

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних наук

Кваліфікаційна робота бакалавра

**Розпізнавання в поточному часі фрагментів еталонних сигналів на тлі
адитивної імпульсної завади при наявності у неї випадкових інтервалів
із постійними значеннями**

Здобувач освіти гр. ІН-81

Устінов Антон

Науковий керівник,
кандидат технічних наук,
старший викладач

Авраменко Віктор

Завідувач кафедри
доктор технічних наук, професор.

Довбиш Анатолій

Суми 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра комп'ютерних наук

Затверджую _____

Зав. кафедри Довбиш А.С.

“ _____ ” _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи бакалавра

Студента 4-го курсу, групи ІН-81 спеціальності 122 -Комп'ютерні науки,
денної форми навчання Устінов А.С.

Тема: «Розпізнавання в поточному часі фрагментів еталонних сигналів на тлі адитивної імпульсної завади при наявності у неї випадкових інтервалів із постійними значеннями»

Затверджена наказом по СумДУ

№ _____ від _____ 2022 р.

Зміст пояснювальної записки: 1) актуальність; 2) літературний огляд; 3) постановка задачі; 4) хід розв'язання задачі; 5) контрольні приклади; 6) висновки.

Дата видачі завдання “ _____ ” _____ 2022 р.

Керівник випускної роботи _____ Авраменко В.В.

Завдання прийняв до виконання _____ Устінов А.С.

РЕФЕРАТ

Записка: 32 стор., 5 рис., 3 табл., 2 додатки, 12 джерел

Об'єкт дослідження (розробки) — система для розпізнавання фрагментів еталонних сигналів на тлі адитивної імпульсної завади.

Мета роботи — розробка алгоритму та комп'ютерної програми для моделювання роботи системи розпізнавання в поточному часі фрагментів еталонних сигналів на тлі адитивної імпульсної завади при наявності у неї випадкових інтервалів із постійними значеннями.

Методи дослідження (розробки) — методи основані на використанні функцій непропорційності, а також чисельні методи обчислення похідних.

Результати — розроблені алгоритм та комп'ютерні програми для моделювання роботи системи розпізнавання в поточному часі фрагментів еталонних сигналів на тлі адитивної імпульсної завади при наявності у неї випадкових інтервалів із постійними значеннями.

СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛІВ, ФУНКЦІЇ
НЕПРОПОРЦІЙНОСТІ, АДИТИВНІ ЗАВАДИ, РОЗПІЗНАВАННЯ
ФРАГМЕНТІВ СИГНАЛІВ, ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ ОБЧИСЛЕННЯ
ПОХІДНОЇ, ІМПУЛЬСНІ ЗАВАДИ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. Літературний огляд.....	7
1.1 Класифікація сигналів	7
1.2 Існуючі методи розпізнавання сигналів	8
2. Постановка та хід розв'язання задачі	10
2.1 Постановка задачі	10
2.2 Математична постановка задачі	10
2.3 Вибір методу розв'язання задачі.....	10
2.4 Хід розв'язання задачі	11
2.5 Алгоритм розв'язання задачі	12
3. Інструкція для користувача	16
4. Контрольні приклади	17
4.1 Моделювання роботи системи з синусоїдною завадою	17
4.2 Моделювання роботи системи з прямокутною завадою	23
Висновки.....	30
Список літератури.....	31
Додаток А	33
Додаток Б.....	36

ВСТУП

В практичній діяльності досить поширена задача розпізнавання сигналів заданого виду – еталонних сигналів. В першу чергу можна згадати про сигнали дистанційного керування безпілотними об'єктами.

Задача розпізнавання сигналу ускладнюється тим, що його амплітуда залежить від відстані між передаючою та приймальною сторонами, а також від коефіцієнту його затухання. Крім того, на еталонний сигнал, як правило, накладається завада, яка носить або природний, або штучний характер. Частіше за все характеристики завади невідомі, що заважає розробці різного роду пристроїв для її фільтрації.

Існує багато методів розпізнавання сигналів, починаючи з методу найменших квадратів, коли завада має незначний вплив. Досить поширені кореляційні методи розпізнавання сигналів при наявності завади. Велике поширення знаходять методи спектрального аналізу. Однак всі ці методи вимагають спостереження за сигналом, який аналізується, протягом певного інтервалу часу. Крім того, досить часто висуваються додаткові умови до нього. Тому розробка нових методів розпізнавання сигналів, які вимагають менше обмежень, є актуальною.

В даній роботі розв'язується задача розпізнавання фрагментів еталонних сигналів по даним, отриманим в поточний момент, а не протягом певного інтервалу. Амплітуда еталонного сигналу і характеристики завади невідомі. Але завада має відповідати наступній умові: вона повинна мати інтервали з постійними значеннями. Тому розглядається випадок, коли завада адитивна і носить імпульсний характер. Вона виникає і зникає в випадкові моменти часу. Тобто є випадкові інтервали, коли завада відсутня. Крім того, якщо амплітуда завади велика, вона буде «обрізатися» при проходженні через нелінійні пристрої з обмеженням по амплітуді. В такі моменти завада також приймає постійні значення.

Для завади з прямокутними імпульсами, практично весь час її значення або нульові, або приймають постійні максимальні значення.

В даній роботі показана робота системи розпізнавання фрагментів еталонних сигналів на інтервалах часу, коли адитивна завада приймає постійні значення.

1. Літературний огляд

Сигнал – зміна фізичної величини, що використовується для передачі даних [1].

1.1 Класифікація сигналів

Сигнали класифікуються за декількома характеристиками [2], такими як:

- за фізичною природою носія інформації:
 - механічний сигнал – створюється в наслідок дії твердого тіла, основні дієві величини : сила, момент сили або переміщення;
 - електричний сигнал – дія електричного струму; величини: сила струму, напруга;
 - радіосигнал – дія електромагнітного випромінювання; величини: напруженість електричного поля або магнітного поля;
 - оптичний сигнал – дія оптичного випромінювання; величини: потік випромінювання;
 - акустичний сигнал – дія звукових хвиль; величини: звуковий тиск;
 - гідравлічний (пневматичний) сигнал – механічна дія рідини (газу); величини: тиск;
- за способом надання сигналу:
 - регулярні (детерміновані), задані аналітичною функцією;
 - нерегулярні (випадкові), приймають довільні значення в будь-який момент часу; для опису використовуються засоби теорії ймовірності;
- за функцією, що описує параметри сигналу:
 - аналогові – описуються неперервною функцією;
 - дискретні – описуються функцією відліків, взятих в певні моменти часу;
 - квантовані за рівнем;
 - дискретні сигнали, квантовані за рівнем.

1.2 Існуючі методи розпізнавання сигналів

Розпізнавання сигналів не є новою проблемою, тому за довгі роки було розроблено багато способів для її вирішення. Розглянемо деякі з них.

1.2.1 Кореляційний метод

Кореляційний аналіз – статистичний метод вивчення взаємозв'язку між двома і більше випадковими величинами. Випадковими величинами можуть виступати значення змінних або властивості об'єктів, що досліджуються, які можна виміряти [3]. Результатом такого аналізу є обчислення коефіцієнтів кореляції, іншими словами чисельної оцінки взаємозв'язку між величинами, що досліджуються.

Головні завдання кореляційного аналізу [4]:

- оцінка за вибірковими даними коефіцієнтів кореляції;
- перевірка значущості вибіркових коефіцієнтів кореляції або кореляційного відношення;
- оцінка близькості виявленого зв'язку до лінійного;
- побудова довірчого інтервалу для коефіцієнтів кореляції.

Наприклад, кореляційний метод протягом довгого часу використовується в задачах радіозв'язку та радіолокації [5]. Це відбувається завдяки головній перевазі методу: інваріантності отриманих рішень до загасання сигналу. Головним же недоліком цього методу є необхідність обчислення згорток [6], що потребує багато часу [7].

1.2.2 Метод найменших квадратів

Метод найменших квадратів (МНК) — математичний метод, заснований на мінімізації суми квадратів відхилень деяких функцій від шуканих змінних. Метод може використовуватися для вирішення систем рівнянь у яких кількість рівнянь перевищує кількість невідомих, а також для пошуку рішення у випадку звичайних нелінійних систем рівнянь або для апроксимації точкових значень деякої функції.

Основна задача НК та її розв'язок сформульовані в [8]. Що до практичного використання МНК, фільтрація шумів, заснована на методі, представлена в [9]. Загалом метод складний в моделі, та простий в реалізації [10].

1.2.3 Функції непропорційності

Непропорційністю по похідній першого порядку функції $y = g(x)$ по x є:

$$@d_x^{(1)}y = \frac{y}{x} - \frac{dy}{dx} \quad (1),$$

@ - символ обчислення непропорційності, d – означає непропорційність по похідній (derivative) [11].

Непропорційністю по похідній першого порядку функції $y = g(x, t)$ по x при заданому значенні t є:

$$@d_x^{(1)}y_t = \frac{g(x,t)}{x} - g'_x(x, t) \quad (2)$$

Непропорційністю по похідній n -го порядку функції $y = g(x)$ по x є:

$$@d_x^{(n)}y = \frac{y}{x^n} - \frac{1}{n!} \frac{d^n y}{dx^n} \quad (3)$$

Непропорційністю по похідній першого порядку функції $y = g(x, t)$ по x при заданому значенні t є:

$$@d_x^{(n)}y_t = \frac{g(x,t)}{x^n} - \frac{1}{n!} \frac{d^n y}{dx^n} \quad (4)$$

Властивості непропорційності за похідною n -го порядку [11]:

- 1) Множення функції $y = g(x, t)$ на константу C приводить до збільшення її непропорційності у C разів.
- 2) Непропорційність за похідною n -го порядку суми (різниці) функцій дорівнює сумі (різниці) їх непропорційностей.
- 3) Для $y = k(t)x^n$, де n – ціле число більше нуля, при фіксованому значенні t , $@d_x^{(n)}y_t = 0$, на всій області допустимих значень.

Непропорційність є основою аналізу сигналу, що допоможе розпізнати його фрагменти в яких завада присутня та відсутня.

Функції непропорційності використовуються для виявлення несправностей великого класу квазістаціонарних об'єктів, до якого належать підсилювачі, канали телеметрії, датчики, перетворювачі напруги, тощо [11].

2. Постановка та хід розв'язання задачі

2.1 Постановка задачі

По каналу зв'язку передається неперервний або імпульсний корисний сигнал із заданої множини, наприклад, одна із можливих команд для керування безпілотником. На цей сигнал накладається імпульсна завада, яка на випадкових інтервалах в часі приймає випадкові постійні значення. Імпульси можуть бути одно- або двохполярні, бути періодичними або період може змінюватися в часі випадковим чином. Їхня амплітуда теж може змінюватися випадково.

Необхідно при відсутності характеристик завади в кожний момент часу розпізнавати фрагмент якого із еталонних сигналів поступає на приймальний пристрій. Наприклад, яка команда в поточний момент поступає на безпілотник.

2.2 Математична постановка задачі

Дана скінченна множина еталонних сигналів, що описані функціями $g_i(t)$, де $t \in [0; T]$ $i = 1, 2, \dots, L$. Ці функції є гладкими, неперервними та мають першу похідну. При наявності адитивної завади сигнал, що аналізується має вигляд:

$$y(t) = k g_i(t + \delta_i) + \sigma(t) \quad (5)$$

де $g_i(t)$ – i -та еталонна функція, $\delta_i \in [0; T_i]$ – зсув у часі між сигналом та i -тим еталоном, $\sigma(t)$ – адитивна завада, k – коефіцієнт з невідомим значенням.

Необхідно по поточним значенням сигналу $y(t)$ визначити, яка з еталонних функцій наявна у поточний момент часу в сигналі, що аналізується.

2.3 Вибір методу розв'язання задачі

Кореляційний метод, метод найменших квадратів, а також декілька інших методів не підходять для вирішення поставленої задачі через те, що вони потребують інформацію, яка збирається протягом певного інтервалу часу, а

розв'язання задачі потребує того, щоб сигнали розпізнавались у поточному часі.

Тому для вирішення проблеми розпізнавання в поточному часі фрагментів еталонних сигналів на тлі адитивної імпульсної завади при наявності у неї випадкових інтервалів із постійними значеннями було використано методи, що використовують функції непропорційності.

2.4 Хід розв'язання задачі

У постановці задачі описаний випадок, коли завада приймає випадкові постійні значення у випадкові моменти часу. Завада може бути послідовністю прямокутних, трапецеїдальних, а також синусоїдних, зі зрізаними вершинами, імпульсів. Таким чином у деякі моменти часу сигнал буде мати в собі еталонний сигнал, що змінюється з часом та постійне значення завади. Це означає, що у виразі (5) похідні $\sigma(t)$ будуть рівними нулю [12].

Розглянемо першу похідну сигналу (5):

$$y'(t) = kg'_i(t + \delta_i) + \sigma'(t) \quad (6)$$

Таким чином, непропорційність за похідною першого порядку $y'(t)$ по першій похідній $g_j(t + \delta_j)$ при $j = i$ має вигляд [12]:

$$\begin{aligned} @d_{g'_i(t+\delta_i)}^{(1)} y'(t) &= \frac{kg'_i(t+\delta_i) + \sigma'(t)}{g'_i(t+\delta_i)} - \frac{kg''_i(t+\delta_i) + \sigma''(t)}{g''_i(t+\delta_i)} = \frac{\sigma'(t)}{g'_i(t+\delta_i)} - \frac{\sigma''(t)}{g''_i(t+\delta_i)} = \\ &= @d_{g'_i(t+\delta_i)}^{(1)} \sigma'(t) \quad (7) \end{aligned}$$

Коли завада зникає або приймає постійне значення, $\sigma'(t) = \sigma''(t) = 0$, внаслідок чого непропорційність (7) стає рівною нулю.

Також важливим є те, що непропорційність (7) може бути близькою до нуля через те, що похідні у знаменниках можуть прямувати до нескінченності [12]. Тому необхідно обчислити коефіцієнт

$$k_i(t) = \frac{y'(t)}{g'_i(t+\delta_i)} \quad (8)$$

Якщо (8) не дорівнює нулю і не прямує до нескінченності, а непропорційність (7) дорівнює нулю, це означає, що в момент часу t завада прийняла постійне значення, тому у сигналі (5) присутній фрагмент еталонної

функції $g_i(t)$, зсунутий на δ_i . Винятком може бути випадок коли декілька еталонів мають однакові фрагменти.

2.5 Алгоритм розв'язання задачі

При написанні алгоритму використовуються ідентифікатори приведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Опис функцій та змінних використаних у програмі

Функція	Параметри та змінні	Тип даних	Опис
	NFIN		Глобальна константа, загальна кількість кроків h
	k	double	Глобальна змінна, коефіцієнт k у (1)
	sw1	double	Глобальна змінна, номер кроку в який завада $\sigma(t)$ змінює свою поведінку в перший раз
	sw2	double	Глобальна змінна, номер кроку в який завада $\sigma(t)$ змінює свою поведінку в другий раз
	sw3	double	Глобальна змінна, номер кроку в який завада $\sigma(t)$ змінює свою поведінку в третій раз
	sw4	double	Глобальна змінна, номер кроку в який завада $\sigma(t)$ змінює свою поведінку в четвертий раз
	h	double	Глобальна змінна, крок зміни часу t
	p	FILE*	Глобальне посилання на файл запису результатів

	pl	FILE*	Глобальне посилання на файл запису результатів
derivative		void	Обчислює похідну функції
	y	double*	Посилання на масив значень функції
	y_der	double*	Посилання на масив у який записуються значення похідної функції
	n	int	Розмір масивів y і y_der
	h	double	Крок зміни часу t
g1_func		double	Обчислює і повертає значення еталонної функції $g_1(t)$
	x	double	Значення часу t
g1_func			Обчислює і повертає значення еталонної функції $g_2(t)$
	x	double	Значення часу t
interference			Обчислює і повертає значення завади $\sigma(t)$
	i	int	Номер кроку i
	v	double	Значення завади $\sigma(t)$
main		int	Основна функція, стартова точка роботи програми
	x	double	Значення часу t
	i	int	Номер кроку i
	g1_value	double[]	Масив значень еталонної функції $g_1(t)$
	g1_der	double[]	Масив значень першої похідної еталонної функції $g_1(t)$

	g1_der2	double[]	Масив значень другої похідної еталонної функції $g_1(t)$
	g2_value	double[]	Масив значень еталонної функції $g_2(t)$
	g2_der	double[]	Масив значень першої похідної еталонної функції $g_2(t)$
	g2_der2	double[]	Масив значень другої похідної еталонної функції $g_2(t)$
	sigma_value	double[]	Масив значень завади $\sigma(t)$
	sigma_der	double[]	Масив значень першої похідної завади $\sigma(t)$
	y_value	double[]	Масив значень функції $y(t)$ (5)
	y_der	double[]	Масив значень першої похідної функції $y(t)$ (6)
	y_der2	double[]	Масив значень другої похідної функції $y(t)$
	Disprop_y_g1	double[]	Непропорційність (7) від $g_1(t)$
	Disprop_y_g2	double[]	Непропорційність (7) від $g_2(t)$
	kk	double[]	Коефіцієнт (8)

На рисунку 2.1 наведена блок-схема алгоритму програми

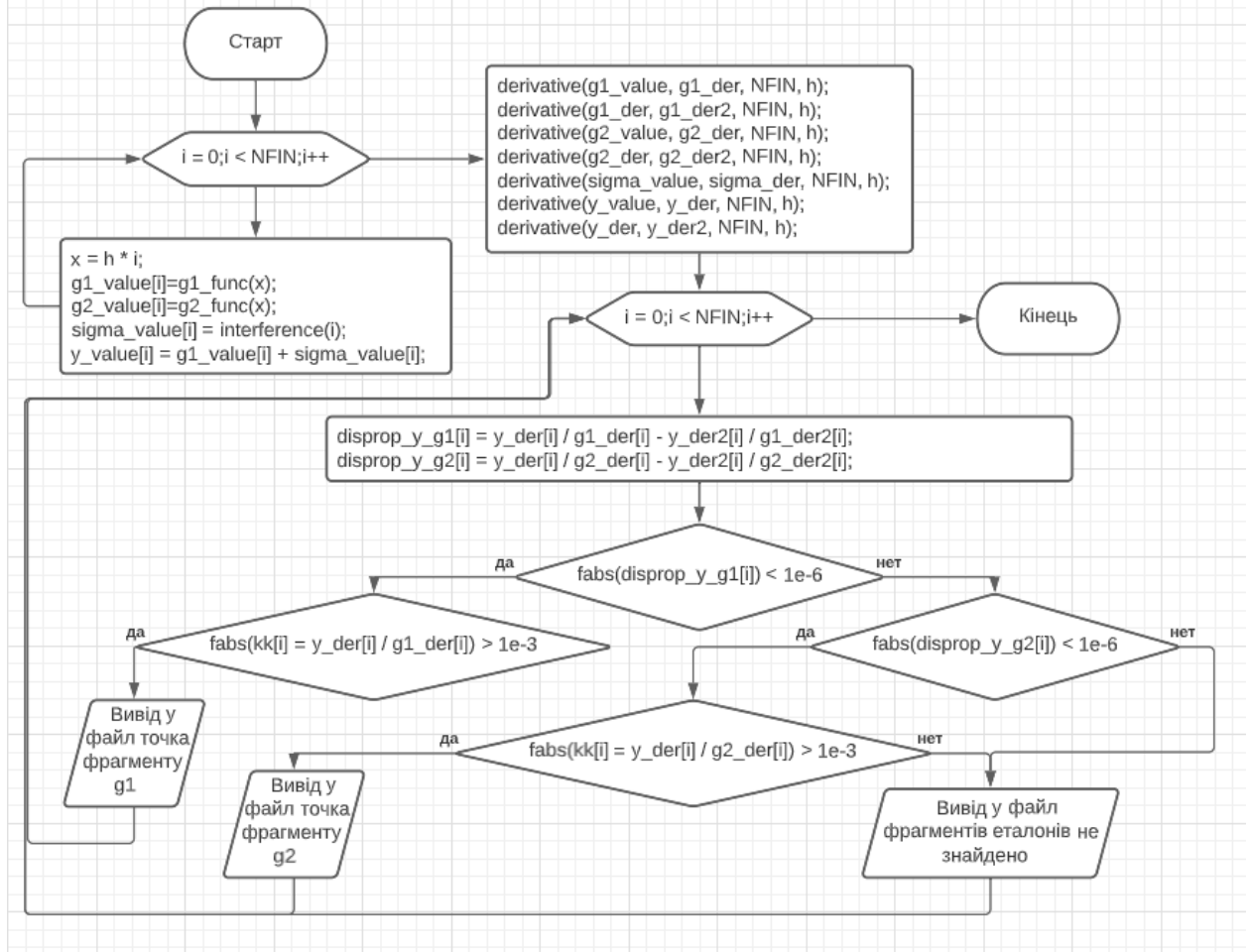


Рисунок 2.1 Блок-схема програми

3. Інструкція для користувача

Приводяться 2 комп'ютерні програми мовою C++.

Програма Signal1.cpp (4 Кб) моделює роботу системи розпізнавання при синусоїдальній заваді.

Програма Signal2.cpp (4 Кб) моделює роботу системи розпізнавання при заваді з імпульсами прямокутної форми. Дані в обидві програми вводяться шляхом ініціалізації, результати роботи кожної програми заносяться у два файли: strih_cpp1.txt (Signal1) та strih_cpp2.txt (Signal2) для аналізу отриманих результатів, str1exe1.txt (Signal1) та str1exe2.txt (Signal2) для побудови графіків за допомогою Excel.

4. Контрольні приклади

4.1 Моделювання роботи системи з синусоїдною завадою

В першому контрольному прикладі розглядається випадок, коли завада має синусоїдальну форму зі зрізаними вершинами внаслідок її проходження через нелінійний пристрій із обмеженням по амплітуді. В цьому випадку сигнал, який аналізується має вигляд:

$$y(t) = kg(t) + \sigma(t) \quad (9)$$

де $k = 3$;

$g_1(t)$ та $g_2(t)$ – еталонні сигнали

$$g_1(t) = \exp(-0.1t) \cos(t) \quad (10)$$

$$g_2(t) = \exp(\sin(t)) \sin(t + 0.1) \quad (11)$$

В даному випадку зсув $\delta = 0$.

Завада $\sigma(t)$ – синусоїда зі зрізаними вершинами. Результати обчислень програми вказані у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Значення завади та непропорційностей $y'(t)$ від $g_1'(t)$ та $g_2'(t)$

i	interference	dispos_y_g1	dispos_y_g2
0	0	-85,65	8,604
1	0,1745	-74,92	8,815
2	0,349	-66,68	9,043
3	0,5234	-60,17	9,292
4	0,6976	-54,9	9,563
5	0,8716	-50,56	9,862
6	1,045	-46,92	10,19
7	1,219	-43,84	10,56
8	1,392	-41,2	10,97
9	1,564	-38,91	11,43
...
...

...
54	8,09	-30,78	-2,659
55	8,192	-31,91	-2,57
56	8,29	-33,17	-2,493
57	8,387	-265,6	-33,11
58	8,48	-515,4	-60,82
59	8,572	-268,2	-29,94
60	8,66	-2,67E-12	-1,906
61	8,66	6,63E-12	-1,934
62	8,66	2,90E-12	-1,968
63	8,66	-1,17E-11	-2,008
...
...
...
112	8,66	1,52E-12	2,012
113	8,66	-4,95E-13	1,975
114	8,66	-7,03E-13	1,944
115	8,66	1,89E-12	1,919
116	8,66	-3,06E-12	1,899
117	8,66	136,7	-28,98
118	8,66	272,3	-62,95
119	8,66	147,3	-32,72
120	8,66	23,01	0,7101
121	8,572	22,95	0,6262
...
...
...
169	1,908	178,3	3,861
170	1,736	232,7	3,731

171	1,564	334,6	3,609
172	1,392	594,7	3,494
173	1,219	2650	3,385
174	1,045	-1085	3,281
175	0,8716	-451,5	3,181
176	0,6976	-285,8	3,085
177	0,5234	-209,4	2,992
178	0,349	-165,6	2,902
...
...
...
199	-3,256	-36,53	1,291
200	-3,42	-35,67	1,219
201	-3,584	-34,91	1,148
202	-3,746	-34,23	1,077
203	-3,907	-33,62	1,006
204	-4,067	-33,08	0,935
205	-4,226	-32,61	0,8644
206	-4,384	-32,2	0,794
207	-4,54	-31,84	0,7238
208	-4,695	-31,54	0,6538
...
...
...
235	-8,192	-43,68	-1,272
236	-8,29	-45,41	-1,356
237	-8,387	-363,6	-52,53
238	-8,48	-705,7	-102,1
239	-8,572	-367,2	-51,89

240	-8,66	-7,29E-12	-3,455
241	-8,66	3,80E-12	-3,576
242	-8,66	4,15E-12	-3,708
243	-8,66	-4,69E-12	-3,855
244	-8,66	-1,90E-12	-4,016
...
...
...
292	-8,66	-3,23E-12	3,3
293	-8,66	3,01E-12	3,207
294	-8,66	1,89E-12	3,12
295	-8,66	-7,27E-13	3,04
296	-8,66	4,86E-13	2,966
297	-8,66	187,1	-53,7
298	-8,66	372,8	-112,3
299	-8,66	201,6	-55,94
300	-8,66	31,5	2,368
301	-8,572	31,42	2,38
...
...
...
320	-6,428	36,63	3,135
321	-6,293	37,36	3,196
322	-6,157	38,15	3,259
323	-6,018	39,02	3,323
324	-5,878	39,97	3,389
325	-5,736	41,01	3,457
326	-5,592	42,14	3,526
327	-5,446	43,38	3,596

328	-5,299	44,74	3,668
329	-5,15	46,24	3,741
...
...
...
350	-1,736	318,5	5,651
351	-1,564	458,1	5,768
352	-1,392	814,3	5,89
353	-1,219	3628	6,017
354	-1,045	-1484	4,197
355	-0,8716	-617,2	4,144
356	-0,6976	0	0
357	-0,5234	0	0
358	-0,349	0	0
359	-0,1745	0	0

На рисунку 4.1 видно, що непропорційність (7) для $y'(t)$ від $g_1'(t)$, при $k = 3, \delta = 0$ дорівнює нулю на ділянках, де завада приймає постійні значення. Таким чином на цих ділянках фрагменти еталонного сигналу $g_1(t)$ розпізнаються.

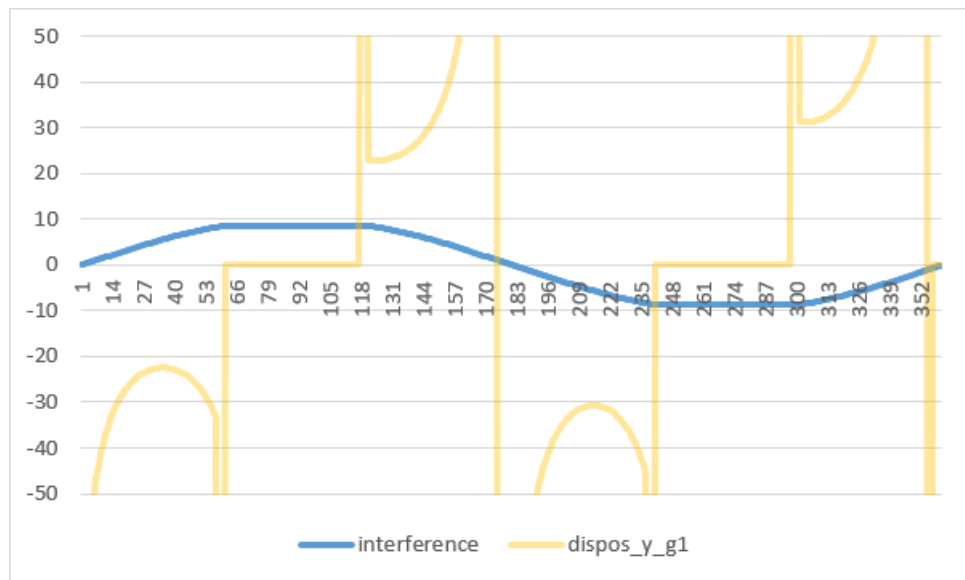


Рисунок 4.1 Залежність непропорційності (7) для $y'(t)$ від $g_1'(t)$ від завади $\sigma(t)$.

Для еталонного сигналу $g_2(t)$ (11) непропорційність (7) для $y'(t)$ від $g_2'(t)$, при $k = 3, \delta = 0$ відмінна від нуля на всьому інтервалі спостереження. Це свідчить про те, що в сигналі $y(t)$ (9) відсутні фрагменти еталонної функції $g_2(t)$ (11).

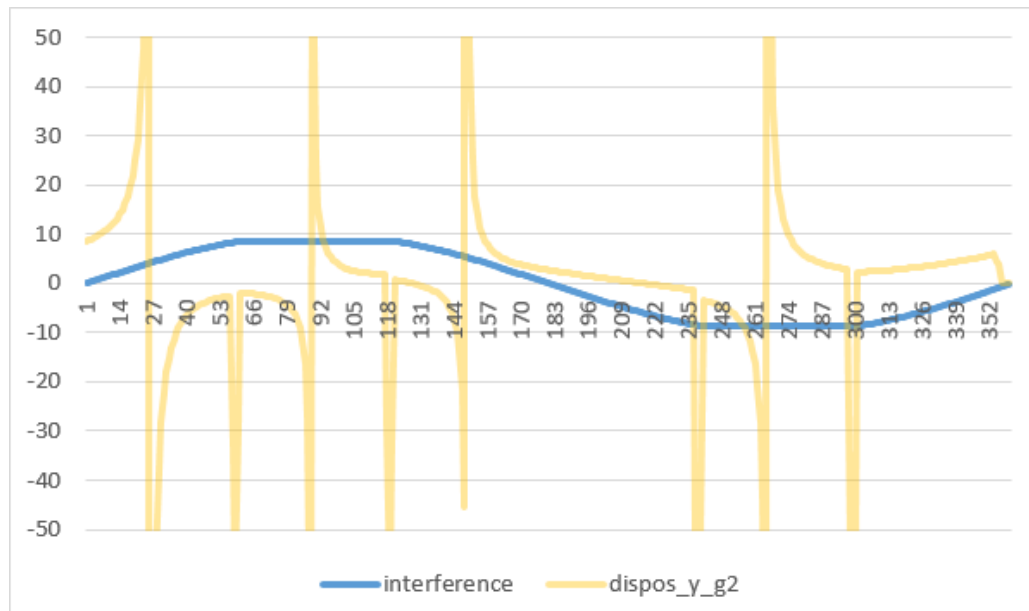


Рисунок 4.2 Залежність непропорційності (7) для $y'(t)$ від $g_2'(t)$ від завади $\sigma(t)$.

4.2 Моделювання роботи системи з прямокутною завадою

У другому контрольному прикладі розглядається випадок з прямокутною завадою, а саме послідовністю прямокутних імпульсів з паузами між ними.

В даному випадку сигнал та еталонні функції описані формулами (9) (10) (11)

Результати обчислень програми вказані у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Значення завади та непропорційностей $y'(t)$ від $g_1'(t)$ та $g_2'(t)$

i	interference	dispos_y_g1	dispos_y_g2
1	10	1,85E-12	3,261
2	10	-7,46E-14	3,302
3	10	4,56E-13	3,35
4	10	3,64E-14	3,407
5	10	-1,63E-12	3,473
6	10	4,17E-13	3,551
7	10	-2,54E-13	3,641
8	10	6,64E-13	3,747
9	10	8,70E-13	3,871
10	10	-9,03E-13	4,016
...
...
...
24	10	-1,82E-12	49,02
25	10	-3,70E-13	-378,3
26	10	2,14E-12	-37,93
27	10	-2,25E+04	-1,42E+05
28	10	-2,28E+04	-9,53E+04
29	10	2,43E+04	7,08E+04
30	10	2,47E+04	5,62E+04
31	-10	1,09E-12	-6,577

32	-10	8,50E-13	-5,622
33	-10	-1,28E-12	-4,911
...
...
...
52	-10	-2,42E-12	-1,867
53	-10	2,36E-12	-1,854
54	-10	6,78E-13	-1,846
55	-10	-3,94E-12	-1,843
56	-10	2,56E+04	3693
57	-10	2,69E+04	3568
58	-10	-2,87E+04	-3282
59	-10	-3,03E+04	-3170
60	0	1,87E-13	-1,906
61	0	-1,43E-13	-1,934
...
...
...
80	0	-3,65E-13	-5,435
81	0	1,41E-13	-6,248
82	0	1,54E-13	-7,363
83	0	2,62E-13	-8,985
84	0	0,00	-11,55
85	0	-2,49E-13	-16,21
86	0	0,00	-27,29
87	0	6,13E-14	-86,61
88	0	-1,87E-14	73,58
89	0	-6,80E-14	25,83
...

...
...
114	0	-3,41E-13	1,944
115	0	-2,57E-13	1,919
116	0	-1,57E+04	3375
117	0	-1,54E+04	3487
118	0	1,47E+04	-3769
119	0	1,45E+04	-3897
120	10	-1,85E-12	1,876
121	10	1,11E-12	1,884
122	10	1,28E-12	1,897
123	10	-1,61E-12	1,917
...
...
...
143	10	1,38E-13	7,321
144	10	-9,64E-14	9,164
145	10	-9,77E-13	12,25
146	10	2,25E+04	-1,35E+05
147	10	2,24E+04	-2,75E+05
148	10	-2,06E+04	-2,72E+07
149	10	-2,04E+04	-2,77E+05
150	-10	1,28E-12	-18,74
151	-10	2,27E-12	-12,62
152	-10	-3,20E-13	-9,569
...
...
...
173	-10	3,51E-12	-2,213

174	-10	-3,29E-12	-2,175
175	-10	-1,22E-12	-2,142
176	-10	-1,12E+04	-7724
177	-10	-1,13E+04	-7590
178	-10	1,61E+04	7320
179	-10	1,53E+04	7205
180	0	3,64E-14	-2,024
181	0	-1,92E-13	-2,008
182	0	4,15E-13	-1,995
...
...
...
232	0	-9,65E-13	-2,78
233	0	1,67E-13	-2,843
234	0	7,27E-13	-2,911
235	0	-3,91E-13	-2,984
236	0	-3,50E+04	-5950
237	0	-3,68E+04	-5948
238	0	3,93E+04	5496
239	0	4,15E+04	5477
240	10	-7,29E-12	-3,455
241	10	3,80E-12	-3,576
...
...
...
263	10	1,92E-11	-43,67
264	10	3,03E-13	-97,39
265	10	-8,60E-12	425,5
266	10	-1,59E+05	1,21E+04

267	10	-1,44E+05	1,21E+04
268	10	1,31E+05	-1,96E+04
269	10	1,20E+05	-1,78E+04
270	-10	9,80E-12	15,42
271	-10	1,16E-11	12,96
272	-10	-6,69E-12	11,19
...
...
...
294	-10	1,89E-12	3,12
295	-10	1,23E-12	3,04
296	-10	2,15E+04	-6369
297	-10	2,11E+04	-6386
298	-10	-2,02E+04	6780
299	-10	-1,98E+04	6786
300	0	1,20E-13	2,715
301	0	-1,15E-13	2,662
302	0	-1,02E-13	2,612
303	0	3,22E-13	2,564
...
...
...
344	0	1,28E-13	1,696
345	0	2,90E-13	1,689
346	0	1,66E-13	1,682
347	0	-2,78E-13	1,676
348	0	-4,35E-13	1,672
349	0	2,55E-13	1,668
350	0	4,65E-13	1,665

351	0	1,46E-13	1,663
352	0	1,84E-13	1,663
353	0	8,23E-13	1,664

З рисунку 4.3 видно, що непропорційність (7) для $y'(t)$ від $g_1'(t)$, при $k = 3, \delta = 0$ дорівнює нулю на всьому інтервалі спостереження за виключенням перехідних частин завади. Також коефіцієнт $k_1(t)$ (8) постійний і дорівнює трьом. Це свідчить про успішне розпізнавання сигналу $g_1(t)$ в кожний поточний момент часу t .

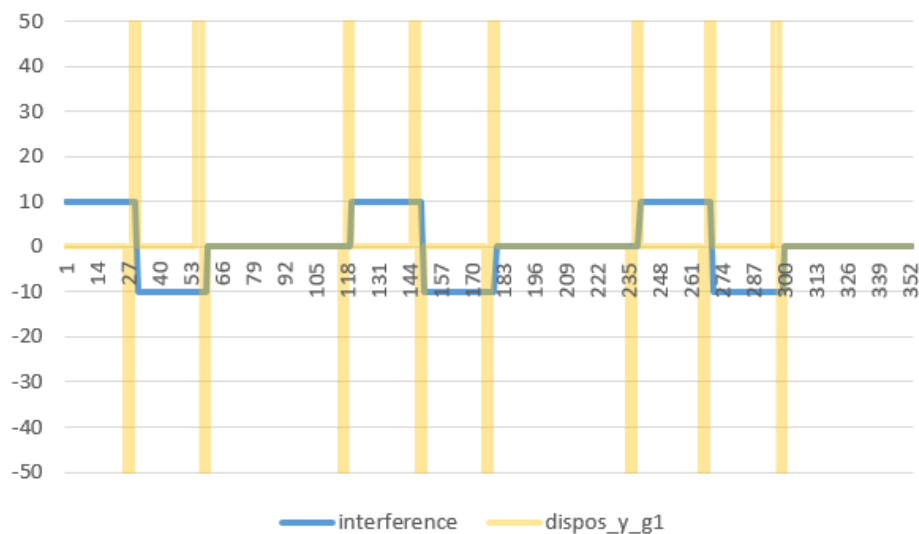


Рисунок 4.3 Залежність непропорційності (7) для $y'(t)$ від $g_1'(t)$ від завади $\sigma(t)$.

На відміну від $g_1(t)$, на рисунку 4.4 видно, що непропорційність (7) для $y'(t)$ від $g_2'(t)$, при $k = 3, \delta = 0$ не дорівнює нулю. Отже еталонний сигнал $g_2(t)$ в момент часу t не входить в сигнал $y(t)$.

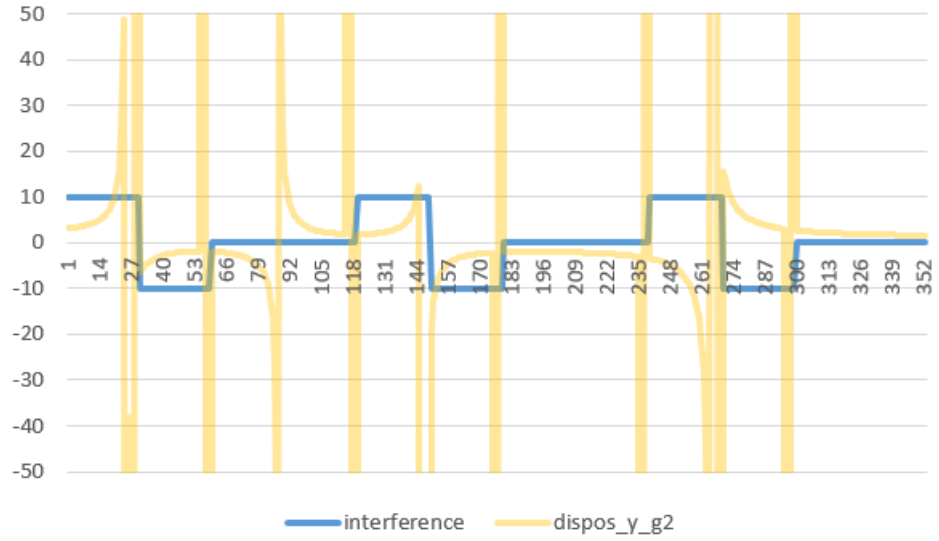


Рисунок 4.4 Залежність непропорційності (7) для $y'(t)$ від $g'_2(t)$ від завади $\sigma(t)$.

Висновки

У даній роботі було розроблено алгоритм та комп'ютерні програми для моделювання роботи системи розпізнавання в поточному часі фрагментів еталонних сигналів на тлі адитивної імпульсної завади при наявності у неї випадкових інтервалів із постійними значеннями.

Робота алгоритмів та комп'ютерних програм була перевірена на контрольних прикладах.

Створена система розпізнавання еталонних сигналів може бути застосована на практиці в умовах наявності адитивних імпульсних завад.

Список літератури

- 1) ISO/IEC 2382:2015(en) Information technology — Vocabulary
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:2382:ed-1:v1:en>
- 2) ДСТУ 3956-2000. Технічні засоби вимірювання та керування у промислових процесах. Частина 1. Основні поняття. Терміни та визначення
- 3) Корреляционный анализ <https://www.statmethods.ru/statistics-methody/korrelyatsionnyj-analiz/>
- 4) Львівський національний університет імені Івана Франка Геологічний факультет, кафедра фізики Землі Геостатистика (курс лекцій від Хом'яка М.М.)
http://prima.lnu.edu.ua/faculty/geology/phis_geo/Khomyak/E-book_Geostatistics/Part2/Lectons2-3-1.htm
- 5) Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации / Я.Д. Ширман, В.Н. Голиков, И.Н. Бусыгин, Г.А. Костин и др. – М.: Советское радио, 1970. – 560 с.
- 6) Кветний Р.Н., Богач І.В., Софіна О.Ю., Шушура О.М. Комп'ютерне моделювання систем і процесів. Методи обчислень. Частина 2.
https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp%27yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t2/16.htm
- 7) УДК 681.3.06 : 530 Младінов Д.П ОНАЗ ім. О.С.Попова
 ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ РОЗПІЗНАВАННЯ
 ОПТИЧНИХ СИГНАЛІВ У СПЕКТРАЛЬНОМУ ПРОСТОРИ
https://biblio.suitt.edu.ua/bitstream/handle/123456789/3396/Mladinov_Odegov.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 8) Лоусон Ч., Хенсон Р. Численное решение задач методом наименьших квадратов. — М.: Наука, 1986
- 9) Савіцкий, А.; Голей, М.І.Е. (1964). "Згладжування та диференціація даних за допомогою спрощених процедур

найменших квадратів". Аналітична хімія. 36 (8): 1627–

39. Bibcode:1964 АнаЧ..36.1627С. doi:10.1021 / ac60214a047.

- 10) Горбійчук, М. І. Когутяк, В. С. Борин ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФІЛЬТРАЦІЇ ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТІВ М. І. DOI 10.31471/1993-9981-2020-2(45)-66-81
- 11) Avramenko V.V. Charakteristiki neproporcional'nostey i ih primeneniya pri reshenii zadach diagnostiki / V.V. Avramenko// Vestnik SumGU. – 2000. – №16.
- 12) Avramenko V., Moskalenko A. Operative recognition of standard signals in the presence of interference with unknown characteristics. CEUR Workshop Proceedings. 2019. 2353. С. 56–70.

Код програми Signal1.cpp

```
#define _CRT_SECURE_NO_WARNINGS
#include<stdio.h>
#define _USE_MATH_DEFINES
#include<math.h>
#define NFIN 360
//*****
void derivative(double* y, double* dy_r, int n, double h);
double k = 3; // The coefficient before standard signal
double sw1 = 60, sw2 = 120, sw3 = 240, sw4 = 300, h;
FILE* p, * p1;
//*****
double g1_func(double x)
{
    return exp(-0.1 * x) * cos(x);
}
//*****
double g2_func(double x)
{
    return exp(sin(x)) + sin(x + 0.1);
}
//*****
double interference(int i)
{
    double v;
    if (i < sw1)
        v = 10 * sin(i * h);
    else
        if (i < sw2)
            v = 10 * sin(h * sw1);
        else
            if (i < sw3)
                v = 10 * sin(i * h);
            else
                if (i < sw4)
                    v = 10 * sin(sw3 * h);
```

```

        else
            v = 10 * sin(i * h);
    return v;
}
//*****
int main()
{
    double x;
    int i;
    h = (2 * M_PI) / NFIN;
    p = fopen("E:\\Toxa\\Диплом\\stria_cpp1.txt", "w");
    p1 = fopen("E:\\Toxa\\Диплом\\str1exe1.txt", "w");
    double g1_value[NFIN], g1_der[NFIN], g2_value[NFIN], g2_der[NFIN];
    double sigma_value[NFIN], sigma_der[NFIN];
    double y_value[NFIN], y_der[NFIN], y_der2[NFIN];
    double disprop_y_g1[NFIN], disprop_y_g2[NFIN];
    double g1_der2[NFIN], g2_der2[NFIN];
    double kk[NFIN];
    //*****
    for (i = 0; i < NFIN; i++)
    {
        x = h * i;
        g1_value[i] = g1_func(x);
        g2_value[i] = g2_func(x);
        sigma_value[i] = interference(i);
        y_value[i] = k * g1_value[i] + sigma_value[i];
    }
    derivative(g1_value, g1_der, NFIN, h);
    derivative(g1_der, g1_der2, NFIN, h);
    derivative(g2_value, g2_der, NFIN, h);
    derivative(g2_der, g2_der2, NFIN, h);
    derivative(sigma_value, sigma_der, NFIN, h);
    derivative(y_value, y_der, NFIN, h);
    derivative(y_der, y_der2, NFIN, h);
}

```

```

for (i = 0; i < NFIN; i++)
{
    int attribute = 0;
    disprop_y_g1[i] = y_der[i] / g1_der[i] - y_der2[i] / g1_der2[i];
    disprop_y_g2[i] = y_der[i] / g2_der[i] - y_der2[i] / g2_der2[i];
    fprintf(p, "sigma_value[%i]=%lg disprop_y_g1=%lg disprop_y_g2=%lg\n",
            i, sigma_value[i], disprop_y_g1[i], disprop_y_g2[i]);
    fprintf(p1, "%i %10.4lg %10.4lg %10.4lg\n",
            i, sigma_value[i], disprop_y_g1[i], disprop_y_g2[i]);

    if (fabs(disprop_y_g1[i]) < 1e-6)
    {
        attribute = 1;
        kk[i] = y_der[i] / g1_der[i];
        if (attribute == 1 && fabs(kk[i]) > 1e-3)
        {
            fprintf(p, "sigma_value[%i]=%lg disprop_y_g1=%lg disprop_y_g2=%lg\n",
                    i, sigma_value[i], disprop_y_g1[i], disprop_y_g2[i]);
            fprintf(p, "          g1(x) is recognized kkg1[%i]=%lg\n", i, kk[i]);
        }
    }

    if (fabs(disprop_y_g2[i]) < 1e-6)
    {
        attribute = 2;
        kk[i] = y_der[i] / g2_der[i];
        if (attribute == 2 && fabs(kk[i]) > 1e-3)
        {
            fprintf(p, "sigma_value[%i]=%lg disprop_y_g1=%lg disprop_y_g2=%lg\n",
                    i, sigma_value[i], disprop_y_g1[i], disprop_y_g2[i]);
            fprintf(p, "          g2(x) is recognized kkg2[%i]=%lg\n", i, kk[i]);
        }
    }

    if (attribute == 0)
    {
        fprintf(p, "sigma_value[%i]=%lg disprop_y_g1=%lg disprop_y_g2=%lg\n",
                i, sigma_value[i], disprop_y_g1[i], disprop_y_g2[i]);
        fprintf(p, "          The recognition is absent\n");
    }
}
puts("FINISH!");
return 0;
}

//*****
void derivative(double yy[], double yy_pr[], int n, double h)
{
    for (int i = 2; i < n - 2; i++)
    {
        yy_pr[i - 2] = (yy[i] - yy[i - 2]) / (2 * h);
    }
    return;
}

```

Код програми Signal2.cpp

```

#define _CRT_SECURE_NO_WARNINGS
#include<stdio.h>
#define _USE_MATH_DEFINES
#include<math.h>
#define NFIN 360
//*****
void derivative(double* y, double* dy_r, int n, double h);
double k = 3; // The coefficient before standard signal
double sw1 = 30, sw2 = 60, sw3 = 120, sw4 = 150, sw5 = 180,
        sw6 = 240, sw7 = 270, sw8 = 300, sw9 = 353, h;
FILE* p, * p1;
//*****
double g1_func(double x)
{
    return exp(-0.1 * x) * cos(x);
}
//*****
double g2_func(double x)
{
    return exp(sin(x)) + sin(x + 0.1);
}
//*****
double interference(int i)
{
    double v;
    if (i <= sw1)
        v = 10;
    else
        if (i < sw2)
            v = -10;
        else
            if (i < sw3)
                v = 0;
            else
                if (i < sw4)
                    v = 10;
}

```

```
        else
            if (i < sw5)
                v = -10;
            else
                if (i < sw6)
                    v = 0;
                else
                    if (i < sw7)
                        v = 10;
                    else
                        if (i < sw8)
                            v = -10;
                        else
                            v = 0;

    return v;
}

int main()
{
    double x;
    int i;
    h = (2 * M_PI) / NFIN;
    p = fopen("E:\\Toxa\\Диплом\\stih_cpp2.txt", "w");
    p1 = fopen("E:\\Toxa\\Диплом\\str1exe2.txt", "w");
    double g1_value[NFIN], g1_der[NFIN], g2_value[NFIN], g2_der[NFIN];
    double sigma_value[NFIN], sigma_der[NFIN];
    double y_value[NFIN], y_der[NFIN], y_der2[NFIN];
    double disprop_y_g1[NFIN], disprop_y_g2[NFIN];
    double g1_der2[NFIN], g2_der2[NFIN];
    double kk[NFIN];
```

```

for (i = 0;i < NFIN;i++)
{
    x = h * i;
    g1_value[i] = g1_func(x);
    g2_value[i] = g2_func(x);
    sigma_value[i] = interference(i);
    y_value[i] = k * g1_value[i] + sigma_value[i];
}
derivative(g1_value, g1_der, NFIN, h);
derivative(g1_der, g1_der2, NFIN, h);
derivative(g2_value, g2_der, NFIN, h);
derivative(g2_der, g2_der2, NFIN, h);
derivative(sigma_value, sigma_der, NFIN, h);
derivative(y_value, y_der, NFIN, h);
derivative(y_der, y_der2, NFIN, h);
//*****
for (i = 1;i < NFIN;i++)
{
    int attribute = 0;
    disprop_y_g1[i] = y_der[i] / g1_der[i] - y_der2[i] / g1_der2[i];
    disprop_y_g2[i] = y_der[i] / g2_der[i] - y_der2[i] / g2_der2[i];
    fprintf(p, "sigma_value[%i]=%lg disprop_y_g1=%lg disprop_y_g2=%lg\n",
        i, sigma_value[i], disprop_y_g1[i], disprop_y_g2[i]);
    fprintf(p1, "%i %10.4lg %10.4lg %10.4lg\n",
        i, sigma_value[i], disprop_y_g1[i], disprop_y_g2[i]);

    if (fabs(disprop_y_g1[i]) < 1e-6)
    {
        attribute = 1;
        kk[i] = y_der[i] / g1_der[i];
        if (attribute == 1 && fabs(kk[i]) > 1e-3)
        {
            fprintf(p, "sigma_value[%i]=%lg disprop_y_g1=%lg disprop_y_g2=%lg\n",
                i, sigma_value[i], disprop_y_g1[i], disprop_y_g2[i]);
            fprintf(p, "          g1(x) is recognized kkg1[%i]=%lg\n", i, kk[i]);
        }
    }
}

```

```

5     if (fabs(disprop_y_g2[i]) < 1e-6)
6     {
7         attribute = 2;
8         kk[i] = y_der[i] / g2_der[i];
9         if (attribute == 2 && fabs(kk[i]) > 1e-3)
10        {
11            fprintf(p, "sigma_value[%i]=%lg disprop_y_g1=%lg disprop_y_g2=%lg\n",
12                    i, sigma_value[i], disprop_y_g1[i], disprop_y_g2[i]);
13            fprintf(p, "          g2(x) is recognized kkg2[%i]=%lg\n", i, kk[i]);
14        }
15    }
16    if (attribute == 0)
17    {
18        fprintf(p, "sigma_value[%i]=%lg disprop_y_g1=%lg disprop_y_g2=%lg\n", i,
19                sigma_value[i], disprop_y_g1[i], disprop_y_g2[i]);
20        //fprintf(p1,"%i %lg %lg %lg\n",i,eta[i],zyf[i],zyf3[i]);
21        fprintf(p, "    The recognition is absent\n");
22    }
23    }
24    puts("FINISH!");
25    return 0;
26 }

27 void derivative(double yy[], double yy_pr[], int n, double h)
28 {
29     for (int i = 2; i < n - 2; i++)
30     {
31         yy_pr[i - 2] = (yy[i] - yy[i - 2]) / (2 * h);
32     }
33     return;
34 }

```