Proc. SPIE*, 1999, 3721, p.p.748-762.
13. Multispectral sensor fusion for ground-based target orientation estimation: FLIR, HRR, LADAR / J. Kostakis, M. Cooper, T.J. Green et al. // *Proc. SPIE*, 1999, 3718, p.p. 14-24.
14. Using Fourier/Mellin-based correlators and their fractional versions in navigational tasks / Sazbon D., Zalevsky Z., Rivlin E., Mendlovic D. // *Pattern Recognition*, 2002, Vol. 35, No. 12, p.p. 2993-2999.
15. Hilbert phase microscopy for investigating fast dynamics in transparent systems / Ikeda T., Popescu G., Dasari R. R., Feld M. S. // *Optics Letters*, Vol. 30, No. 10, May, 15, 2005.
16. Phase-sensitive optical low-coherence reflectometry for the detection of analyte concentrations / Larin K. V., Akkin T., Esenaliev R. O., et al. // *Applied Optics*, Vol. 43, No. 17, June, 10, 2004.
17. Dave D. P., Milner T. E. Optical low-coherence reflectometer for differential phase measurement // *Optics Letters*, 2000, 25, p.p. 227 - 229.
18. Optical coherence tomography—principles and applications / Fercher A. F., Drexler W., Hitzenberger C. K., Lasser T. // *Rep. Prog. Phys.*, 2003, 66, p.p.239-303.
19. Левин Г.Г., Вишняков Г.Н. Оптическая томография. — М.: Радио и связь, 1989.
20. Handbook of Optical Coherence Tomography. Ed. by Bouma V. E., Tearney G. J., N. Y.: Marcel Dekker, 2001.
21. J. M. Schmitt. Optical coherence tomography (OCT): a review // *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 1999, 5, p.p.1205-1215.
22. Real-time phase-resolved functional optical coherence tomography by use of optical Hilbert transformation / Zhao Y., Chen Z. et al. // *Optics Letters*, 27, No. 2, January, 15, 2002.
23. Shul'man A. Ya., Kosarev E. L., Tarasov M. A. Hilbert-transform spectroscopy based on the a.c. Josephson effect. 1. Theory and Computational Technique // *Journal of Communications Technology and Electronics*, Vol. 48, No. 10, 2003, p.p. 1124-1136.
24. Pavlov A. V. Mathematical models of optical methods in data processing // *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2000, Vol. 39, No. 3, p.p. 441-447.
25. Идентификация объектов и методов при ООА-П-моделировании мультимедиа систем наблюдения и контроля фоно-целевой обстановки // Михайлов Н. К., Власенко В. А., Власенко Н. К. и др. // *Праці УНДІРТ*, 2004 № 2 (38), с.41-49.
26. Zastosowanie metod cyfrowej Hilbert-optyki w analizie oraz identyfikacji obiektów i tekstur w złożonych scenach dynamicznych / Lavrinenko S.V., Pierański W., Vlasenko N.K., Vlasenko V.A. // *IV Krajowa Konferencja "Metody i systemy komputerowe w badaniach naukowych i projektowaniu inżynierskim"*, Polska, Kraków, 26-28.11. 2003. — s.s. 785- 787.
27. Власенко В.А., Власенко Н.К., Семенов Д.О. Интегрально-геометрический подход к идентификации в пространстве преобразования Фуко-Гильберта: методы синтеза и анализа векторных сигнатур объектов и текстур//*Праці УНДІРТ*, 2006, № 3(47), с.64-70.
28. Alieva T., Bastiaans M. J., Calvo M. L. Fractional Transforms in Optical Information Processing // *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 2005, 10, p.p.1498-1519.
29. Арсирый В. А., Арсирый Е. А., Власенко В. А. Использование видеоинформационной технологии ТВ<sup>3</sup>С и мультимедиа систем для решения задач прикладной динамики // *Праці УНДІРТ*, 1997, № 3 (11) — 4 (12), с.3 — 9.