

Високопродуктивні багатоканальні аналого-цифрові самокалібровані системи моніторингу й синхронного опрацювання низькочастотних сигналів

(Шифр 58-Д-398)

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

(заключний)

Етап 3. Розробка апаратних і програмних складових АЦ-систем багатоканального моніторингу та сканування й розпізнавання низькочастотних сигналів. Розробка спеціалізованого програмного забезпечення. Експериментальні дослідження й комплексні випробування АЦ-систем

Науковий керівник
Відповідальний виконавець

д.т.н., проф. О.Д. Азаров
к.т.н., доц. Л.В. Крупельницький

ТЕРМІН ВИКОНАННЯ ЕТАПУ ТЕМИ

з 1.01.2022 по 31.12.2022

ВИКОНАВЦІ ТЕМИ ПРОТЯГОМ РОКУ

Докторів наук – 2

Кандидатів наук – 6

Інженерів – 3

Аспірантів – 3

Студентів - 4

МЕТА, ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ

- **Метою досліджень** є підвищення точності, швидкодії та достовірності розпізнавання широкого спектру сигналів за рахунок створення й вдосконалення моделей і методів опрацювання багатоканальних даних, схем, алгоритмів, апаратних і програмних засобів для новітніх АЦ-систем моніторингу й синхронної обробки низькочастотних сигналів.
- **Об'єктом дослідження** і розробки є процеси отримання, підсилення, аналого-цифрового перетворення, збору, цифрової обробки, аналізу та розпізнавання багатоканальних низькочастотних сигналів.
- **Предметом дослідження** є методи та засоби збільшення функціональності, точності, швидкодії та завадостійкості аналого-цифрових систем (АЦ-систем) перетворення й опрацювання низькочастотних сигналів за рахунок самокалібрування вимірювальних каналів, синхронного багатоканального приймання, накопичення даних, електронного сканування, ідентифікації стану об'єктів з використанням детермінованих і нейронечітких технологій.

Етапи роботи

- Дослідження структурних, схемотехнічних і алгоритмічних компонентів багатоканальних АЦ-систем моніторингу й синхронного опрацювання низькочастотних сигналів. Розробка технічних вимог (ТВ) до АЦ-систем (2020 р.)
- Дослідження й розробка методів і алгоритмів самокалібрування характеристик вимірювальних каналів, синхронного багатоканального моніторингу, паралельного сканування, розпізнавання та нейронечітких способів опрацювання сигналів і даних (2021 р.)
- **Розробка апаратних і програмних складових АЦ-систем багатоканального моніторингу та сканування й розпізнавання низькочастотних сигналів. Розробка спеціалізованого програмного забезпечення. Експериментальні дослідження й комплексні випробування АЦ-систем (2022 р.)**

Зміст третього етапу

1 Проектування й дослідження конструктивних і електронних складових засобів приймання акустичних сигналів

2 Розробка апаратних і програмних складових АЦ-систем для підсистеми збору й захищеного передавання даних

3 Системна інтеграція та комплексні налагоджування моніторингової АЦ-системи та АЦ-системи сканування й розпізнавання акустичних сигналів

4 Експериментальні дослідження й комплексні випробування АЦ-систем в лабораторних і польових умовах, корегування схемних та програмних рішень

Засоби приймання й опрацювання акустичних сигналів



8-канальний варіант входних підсилювачів-перетворювачів на базі аудіоінтерфейсів з Behringer U-Phoria UMC404HD



Експериментальний взірець модуля АЦ-системи SADS-4M



Стійки з мікрофонними решітками 8-канальної 2-променевої АЦ-системи сканування акустичних сигналів на місцевості

Компоненти мікрофонних решіток для 8-ми та 16-канальних АЦ-систем акустичної локації



Стійки з мікрофонними решітками 8-канальної
3-променевої АЦ-системи сканування акустичних
сигналів на місцевості



Стійки з мікрофонними решітками 16-канальної
4-променевої АЦ-системи сканування акустичних
сигналів на місцевості

Мікроконтролерна самокалібрована багатоканальна АЦ-система введення й обробки аналогових сигналів

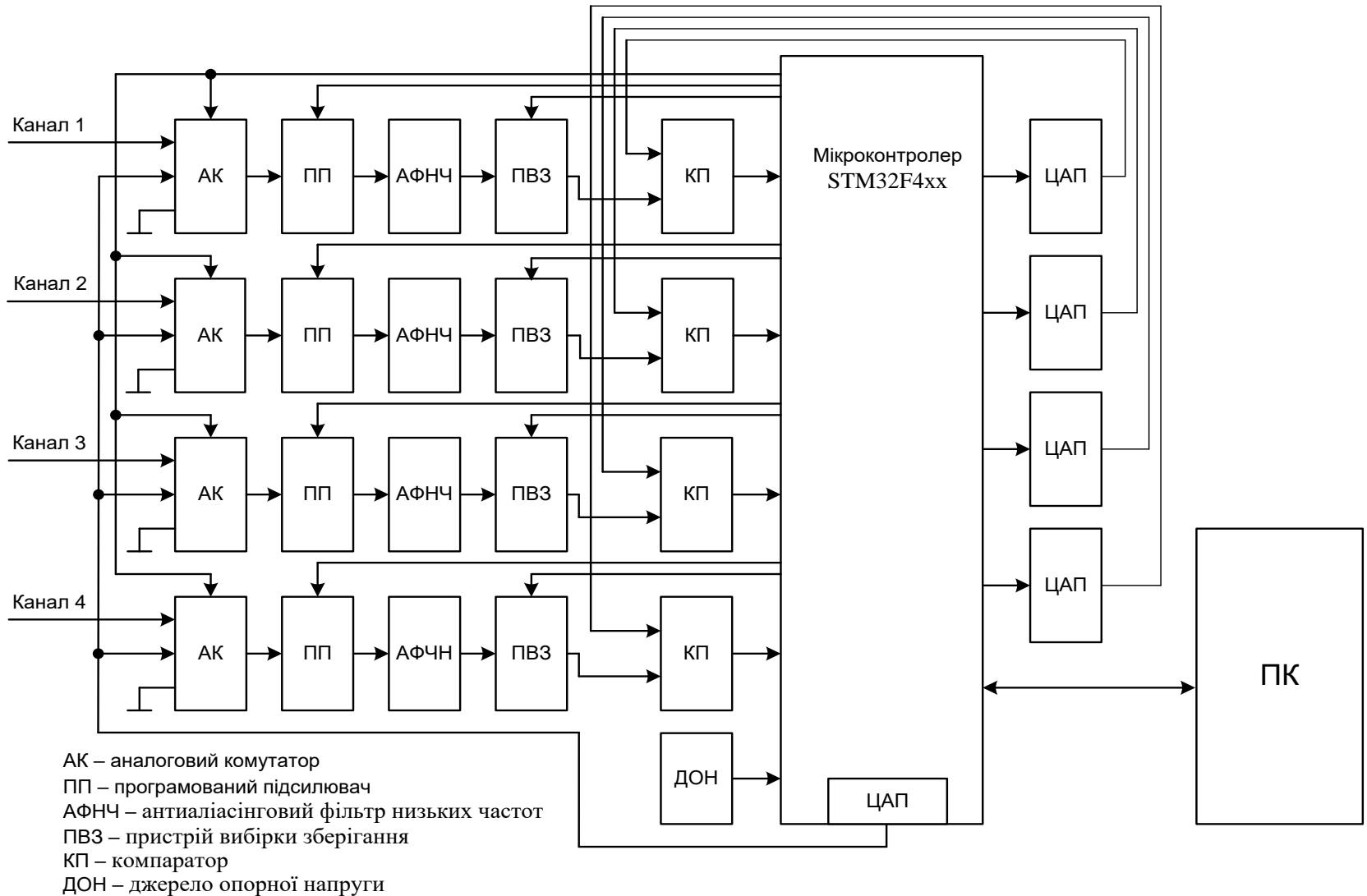
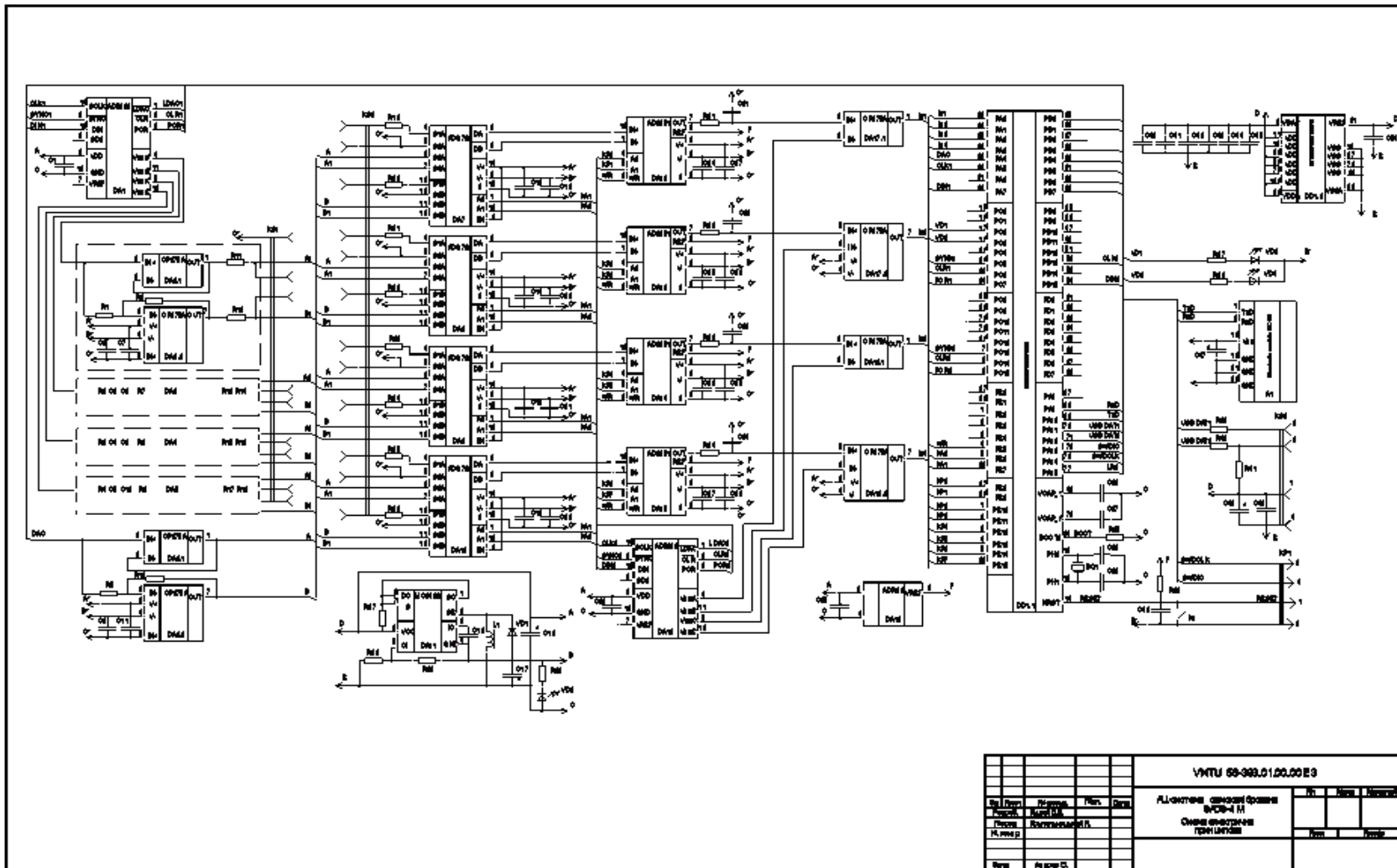


Схема електрична принципова самокаліброваної АЦ-системи SADS-M4



				VMTU 69-983.01.00.00E3			
№	Поз.	Назва	Мас.	№	Поз.	Назва	Мас.
1	1	Схема електрична принципова		1	1	Схема електрична принципова	
2	2	Листок 1		2	2	Листок 1	
3	3	Листок 2		3	3	Листок 2	
4	4	Листок 3		4	4	Листок 3	
5	5	Листок 4		5	5	Листок 4	
6	6	Листок 5		6	6	Листок 5	
7	7	Листок 6		7	7	Листок 6	
8	8	Листок 7		8	8	Листок 7	
9	9	Листок 8		9	9	Листок 8	
10	10	Листок 9		10	10	Листок 9	
11	11	Листок 10		11	11	Листок 10	
12	12	Листок 11		12	12	Листок 11	
13	13	Листок 12		13	13	Листок 12	
14	14	Листок 13		14	14	Листок 13	
15	15	Листок 14		15	15	Листок 14	
16	16	Листок 15		16	16	Листок 15	
17	17	Листок 16		17	17	Листок 16	
18	18	Листок 17		18	18	Листок 17	
19	19	Листок 18		19	19	Листок 18	
20	20	Листок 19		20	20	Листок 19	
21	21	Листок 20		21	21	Листок 20	
22	22	Листок 21		22	22	Листок 21	
23	23	Листок 22		23	23	Листок 22	
24	24	Листок 23		24	24	Листок 23	
25	25	Листок 24		25	25	Листок 24	
26	26	Листок 25		26	26	Листок 25	
27	27	Листок 26		27	27	Листок 26	
28	28	Листок 27		28	28	Листок 27	
29	29	Листок 28		29	29	Листок 28	
30	30	Листок 29		30	30	Листок 29	
31	31	Листок 30		31	31	Листок 30	
32	32	Листок 31		32	32	Листок 31	
33	33	Листок 32		33	33	Листок 32	
34	34	Листок 33		34	34	Листок 33	
35	35	Листок 34		35	35	Листок 34	
36	36	Листок 35		36	36	Листок 35	
37	37	Листок 36		37	37	Листок 36	
38	38	Листок 37		38	38	Листок 37	
39	39	Листок 38		39	39	Листок 38	
40	40	Листок 39		40	40	Листок 39	
41	41	Листок 40		41	41	Листок 40	
42	42	Листок 41		42	42	Листок 41	
43	43	Листок 42		43	43	Листок 42	
44	44	Листок 43		44	44	Листок 43	
45	45	Листок 44		45	45	Листок 44	
46	46	Листок 45		46	46	Листок 45	
47	47	Листок 46		47	47	Листок 46	
48	48	Листок 47		48	48	Листок 47	
49	49	Листок 48		49	49	Листок 48	
50	50	Листок 49		50	50	Листок 49	
51	51	Листок 50		51	51	Листок 50	
52	52	Листок 51		52	52	Листок 51	
53	53	Листок 52		53	53	Листок 52	
54	54	Листок 53		54	54	Листок 53	
55	55	Листок 54		55	55	Листок 54	
56	56	Листок 55		56	56	Листок 55	
57	57	Листок 56		57	57	Листок 56	
58	58	Листок 57		58	58	Листок 57	
59	59	Листок 58		59	59	Листок 58	
60	60	Листок 59		60	60	Листок 59	
61	61	Листок 60		61	61	Листок 60	
62	62	Листок 61		62	62	Листок 61	
63	63	Листок 62		63	63	Листок 62	
64	64	Листок 63		64	64	Листок 63	
65	65	Листок 64		65	65	Листок 64	
66	66	Листок 65		66	66	Листок 65	
67	67	Листок 66		67	67	Листок 66	
68	68	Листок 67		68	68	Листок 67	
69	69	Листок 68		69	69	Листок 68	
70	70	Листок 69		70	70	Листок 69	
71	71	Листок 70		71	71	Листок 70	
72	72	Листок 71		72	72	Листок 71	
73	73	Листок 72		73	73	Листок 72	
74	74	Листок 73		74	74	Листок 73	
75	75	Листок 74		75	75	Листок 74	
76	76	Листок 75		76	76	Листок 75	
77	77	Листок 76		77	77	Листок 76	
78	78	Листок 77		78	78	Листок 77	
79	79	Листок 78		79	79	Листок 78	
80	80	Листок 79		80	80	Листок 79	
81	81	Листок 80		81	81	Листок 80	
82	82	Листок 81		82	82	Листок 81	
83	83	Листок 82		83	83	Листок 82	
84	84	Листок 83		84	84	Листок 83	
85	85	Листок 84		85	85	Листок 84	
86	86	Листок 85		86	86	Листок 85	
87	87	Листок 86		87	87	Листок 86	
88	88	Листок 87		88	88	Листок 87	
89	89	Листок 88		89	89	Листок 88	
90	90	Листок 89		90	90	Листок 89	
91	91	Листок 90		91	91	Листок 90	
92	92	Листок 91		92	92	Листок 91	
93	93	Листок 92		93	93	Листок 92	
94	94	Листок 93		94	94	Листок 93	
95	95	Листок 94		95	95	Листок 94	
96	96	Листок 95		96	96	Листок 95	
97	97	Листок 96		97	97	Листок 96	
98	98	Листок 97		98	98	Листок 97	
99	99	Листок 98		99	99	Листок 98	
100	100	Листок 99		100	100	Листок 99	

Технічні параметри експериментального модуля АЦ-системи SADS-M4

- 1) число незалежних вхідних вимірювальних каналів з одночасною комутацією, підсиленням та АЦ-перетворенням – 4;
- 2) значення програмованих діапазонів вхідної напруги в кожному каналі: ± 0.25 В; ± 0.5 В; ± 1.0 В; ± 2.0 В;
- 3) тип входів – симетричний, з максимальним сумарним значенням синфазної та диференційної складових в межах напруги живлення ± 5.0 В. Передбачити захист входів від перевантаження напругою до ± 50 В;
- 4) діапазон робочих частот сигналів сенсорів – від 1 Гц до 10 кГц;
- 5) роздільна здатність АЦ-перетворення – не менше 20 двійкових розрядів;
- 6) частота дискретизації АЦП – змінювана від 32 кГц до 98 кГц;
- 7) приведена похибка до діапазону вимірювання напруг після калібрування – не більше 0.05 %;
- 8) динамічний діапазон, обмежений власними шумами, – не менше 110 дБ;
- 9) нелінійні спотворення вимірювальних каналів – не більше 0.005%;
- 10) час встановлення перехідної характеристики вимірювального каналу в імпульсному режимі роботи – не більше 1 мс (з відносною похибкою 0.1 %);
- 11) нерівномірність і неідентичність АЧХ/ФЧХ каналів – не більше 0.03дБ/0.1°;
- 12) схеми комутації вхідних кіл кожного з 4-х вимірювальних каналів забезпечують вибір вимірювального входу, «нуля», виходу калібрувального ЦАП, виходу джерела живлення сенсорів;
- 13) для вимірювання вихідних напруг та струмів меншого діапазону передбачено підключення до входів АЦ-системи відповідних попередніх струмових підсилювачів та перетворювачів струм-напруга;
- 14) забезпечено калібрування амплітудно-частотної та фазо-частотної характеристик шляхом подачі гармонійних опорних сигналів з калібрувального ЦАП;
- 15) інтерфейси - USB та Bluetooth.

Захищене передавання даних вимірювань завадостійким циклічним кодуванням з перемежуванням і автоматним методом обчислення CRC

Ітерація 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Ітерація 2

1	3	5	7	9	1	1	1	1	2	4	6	8	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Ітерація 3

1	5	9	1	1	4	8	1	1	3	7	1	1	2	6	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Трьохітеративне формування пакету із розрядів кодового слова і розбиття другого пакета із розрядів кодового слова на окремі розряди

Таблиця Особливості типів перемежування

Основні характеристики перемежування	Матричне блокове перемежування	Перемежування на основі циклічних перестановок
→		
Тип перемежування	пакет помилок випадкові - помилки	пакет помилок випадкові помилки, випадкові помилки пакет помилок
Операції кодоперетворення	кодування, декодування	декодування
Об'єкт перемежування	множина кодових слів	одне кодове слово

Експериментальні результати розпізнавання акустичних сигналів в умовах шумів на основі вдосконаленого методу kd-дерев

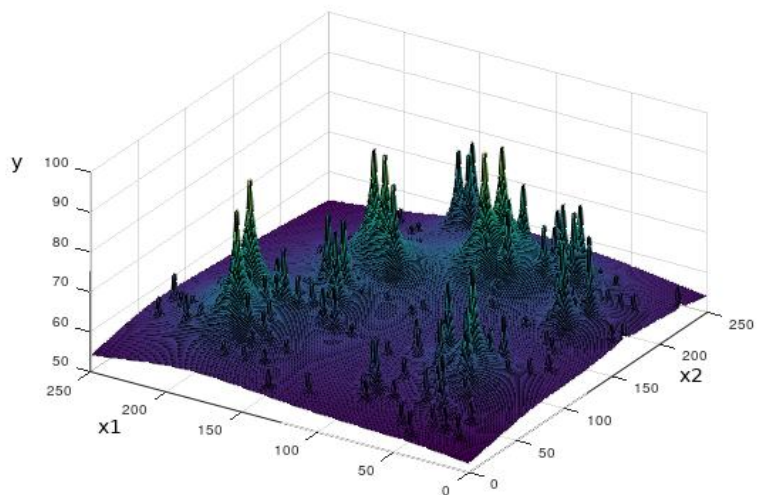
Форма сигналу суміші багатьох звуків із шумом



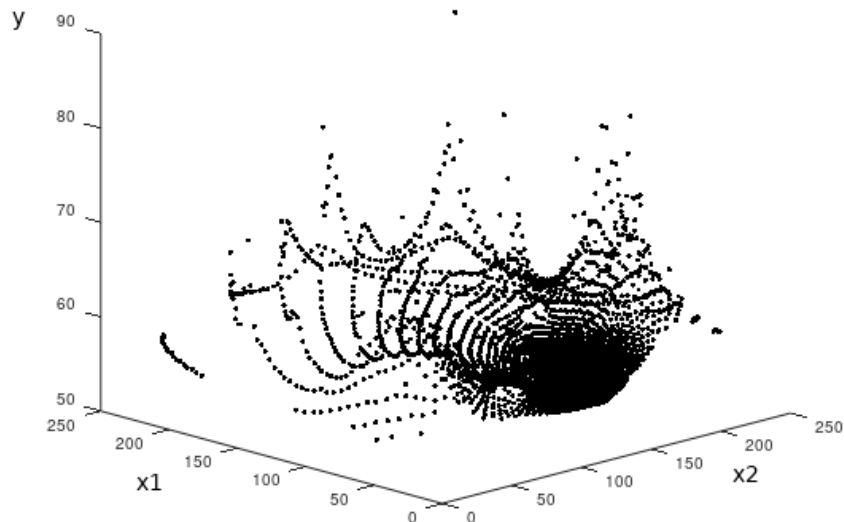
Таблиця Результати сегментації фреймів звуку із шумами

№	Назва звуку	Усього фреймів	Розпізнано	Не розпізнано	Відсоток розпізнавання
1	Тиша 1	52	29	23	56%
2	Спів пташки 1	310	182	128	59%
3	Тиша 2	53	34	19	64%
4	Рушниця 1	157	81	76	52%
5	Тиша 3	38	19	4	50%
6	Пістолет 1	90	26	64	29%
7	Тиша 4	70	47	23	67%
8	Автомат 1	120	93	27	78%
9	Тиша 5	90	37	53	41%
10	Трактор 1	792	621	171	78%
11	Тиша 6	84	55	29	65%
12	Спів пташки 1	62	57	5	92%
13	Пістолет 2	82	48	34	59%
14	Тиша 7	131	104	27	79%
15	Шум 1	400	0	400	0%

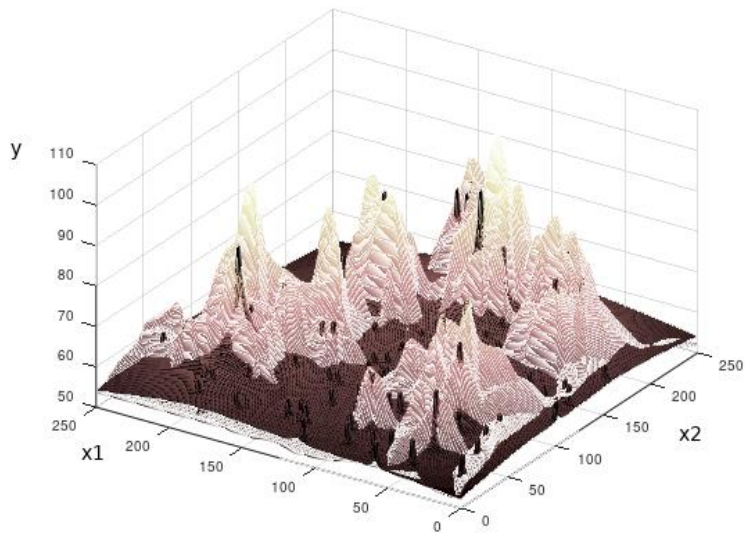
Деталізація акустичної поверхні за умов неповних даних шляхом оптимізації нечіткої бази знань II типу



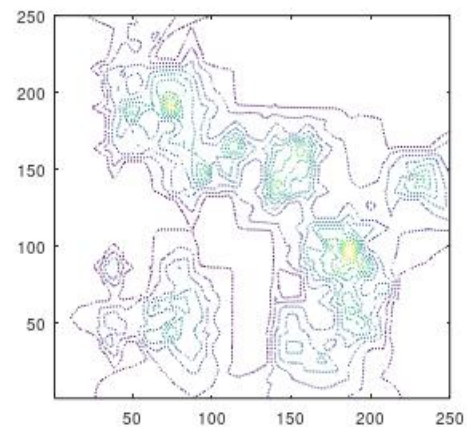
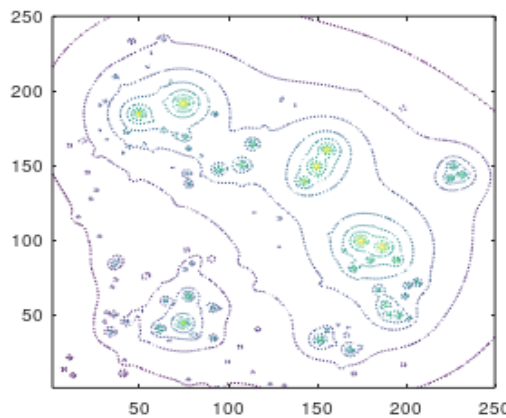
Реальне звукове зображення



Нечітке зображення після сканування мікрофонними решітками



Реконструкція реального звукового зображення



Акустичні зображення на площині : реальне іта після реконструкції

СТАТТІ, ПАТЕНТИ, КОНФЕРЕНЦІЇ, ДИСЕРТАЦІЇ, МАГІСТЕРСЬКІ ТА БАКАЛАВРСЬКІ РОБОТИ, ВПРОВАДЖЕННЯ

Публікації 2022 року:

- **1 монографія англійською мовою**

W. Wojcik, **S.V. Pavlov, O.D. Azarov**, S. Smailova, R.L. Golyaka, S.V. Bohomolov, T. Lawicki, S.S. Kulenko Highly linear microelectronic sensor signal converters based on push-pull amplifier circuits Lublin, Poland, Wydawnictwo polskiej akademii nauk. 2022, 282с.

Подано 2 монографії українською

- **4 статті** у виданнях, що індексуються Scopus;
- **11 статей** у фахових виданнях України .
- Зроблено **2 доповіді** на міжнародних, **14** - на конференціях в Україні
- Захищено: **1 дисертація доктора філософії (PhD)** –
Обертюх М.Р., Керівник – Азаров О.Д..;
- Захищено: **2 магістерських кваліфікаційних роботи; 3 бакалаврських роботи.**
- **Виконано госпдоговірну роботу :**
№ 5819 «Розробка функціональних схем апаратно-програмних складових мікропроцесорної АЦ-системи опрацювання низькочастотних сигналів» по замовленню ФОП Вовк К.М.
- **Планові показники 3 етапу НДР виконано.**

Звіт про НДР

Містить : 308 с., 24 табл., 76 рис., 7 дод., 226 джерел.

Реферативно:

Розроблено структури апаратних і програмних складових багатоканальних АЦ-систем перетворення, опрацювання й моніторингу низькочастотних сигналів. Досліджено засоби приймання, підсилення, АЦ-перетворення. Проаналізовано статичні й динамічні характеристики вимірювальних каналів та запропоновано нові методи їх калібрування. Досліджено способи побудови багатоканальних мікрофонних решіток для АЦ-систем сканування й моніторингу акустичних сигналів. Розроблено алгоритми й програми опрацювання даних сканування, завадостійкого кодування, розпізнавання аудіосигналів та візуалізації акустичної поверхні. Розроблено конструкції, структурні, принципіві схеми, виготовлено макети й експериментальні зразки АЦ-систем, проведено їх випробування.

Висновки за результатами НДР

В результаті виконання НДР отримано нові науково-практичні результати, значимі для сучасного рівня світової та вітчизняної науки, зокрема щодо:

- методології створення багатоканальних самокаліброваних систем підсилення й синхронного АЦ-перетворення низькорівневих звукових сигналів;
- методів і засобів побудови швидкодіючих структур паралельного цифрового сканування сигналів і шляхів підвищення їх обчислювальної ефективності;
- методів збільшення роздільної здатності розпізнавання акустичних і візуальних образів на основі детермінованих та нейро-нечітких алгоритмів;
- способів виділення інформативних складових корисних низькочастотних сигналів з шумів та завад;
- алгоритмів і програм розпізнавання звукових фрагментів на основі методів швидкого деревовидного пошуку серед взірців опорних сигналів.

.