

них досліджень.

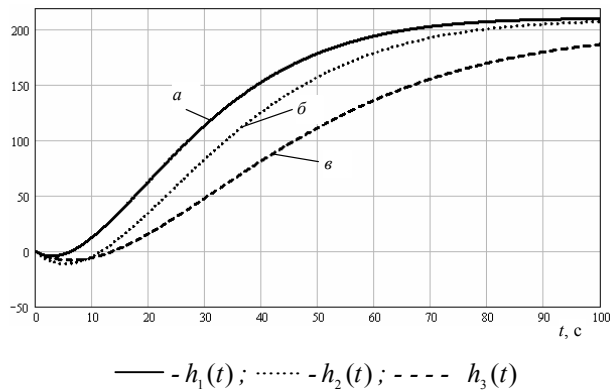


Рис. 3. Відтворені за функцією передачі криві розгону ВНА

1. Эйхгофф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Издательство “Мир”, 1975. – 683с.
2. Чхартишвили Г.С., Доценко В.И. Идентификация динамических объектов управления с применением псевдослучайных сигналов. – М.: МЭИ, 1976. – 80 с.

3. Волгин В.В. Методы расчета систем автоматического регулирования. / Учебное пособие. М.: Изд-во МЭИ, 1972. – 192с.
4. Кузнецов Е. В. Моделирование осевых сил в насосных агрегатах с учетом конструктивно-технологических факторов, Красноярск, 2004. – 119с.
5. Гликман Б.Ф. Математические модели пневмо-гидравлических систем.-М.: Наука, 1986. – 366с.
6. Костишин В.С. Моделирование режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогидравлічної аналогії. – Івано-Франківськ, 2000.- 163с.
7. Гроп Д. Методы идентификации систем. – М.: Издательство «Мир», 1979.-203с.
8. Симою М.П. Определение передаточных функций по временным характеристикам линеаризованных систем. – Приборостроение, 1958, № 3.
9. Аязян Г.К. Определение параметров модели методом площ Симою. – Уфа: 2002. – 15с.
10. Симою М.П. Определение коэффициентов передаточных функций линеаризованных звеньев систем регулирования. Автоматика и телемеханика, 1957. - № 6. – С.514–527.

УДК 681.5.015

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКЛАДЕНИХ ГАРМОНІЙНИХ СИГНАЛІВ

© Гуменюк Р.М., 2005

Івано-Франківський національний університет нафти і газу

**Запропоновані та теоретично обґрунтовані методи подвійного згортання сигналів, які є основою для визначення спектральних характеристик згідно узагальненої формули Вінера-Хінчина, в тому числі із застосуванням нової статистичної функції – оцінки знаку похідної першого порядку, із послідовним використанням різних статистичних функцій для реалізації згортань по фазі та частоті, із застосуванням еталонних частотних сигналів спеціальної форми, що дають можливість побудови фільтрів високочастотних складових для мінімізації обчислювальних процесів в каналах передавання сигналів діагностування**

Одним із перспективних напрямків теорії цифрового оброблення сигналів є використання кореляційних методів аналізу на основі статистичних функцій спрощених алгоритмів. Розвиток теорії та методів на основі подвійного згортання із використанням спрощених алгоритмів обчислення статистичних функцій дозволяє суттєво підвищити швидкодю та якість визначення спектральних характеристик сигналів діагностування, що є актуальною задачею.

Проведення дослідження новоутворених спектральних характеристик при застосуванні різних статистичних функцій для згортання по фазі та частоті [1] не варто обмежувати вхідною гармонійною послідовністю синусоїдальної форми певної частоти. Доцільно провести порівняння критеріїв якості спектральних характеристик [2] складених гармонійних послідовностей, до складу яких входять гармонійні послідовності синусоїдальної форми різної частоти, зокрема  $f(t)=$

$=\cos(t) + \cos(3*t)$  (рис. 1).

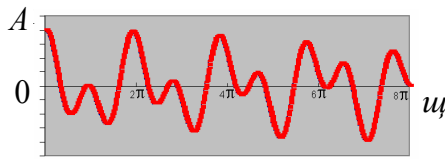


Рис.1. Складений сигнал  $f(t) = \cos(t) + \cos(3*t)$

Спектральні характеристики низькочастотної та високочастотної гармонійних складових сигналу наведені на рис.2а та рис.2б відповідно.

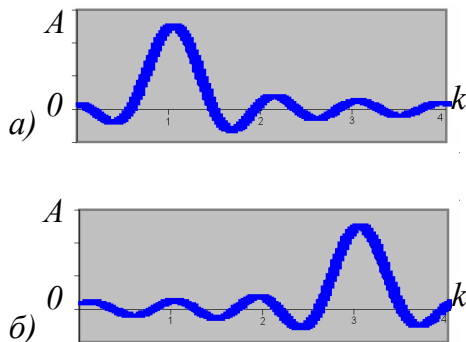


Рис.2. Амплітудний спектр гармонійних складових  $f(t) = \cos(t)$  (а) та  $f(t) = \cos(3*t)$  (б)

Отримано амплітудні спектри шляхом застосування різних функцій при згортанні по фазі та частоті для гармонійної послідовності  $f(t) = \cos(t) + \cos(3*t)$ . Форми спектральних характеристик подано на рис.3.

Переважає більшість спектральних характеристик містять по два явні екстремуми, що відповідає наявності двох складових у вхідному сигналі. Проте спектральні характеристики, утворені на основі функції оцінки знаку похідної 1-го порядку, мають один явно виражений екстремум, що відповідає високочастотній складовій.

В табл.1 наведено значення  $k^{u.c.}$  частотних складових спектральних характеристик та околу  $k'$  екстремальних значень амплітудних спектрів складеного сигналу  $f(t) = \cos(t) + \cos(3*t)$ . Значення  $k^{u.c.}$  та  $k'$  для високочастотної складової спектральної характеристики суттєво не відрізняються для всіх функцій згортання та відповідають наявності у вхідному сигналі складової  $f(t) = \cos(3*t)$ . Значення  $k^{u.c.}$  для низькочастотної складової спектральних характеристик, отриманих із застосуванням функції оцінки знаку похідної 1-го порядку, мають значні до 15% відхилення від частоти гармонійної складової  $f(t) = \cos(t)$  вхідного сигналу. Таким чином, функція оцінки знаку похідної 1-го порядку є непридатною для визначення низькочастотних складових сигналів.

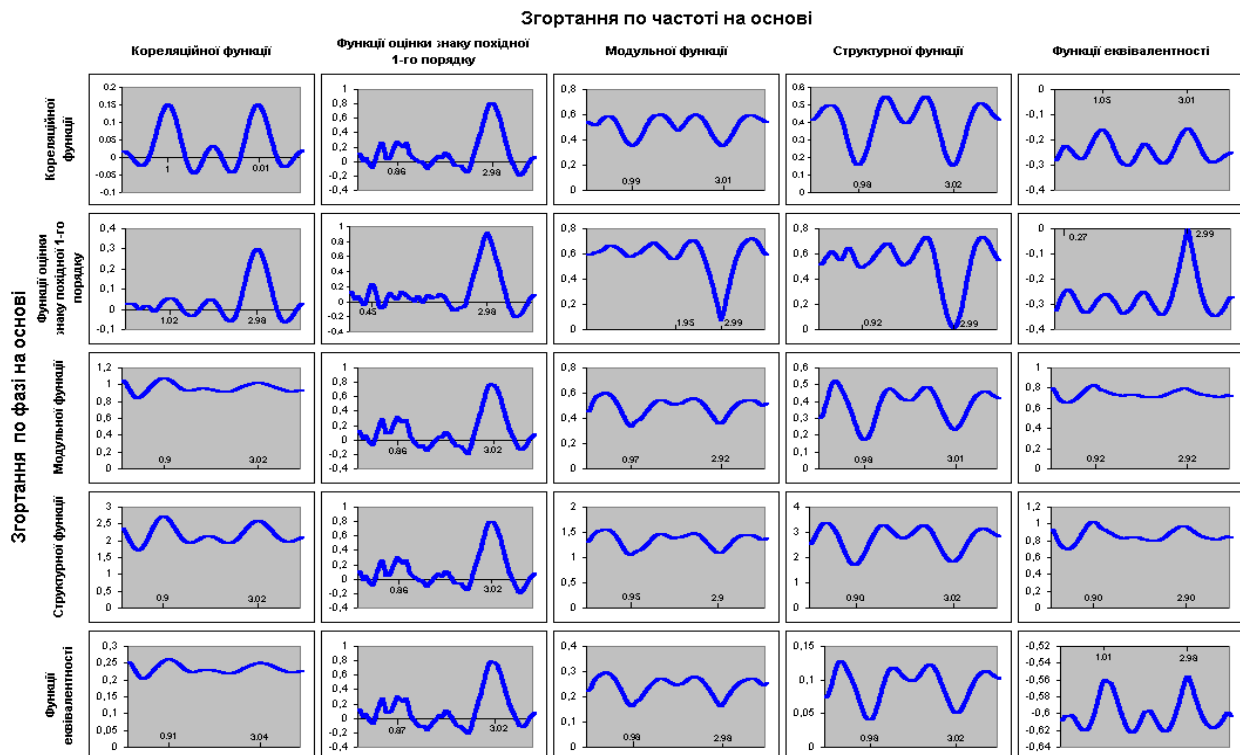


Рис.3. Амплітудні спектри складеного сигналу  $f(t) = \cos(t) + \cos(3*t)$

Таблиця 1 – Значення  $k^{ч.с.}$  частотних складових та околу  $k'$  екстремальних значень амплітудних спектрів складеного сигналу  $f(t) = \cos(t) + \cos(3t)$

Згортання по фазі на основі	Пік	Згортання по частоті на основі									
		кореляційної функції		функції оцінки знаку похідної 1-го порядку		модульної функції		структурної функції		функції еквівалентності	
		$k^{ч.с.}$	$K'$	$k^{ч.с.}$	$K'$	$k^{ч.с.}$	$k'$	$k^{ч.с.}$	$K'$	$k^{ч.с.}$	$K'$
кореляційної функції	I	1,00	0,59	0,86	0,17	0,99	0,55	0,98	0,60	1,05	0,54
	II	3,01	0,60	2,98	0,61	3,01	0,62	3,02	0,60	3,01	0,57
функції оцінки знаку похідної 1-го порядку	I	1,02	0,43	0,45	0,17	1,95	0,05	0,92	0,44	0,27	0,34
	II	2,98	0,63	2,98	0,56	2,99	0,67	2,99	0,63	2,99	0,61
модульної функції	I	0,90	0,57	0,86	0,17	0,97	0,62	0,98	0,62	0,92	0,62
	II	3,02	0,74	3,02	0,60	2,92	0,66	3,01	0,66	2,92	0,74
структурної функції	I	0,90	0,58	0,86	0,16	0,95	0,62	0,93	0,61	0,90	0,63
	II	3,02	0,68	3,02	0,61	2,90	0,61	3,02	0,64	2,90	0,70
функції еквівалентності	I	0,91	0,58	0,87	0,17	0,98	0,62	0,98	0,62	1,01	0,56
	II	3,04	0,73	3,02	0,60	2,98	0,65	3,02	0,66	2,98	0,57

Наведені в табл.2 значення критеріїв якості  $G$  та  $P$  дають підставу стверджувати, що для високочастотної складової  $f(t)=\cos(3*t)$  значення критеріїв якості спектральних характеристик, отриманих на основі послідовного використання функції оцінки знаку похідної 1-го порядку та модульної функції, в 2-2,5 рази перевищують аналогічні значення критеріїв якості класичного спектру.

Таблиця 2 – Критерії  $G, P$  якості амплітудних спектрів складеного сигналу  $f(t) = \cos(t) + \cos(3t)$

Згортання по фазі на основі	Пік	Згортання по частоті на основі									
		кореляційної функції		функції оцінки знаку похідної 1-го порядку		модульної функції		структурної функції		функції еквівалентності	
		$G$	$P$	$G$	$P$	$G$	$P$	$G$	$P$	$G$	$P$
кореляційної функції	I	100,11	23,68	46,49	92,36	79,40	38,74	98,90	22,75	61,44	44,55
	II	100,15	23,67	140,98	30,46	79,96	38,47	99,11	22,70	65,21	41,98
функції оцінки знаку похідної 1-го порядку	I	25,62	92,65	49,36	57,40	33,48	97,47	27,50	82,04	31,55	86,34
	II	147,03	16,14	199,18	14,22	250,28	13,04	141,49	15,94	164,37	16,57
модульної функції	I	56,28	76,69	49,17	89,87	87,97	41,20	83,05	51,17	53,27	69,44
	II	34,46	99,90	120,15	36,77	77,55	46,74	63,65	66,78	38,55	95,97
структурної функції	I	84,34	46,17	50,27	87,32	95,21	31,82	95,33	35,39	61,01	55,05
	II	67,97	57,28	138,08	31,79	85,66	35,37	86,14	39,17	46,46	72,29
функції еквівалентності	I	57,57	75,76	46,12	93,36	88,45	37,86	81,70	49,17	92,04	24,65
	II	40,37	99,90	120,81	35,64	87,09	38,45	69,57	57,75	99,30	22,85

Досліджено також спектральні характеристики складеного сигналу, представленого сумою гармонійних складових різної амплітуди (рис. 4)  $f(t)=\cos(t)+\cos(3*t)/2$ .

Обчислені спектральні характеристики для складеного сигналу  $f(t)=\cos(t)+\cos(3*t)/2$  наведено на рис.5. Візуально помітне пропорційне зменшення піку високочастотної складової вхідного сигналу для всіх отриманих спектрів, за винятком спектральних характеристик, утворених на основі функції оцінки знаку похідної 1-го порядку при згортанні по фазі, для яких високочастотна складова продовжує домінувати, незважаючи на зменшення її амплітуди у вхідному сигналі.

Обчислені критерії якості спектральних

характеристик сигналу  $f(t)=\cos(t)+\cos(3*t)/2$ , які наведені в табл.3, свідчать про відповідність значень  $k^{y.c.}$  частотних складових  $f(t)=\cos(t)$  та  $f(t)=\cos(3*t)$  очікуваним частотам складових вхідного сигналу при допустимих значеннях  $k'$  околу екстремальних значень спектрів для всіх функцій згортання.

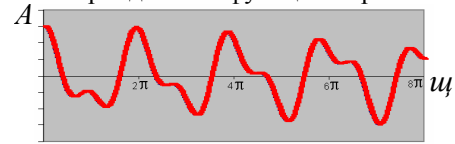


Рис.4. Складений сигнал  $f(t)=\cos(t)+\cos(3*t)/2$

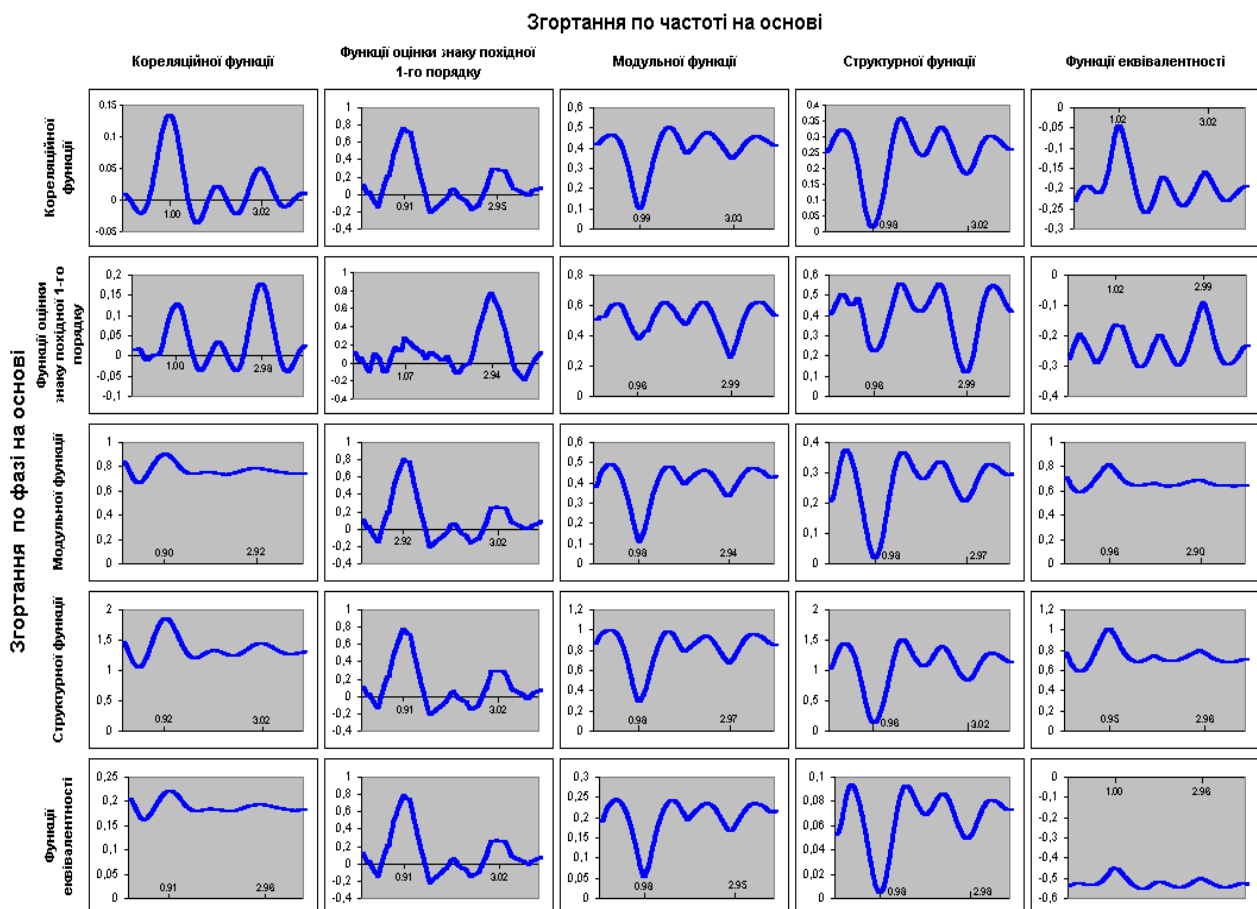


Рис.5. Амплітудні спектри складеного сигналу  $f(t)=\cos(t)+\cos(3*t)/2$

Проте значення критеріїв  $G$  та  $P$  спектральних характеристик (табл.4), отриманих із використанням функції оцінки знаку похідної 1-го порядку для згортання по фазі, в 1,5-3 рази перевищують аналогічні значення критеріїв якості класичного спектру для високочастотної складової  $f(t)=\cos(3*t)$ , а для низькочастотної складової  $f(t)=\cos(t)$  є в 1,5-3 рази гіршими.

Таким чином, підтверджено ефективність використання функції оцінки знаку похідної 1-го порядку при згортанні по фазі для визначення високочастотних складових складених сигналів і доцільність використання її при побудові фільтрів високочастотних складових для мінімізації обчислювальних процесів.

Таблиця 3 – Значення  $k^{ч.с.}$  та  $k'$  амплітудних спектрів складеного сигналу  $f(t)=\cos(t)+\cos(3*t)/2$

Згорання по фазі на основі	Пік	Згорання по частоті на основі									
		кореляційної функції		функції оцінки знаку похідної 1-го порядку		модульної функції		структурної функції		функції еквівалентності	
		$k^{ч.с.}$	$K'$	$k^{ч.с.}$	$K'$	$k^{ч.с.}$	$K'$	$k^{ч.с.}$	$K'$	$k^{ч.с.}$	$K'$
кореляційної функції	I	1,00	0,62	0,91	0,48	0,99	0,64	0,98	0,64	1,02	0,56
	II	3,02	0,54	2,95	0,40	3,03	0,54	3,02	0,54	3,02	0,51
функції оцінки знаку похідної 1-го порядку	I	1,03	0,51	1,07	0,18	0,96	0,53	0,96	0,48	1,02	0,49
	II	2,98	0,60	2,94	0,60	2,99	0,63	2,99	0,60	2,99	0,56
модульної функції	I	0,90	0,60	0,92	0,47	0,98	0,65	0,98	0,63	0,96	0,65
	II	2,92	0,76	3,02	0,38	2,94	0,54	2,97	0,55	2,93	0,63
структурної функції	I	0,92	0,62	0,91	0,47	0,98	0,65	0,96	0,64	0,95	0,64
	II	3,02	0,64	3,02	0,29	2,97	0,53	3,02	0,55	2,96	0,66
функції еквівалентності	I	0,91	0,60	0,91	0,47	0,98	0,65	0,98	0,63	1,00	0,58
	II	2,96	0,75	3,02	0,38	2,95	0,56	2,98	0,56	2,96	0,52

Таблиця 4 – Значення  $G$  та  $P$  амплітудних спектрів складеного сигналу  $f(t)=\cos(t)+\cos(3*t)/2$

Згорання по фазі на основі	Пік	Згорання по частоті на основі									
		кореляційної функції		функції оцінки знаку похідної 1-го порядку		модульної функції		структурної функції		функції еквівалентності	
		$G$	$P$	$G$	$P$	$G$	$P$	$G$	$P$	$G$	$P$
кореляційної функції	I	133,85	18,01	147,34	30,22	154,88	19,66	128,28	17,25	119,17	23,77
	II	51,15	47,14	60,06	74,14	41,24	73,85	49,20	44,98	36,01	78,64
функції оцінки знаку похідної 1-го порядку	I	93,84	27,29	54,38	60,53	59,56	47,88	91,96	26,27	41,36	63,85
	II	131,18	19,52	161,71	20,36	98,85	28,84	128,69	18,77	76,29	34,62
модульної функції	I	68,92	60,16	159,55	26,32	175,74	18,65	119,77	34,91	114,18	38,48
	II	17,85	99,90	54,49	77,09	57,75	56,75	42,26	98,95	31,32	99,90
структурної функції	I	109,54	33,86	156,84	31,61	152,51	19,15	128,82	19,05	110,68	23,52
	II	33,34	99,90	62,20	79,71	56,48	51,70	47,35	51,85	34,79	74,83
функції еквівалентності	I	71,29	59,59	155,24	28,57	172,24	17,97	116,57	33,85	140,14	20,18
	II	20,56	99,90	56,50	78,49	56,85	54,44	45,06	87,56	52,50	53,88

1. Гуменюк Р.М., Ищеряков С.М. Аналіз методу подвійного згорання із послідовним використанням різних статистичних функцій // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця: ВПІ. – 2003. – №6. – С. 307-311. 2. Гуменюк Р.М., Ищеряков С.М.

Оцінка якості амплітудного спектру для різних методів подвійної згорки//Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах:Зб.наукових праць.– Хмельницький: ТУП.– 2002.–Т.2–189с.