

2. Політанський, Л. Ф. Багатокористувальницька система зв'язку з використанням хаотичної частотної модуляції [Текст] / Л. Ф. Політанський, М. Я. Кушнір, Р. Л. Політанський, О. М. Еліяшів // Східно-Європейський журнал передових технологій – 2010. – № 1/5(43). – С. 44-47.
3. Дмитриев, А. С. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи [Текст] / А. С. Дмитриев, А. И. Панас. – М.: Издательство Физико-математической литературы. – 2002. – 252с.
4. Короновский, А. А. О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации [Текст] / А. А. Короновский, О. И. Москаленко, А. Е. Храмов // ЖТФ. – 2009. – т. 179. - № 12. – с. 1282-1310.
5. Иванюк, П. В. Хаотическое маскирование информационных сигналов с использованием генератора на базе системы Лю [Текст] / П. В. Иванюк, Л. Ф. Політанський, О. В. Політанський, О. М. Еліяшів // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2012. – №3. – С. 11-17.
6. Політанський, Л. Ф. Система передавання даних з використанням генераторів хаосу [Текст] / С. Д. Галюк, Л. Ф. Політанський, О. В. Гресь, Р. Л. Політанський // Радиотехника. – 2011. – №164. – С. 66-71.
7. Галюк, С. Д. Особливості синхронізації хаотичних систем (огляд) [Текст] / С. Д. Галюк, Л. Ф. Політанський, М. Я. Кушнір, Р. Л. Політанський // Складні системи і процеси. – 2011. – №2. – С. 3-29.
8. М. Роземблюм, А. Пиковский, Ю. Куртс Синхронизация: Фундаментальное нелинейное явление.
9. Pecora L.M. Synchronization in chaotic systems [Текст] / L. M. Pecora, T. L. Carroll // Phys. Rev. Lett. - 1990. - Vol. 64. - № 8. - P. 821-824.
10. Стасев Ю. В. Інформаційні системи на основі динамічного хаосу [Текст] / Стасев Ю. В., Васюта К. С., Женжера С. В. – Системи озброєння і військова техніка, 2009. – №1(17). – С. 134-138.

**Використання широкопasmових сигналів та удосконалених методів їхньої обробки в системах висвітлення підводної обстановки підвищує ефективність роботи ГАС. Досліджений вплив використання накопичення попарних кореляційних функцій з використанням когерентного подавлення перешкода на вихідне відношення сигнал/перешкода «внутрикласного» корелятора мультипликативні антени ГАС**

**Ключові слова:** гідроакустична станція, сигнал/перешкода, кореляційна функція, фазування, антенна решітка, ЛЧМ-сигнал

**Использование широкополосных сигналов и усовершенствованных методов их обработки в системах освещения подводной обстановки повышает эффективность работы ГАС. Исследовано влияние использования накопления попарных корреляционных функций с использованием когерентного подавления помех на выходное отношение сигнал/помеха «внутрикласного» корелятора мультипликативной антенны ГАС**

**Ключевые слова:** гидроакустическая станция, сигнал/помеха, корреляционная функция, фазирование, антенная решетка, ЛЧМ-сигнал

УДК 621.391.81

# ВПЛИВ НАКОПИЧЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ НА ВИХІДНЕ ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ПЕРЕШКОДА «ВНУТРИКЛАСНОГО» КОРЕЛЯТОРА

**А. М. Захаров**

Старший науковий співробітник  
Науково-дослідна лабораторія  
наукового центру ВМС

Академія ВМС ім. П.С.Нахімова

вул. Дибенко, 1А, м. Севастополь, Україна,  
99028

E-mail: zakharoff\_an@rambler.ru

## 1. Вступ

Для виявлення об'єктів у гідроакустичних системах виявлення, особливо в стаціонарних, широко використовуються активні і пасивні ГАС з багатоканальними антенними решітками (АР). В активній гідролокації компенсація часових затримок між гідрофонами в напрямку огляду простору (фазування АР) звичайно виконується шляхом вирівнювання фронту акустичної хвилі в на-

прямку огляду простору з формуванням вибірки сумарного сигналу, який обробляють у кореляційному пристрої з опорним сигналом. Однак при проходженні зондируючого сигналу через підводне середовище останній набуває значних змін, у тому числі мультипликативних, в результаті чого статистичний зв'язок між опорним та прийнятим сигналом суттєво зменшується. При цьому дані пристрої знижують свою ефективність та відповідно зменшується відношення сигнал/перешкода на виході корелятора.

Обробка гідроакустичних сигналів в таких умовах є достатньо складною задачею. Тому удосконалення існуючих методів обробки ехо-сигналів від цілей в умовах впливу підводного середовища та значних перешкод є актуальним завданням.

Застосування так названого «intraclass» («внутри-класного») корелятора [1] не потребує використання еталонного сигналу, так як відбувається кореляційна обробка сигналів від гідрофонів між собою (попарна кореляційна обробка) та накопичення отриманих кореляційних функцій (КФ) по алгоритму когерентного подавлення перешкод.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Стаття присвячена дослідженням впливу накопичення КФ ехо-сигналів прийнятих багатоканальною антенною решіткою (АР) на вихідне відношення сигнал/перешкода. Предметом досліджень є обробка ехо-сигналів від цілей в антенній решітці ГАС, яка являє собою мультиплікативну антену з «внутрикласным» корелятором.

В такій АР обчислення КФ приймальних сигналів від гідрофонів між собою (попарних КФ) та їх підсумовування (накопичення) виконується з компенсацією часових затримок для всіх напрямків огляду простору. Дослідження впливу накопичення попарних КФ на вихідне відношення сигнал/перешкода для пасивної локації підводних об'єктів проводилося в роботі [2] та для активної локації у [3, 4]. На відзнаку від існуючих результатів досліджень проведемо оцінку впливу накопичення КФ з використанням умов когерентного подавлення перешкоди в умовах впливу шумової та ревербераційної перешкод.

## 3. Мета та завдання на дослідження

Для дослідження впливу когерентного подавлення перешкоди на вихідне відношення сигнал/перешкода при активній гідролокації об'єктів розроблена програма фазування багатоканальної АР активної ГАС - «Sonar». При розрахунках було прийнято, що геометричні розміри акустичної антени є багато меншими, ніж радіус кривизни фронту акустичної хвилі, що приходить на антену, та для кожного каналу антени ехо-сигнал від об'єкту є однаковим. В основу імітаційні моделі об'ємної ревербераційної та шумової перешкоди були покладені наступні загальновідомі [1, 5, 6] припущення:

- сигнали від підводного об'єкта для кожного каналу АР відрізняються тільки тимчасовою затримкою;
- навколишній шум є квазібілим випадковим процесом у заданій смузі робочих частот;
- реверберація являє собою велику кількість мікро-відбиттів зондувального імпульсу від неоднорідностей водного середовища з рівномірним законом їхнього розподілу в навколишньому просторі.

Для проведення комп'ютерного моделювання використовувались ЛЧМ-сигнали у цифровому представленні, які модулювались за співвідношенням:

$$s_{zd}(n) = U(n) \cdot \cos \left[ 2\pi \left( F_0 \cdot n + \frac{F_m \cdot N}{\gamma} \cdot \left( \frac{n}{N} \right)^\gamma \right) \right], \quad (1)$$

де  $F_0 = \frac{f_0}{f_{dk}}$ ;  $F_m = \frac{f_{dv}}{f_{dk}}$  - безрозмірні частоти;  $f_{dk}$  - частота дискретизації;  $f_{dv}$  - девіація частоти;  $\gamma$  - коефіцієнт що складає величину 2...3 (лінійна або квадратична модуляція).

Лінійний закон модуляції розраховується за співвідношенням:

$$\phi_{md}(t) = 2\pi \cdot \frac{f_m \cdot T}{\gamma} \left( \frac{t}{T} \right)^\gamma; \quad f_{md}(t) = f_m \cdot \left( \frac{t}{T} \right)^{\gamma-1}. \quad (2)$$

Кількість відліків складала  $N_{wb} = 16384$ , при частоті дискретизації  $f_{dk} = 48$  кГц, та тривалості імпульсу  $T_{zd} = 0,3...0,4$  с.

Для приймальних сигналів  $g$ - та  $h$ - каналів АР, які є сукупністю ехо-сигналу, шумової та ревербераційної перешкод, обчислюють кореляційні функції за співвідношенням:

$$KF_{gh}(\eta) = F^{-1} \{ F^* [s_g(n)] \cdot F[s_h(n)] \} = F \{ F[s_g(n)] \cdot F^* [s_h(n)] \}. \quad (3)$$

При фазуванні АР підсумовування попарних КФ здійснюється за формулою:

$$SKF(\eta) = \sum_{g=1}^{M-1} \sum_{h=g+1}^M KF(\eta + \eta_{gh} - \eta_{gh}(\theta)), \quad (4)$$

де  $\eta_{gh}$  - фактична затримка, відліків;  $\eta_{gh}(\theta)$  - розрахункова затримка в напрямку на ціль, відліків.

Розрахункові значення затримки сигналу між гідрофонами  $g$ - та  $h$ - каналів обчислюються по формулі:

$$\eta_{gh}(\theta) = - \frac{y_{gh}(\theta) \cdot f_{dk}}{c}, \quad (5)$$

де  $y_{gh}(\theta)$  - різниця ходу променів для  $\theta$ -го напрямку огляду простору для кожної пари ( $gh$ ) приймачів АР,  $c$  - швидкість звуку у водному середовищі, м/сек.

З формули (4) видно, що фактичні затримки  $\eta_{gh} = \tau_{gh} \cdot f_{dk}$  відбитих сигналів  $s_{vb}(n)$ ;  $s_{vb}(n + \eta_{gh})$  компенсуються їх розрахунковими значеннями  $\eta_{gh}(\theta)$  для кожного напрямку  $\theta$  огляду простору.

При співпаданні напрямку  $\theta$  з пеленгом на ціль різниця затримок складає  $[\eta_{gh}(p_{lg}) - \eta_{gh}] \approx 0$ , тому в сумарній КФ перешкода сильно стискується, підсумовування КФ у співвідношенні (4) відбувається когерентно при чітко вираженому викиді КФ (рис. 1а). Для напрямків огляду водного простору, які не співпадають з пеленгом на ціль, умови когерентного накопичення функції порушуються ( $[\eta_{gh}(p_{lg}) - \eta_{gh}] \neq 0$ ), рис. 1б.

По співвідношенню (4) також виконується підсумовування як безпосередньо обчислених попарних кореляційних функцій  $KF_{gh}(\eta)$ , так і варіантів їхнього перетворення по алгоритму когерентного подавлення перешкод.

Кореляційні функції  $KF_{gh}(\eta)$  для усіх пар каналів перетворюються по алгоритму когерентного подавлення перешкод. Для цього по співвідношенню  $KF_{\Delta\eta}(\eta) = KF(\eta - \Delta\eta) + KF(\eta + \Delta\eta)$ , для затримок у відліках  $\Delta\eta = \pm 0, 1, 2, 3, 4$  обчислюються функції які використовуються при формуванні коефіцієнтів подавлення відліків  $KF_{gh}(\eta)$  поза викидом та коефіцієнтів посилення відліків  $KF_{gh}(\eta)$  в області затримки  $\eta_{gh}(\theta)$ , що компенсується. При перетворенні в ін-

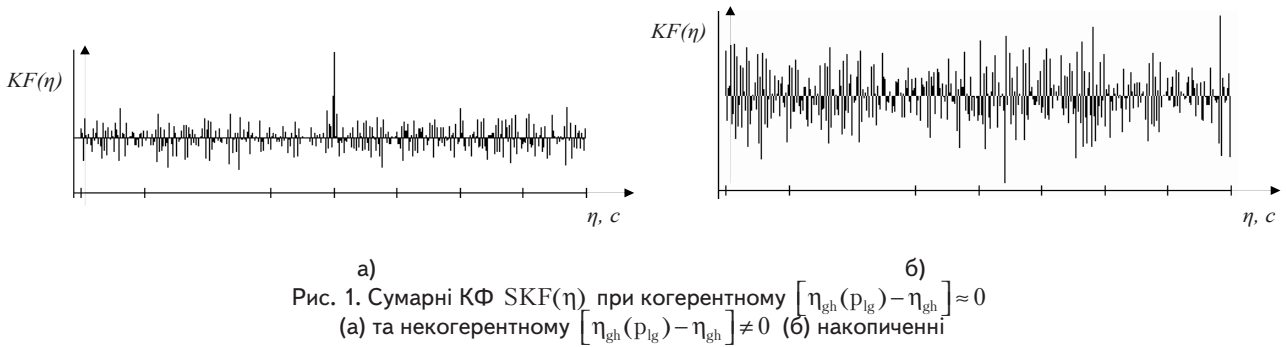


Рис. 1. Сумарні КФ SKF(η) при когерентному [η<sub>gh</sub>(p<sub>lg</sub>) - η<sub>gh</sub>] ≈ 0 (а) та некогерентному [η<sub>gh</sub>(p<sub>lg</sub>) - η<sub>gh</sub>] ≠ 0 (б) накопиченні

тервалі кореляції КФ відбувається збільшення дисперсії корисного викиду що призводить до суттєвого збільшення відношення сигнал/перешкода на виході кореляційного пристрою.

Для кожного напрямку θ огляду водного простору обчислюється вихідне відношення сигнал\перешкода по формулі:

$$Q(\theta) = \frac{\max [SKF(\eta)]}{\sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{\eta=0}^{N-1} [SKF(\eta)]^2}} \quad (6)$$

Графік функції Q(θ) являє собою діаграму пеленгування цілі. При обчисленні Q(θ) знаходиться затримка η(θ) максимального викиду сумарної КФ max [SKF(η)].

Рішення про виявлення об'єкта приймається при перевищенні вихідного відношення сигнал/перешкода Q(θ) ≥ Q<sub>0</sub> встановленого порогу Q<sub>0</sub>, при цьому часова затримка максимального викиду сумарної КФ при правильній компенсації повинна дорівнювати нулю та є додатковою умовою виділення цілі на фоні перешкод.

Фазування АР виконувалось при наступних значеннях параметрів ЛЧМ-сигналу:

- кількість каналів M<sub>pr</sub> = 36, (K<sub>pr</sub> = 630 КФ);
- робоча смуга сигналу f<sub>m</sub> = 6 кГц;
- робоча частота f<sub>г</sub> = 12 кГц;
- тривалість сигналу N<sub>wb</sub> = 16384 відліків
- частота дискретизації сигналу f<sub>dk</sub> = 48 кГц.

Приймальний сигнал являє собою суміш сигналу відбитого від цілі, навколишнього шуму морського середовища (квазібілий шум) і об'ємної реверберації при відношенні сигнал/перешкода на вході q = (-21 dB) по інтенсивності акустичного поля. Рішення про виявлення та оцінка пеленга цілі приймалась шляхом порівняння Q із заданим порогом виявлення якій прийнятий Q<sub>0</sub> = 6 (15,56 дБ).

Коефіцієнт виявлення для мультиплікативної антени з «внутрикласним» корелятором оцінюється за наступним співвідношенням [1]:

$$d = Q^2 = m \cdot (m - 1) \cdot (F \cdot T) \cdot \left(\frac{I_{sg}}{I_{ns}}\right)^2 \cdot \left(\frac{I_{sg}}{I_{rv}}\right)^2, \quad (7)$$

де m - кількість гідрофонів; (F · T) - добуток смуги частот і тривалості імпульсу; I<sub>sg</sub>/I<sub>ns</sub> - співвідношення сигналу і навколишнього шуму по інтенсивності; I<sub>sg</sub>/I<sub>rv</sub> - співвідношення сигналу і рівня реверберації по інтенсивності.

При вищезазначених умовах вихідне відношення сигнал/перешкода становить Q = 7,1...7,3 при цьому

програмне моделювання показало значення Q = 7,09, що показує добре співпадання результатів. Застосування алгоритмів слабого і сильного когерентного подавлення перешкод приводить до збільшення вихідного відношення сигнал/перешкода до величин Q = 9,63 та Q = 12,54 відповідно. На рис. 2-4 наведені КФ і діаграми пеленгування об'єкта відповідно без використання алгоритму когерентного подавлення перешкод, а також при слабкому та більш сильному когерентному подавленні перешкод.

Однак, при використанні сильного подавлення перешкоди виникають хибні викиди (хибні об'єкти), що показано на діаграмі пеленгів (рис. 4б)

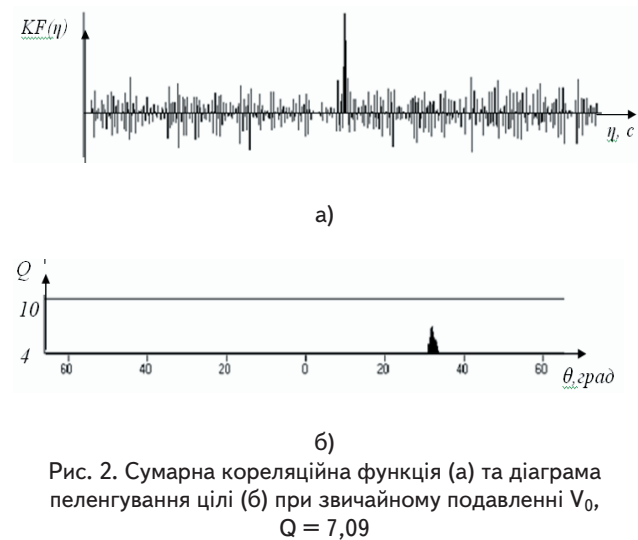


Рис. 2. Сумарна кореляційна функція (а) та діаграма пеленгування цілі (б) при звичайному подавленні V<sub>0</sub>, Q = 7,09

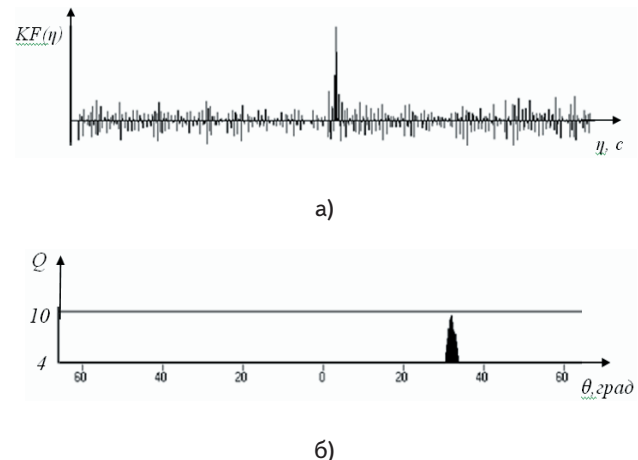


Рис. 3. Сумарна кореляційна функція (а) та діаграма пеленгування цілі (б) при слабкому подавленні V<sub>1</sub>, Q = 9,63

Результати досліджень впливу збільшення накопичувань з урахуванням когерентного подавлення КФ на вихідне відношення сигнал/перешкода, які отримані на модельних сигналах з використанням серії випробувань, приведені на рис. 5, 6. На рис. 5 зображені діаграми впливу збільшення накопичувань при попарній кореляційній обробці сигналів на вихідне відношення сигнал/перешкода в умовах когерентного подавлення  $V_1$ ,  $V_2$  та без нього  $V_0$ , при рівнях шумів  $pch_1=12$  та реверберації  $pch_2=10$ .

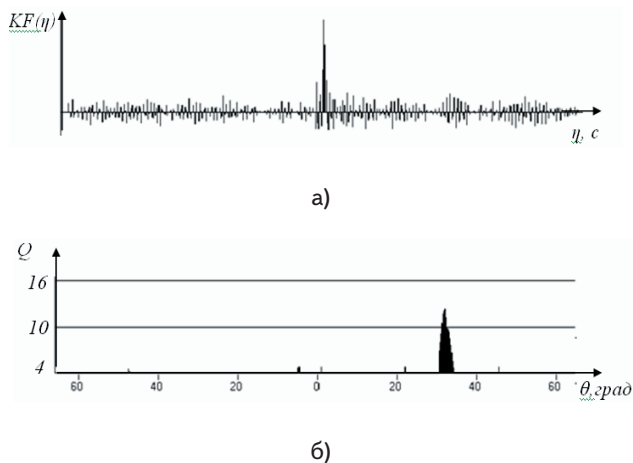


Рис. 4. Сумарна кореляційна функція (а) та діаграма пеленгування цілі (б) при сильному подавленні  $V_2$ ,  $Q = 12,54$

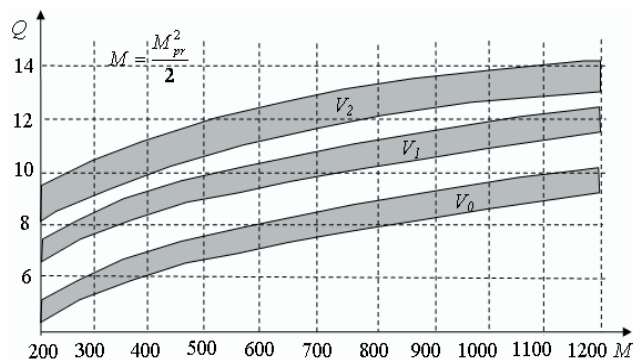


Рис. 5. Потрібна кількість накопичувань, яка необхідна для досягнення заданого відношення сигнал/перешкода  $Q_0$

З рис. 5 видно, що використання когерентного подавлення перешкоди (діаграми варіантів  $V_1$ ,  $V_2$ ), по рівнянню зі звичайним алгоритмом  $V_0$  надає можливість досягати більшого вихідного відношення сигнал/перешкода.

На рис. 6 приведені графіки залежностей збільшення коефіцієнта виявлення від збільшення накопичувань при попарній кореляційній обробці сигналів в умовах когерентного подавлення для сумарної шумової та ревербераційної перешкод на вході при-

ймального пристрою яка обчислюється за співвідношенням:

$$q_{\text{вх}} = \frac{1}{(U_{\text{нс}}^2 + U_{\text{rv}}^2)}, \tag{8}$$

де  $U_{\text{нс}}$ ,  $U_{\text{rv}}$  - рівні шумової та ревербераційної перешкод.

Врахування коефіцієнта підсилення для  $q_{\text{вх}} = -20$  дБ;  $-23$  дБ;  $-26$  дБ показане на графіках шляхом штриховки можливих значень коефіцієнта виявлення. З графіків видно, при  $q_{\text{вх}} = -26$  дБ виявлення цілі може виконуватись антенною решіткою з кількістю гідрофонів менш 64 (близько 2000 накопичень) з використанням алгоритму когерентного подавлення перешкод.

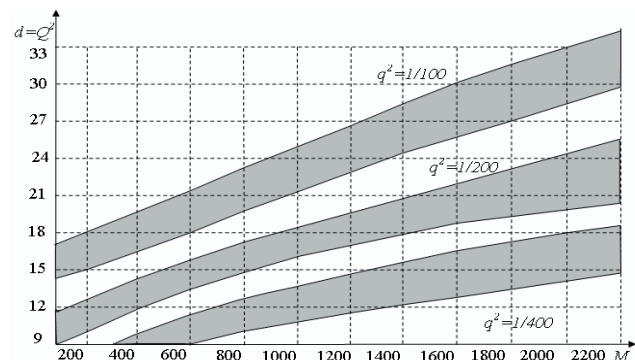


Рис. 6. Залежність коефіцієнта виявлення від кількості накопичень КФ з урахуванням різних рівнів перешкод

#### 4. Висновки

1. Імітаційне моделювання показало, що вихідне відношення сигнал/перешкода зростає в 1,4-2,0 рази, що дає прибавку в збільшенні коефіцієнта виявлення до 6 дБ. Використання когерентного подавлення перешкод дозволяє подолати рівень загальної перешкоди до  $-26$  дБ (в залежності від характеру та рівня переважної перешкоди), при загальній кількості накопичувань близько 900 (45 гідрофонів).

2. Визначення помилок виявлення доцільно виконувати шляхом оцінки величини затримки КФ відносно центру АР та селекції випадкових значень пеленга при переході від вибірки сигналів до наступної вибірки. Пеленг від об'єкта в цьому випадку змінюється повільно відповідно до маршруту та швидкістю його руху.

3. Результати проведених експериментальних досліджень показали, що алгоритми когерентного подавлення перешкод дозволяють значно підвищити ефективність функціонування тракту виявлення та супроводження підводних об'єктів в активній ГАС, що надає змогу використовувати їх при рішенні завдань висвітлювання підводної обстановки.

#### Література

1. Урик, Р.Д. Основы гидроакустики [Текст] / Р. Д. Урик. - Л. : Судостроение, 1978. - 445 с.
2. Баранов Г.Г. Підвищення перешкодостійкості пасивних ГАС з просторово - розвинутими антенними решітками [Текст] : - дис. ...канд. техн. наук / Г. Г. Баранов. —Севастополь, 2007. - 180 с.

3. Захаров А.Н. Методика фазування антенної решітки активної ГАС на основі попарної кореляційної обробки [Текст] /А.Н.Захаров // Збірник наукових праць, СВМІ. Севастополь, -2006. - вип. 2 (10), - С. 172-180.
4. Захаров А.Н., Миронов И.Я. Фазування антенної решітки активної ГАС по алгоритму самоподавлення перешкоди [Текст] /А.Н.Захаров, И.Я.Миронов // Збірник наукових праць, СВМІ. Севастополь, -2008. - вип. 1 (11), - С. 133-140.
5. Ольшевский, В. В. Статистические свойства морской реверберации [Текст] / В. В. Ольшевский. - М. : Наука, 1965. - 360 с.
6. Справочник по гидроакустике [Текст] : / А. П. Евтютов, А. Е. Колесников, Е. А. Корепин и др. ; - 2-е изд. — Л. : Судостроение, 1988. - 552 с.

*Розглянуто дослідження розпаралелених алгоритмів сегментації зображень з використанням обчислень на графічному процесорі. Для порівняння алгоритмів за якістю та швидкодією обрано такі два підходи сегментації – аналіз гістограм та кластеризація. Наведено результати досліджень та практичні рекомендації до їх використання*

*Ключові слова: аналіз гістограм, сегментація, кластеризація, обчислення на графічному процесорі, опрацювання зображень, паралельні обчислення, порівняння алгоритмів*

*Рассмотрены исследования параллельных алгоритмов сегментации изображений с использованием вычислений на графическом процессоре. Для сравнения алгоритмов по качеству и быстродействию избрано такие два подхода сегментации - анализ гистограмм и кластеризация. Приведены результаты исследований и практические рекомендации к их использованию*

*Ключевые слова: анализ гистограмм, сегментация, кластеризация, вычисления на графическом процессоре, обработка изображений, параллельные вычисления, сравнение алгоритмов*

УДК 004.272.2+004.932

# ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПАРАЛЕЛЕНИХ АЛГОРИТМІВ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЧИСЛЕНЬ НА ГРАФІЧНОМУ ПРОЦЕСОРІ

**Р. Б. Тушницький**

Кандидат технічних наук, старший викладач\*

E-mail: ruslan.tushnytsky@gmail.com

**І. Я. Кожух**

Аспірант\*

E-mail: ill.kozh@gmail.com

\*Кафедра програмного забезпечення

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

## 1. Вступ

Сегментація є одним з процесів обробки зображень, тісно пов'язаним з такими задачами, як розпізнавання об'єктів і пошук зображень за вмістом, та знаходить своє застосування у різних галузях науки. Завданням сегментації є розбиття зображення на деяку кількість частин – сегментів, що часто є одним з перших етапів обробки.

На даний час для сегментації зображень розроблений ряд алгоритмів з використанням різних математичних підходів, які дають змогу адаптувати її до конкретних задач галузі. У багатьох сферах розроблено платні та безкоштовні програмні засоби, що здійснюють сегментацію в контексті інших задач, а також більш вузькоспеціалізовані програми.

При залученні до розпаралелення графічного процесора очікується підвищення продуктивності робо-

ти, тобто суттєве пришвидшення сегментації завдяки одночасному виконанню операцій в багатьох потоках. Однак, не завжди теоретично придатний до розпаралелення алгоритм буде значно швидшим за послідовний на практиці.

Тому якість та швидкість сегментації, і як наслідок доцільність розпаралелення можуть бути визначені коректно лише при реалізації алгоритмів і експериментальному порівнянні їх роботи.

Таке дослідження дасть змогу не тільки підвищити швидкість роботи сегментації, а й встановити як найбільш ефективні з точки зору паралельної роботи алгоритми, так і найменш придатні до розпаралелення. Його результати можуть бути корисні для розробників програмного забезпечення та науковців, що працюють в області сегментації і розпаралелення, а також для всіх тих, хто стикається з потребою вибору підходів до сегментації зображень в інших галузях.