

DOI [10.28925/2663-4023.2019.3.122133](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2019.3.122133)

УДК 004.31

**Піх Володимир Ярославович**

кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна  
OrcID 0000-0001-9420-5522  
*Pixcl@ukr.net*

**Бестильний Михайло Ярославович**

аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна  
OrcID 0000-0001-9957-8854  
*pz@nung.edu.ua*

**Шекета Василь Іванович**

доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна  
OrcID: 0000-0002-1318-4895  
*vasylsheketa@gmail.com*

## ТЕОРЕТИКО ЧИСЛОВІ БАЗИСНІ МЕТОДИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Анотація.** Проаналізовано існуючі методи формування та кодування технологічних даних на низових рівнях розподілених комп'ютеризованих систем для діагностування технологічних об'єктів у нафтогазовій промисловості. Проаналізовано методи опрацювання сигналів. Розглянуто математичну модель мультибазисно спектрального косинусного перетворення сигналів, з можливістю використання різних теоретико числових базисів. Кореляційний аналіз сигналів може виконуватись на базі різних авто та взаємкореляційних функцій, проте найвищою швидкістю та найменшою апаратною складністю характеризуються функції у теоретико числовому базисі Хаара. Звідки видно, що на практиці найширше застосування знайшли перетворювачі форми інформації на основі аналого цифрового перетворювача різних типів. Проведено дослідження аналого цифрових перетворювачів на апаратну складність а також на часову складність. Дослідження проводилося на одноканальних аналого цифрових перетворювачах з вихідними кодами теоретико числового базису Хаара, Крестенсона, Радемахера та унітарного базису. Досліджено патентні розробки цифрових кореляторів та перетворювачів де серед багатьох структур аналого цифрових перетворювачів виділено найбільш широко вживані з вихідними кодами у різних теоретико числових базисах та способи формування вихідних кодів. Запропоновано структуру аналого цифрового перетворювача із застосування компараторів з парафазними виходами та реалізації логічного елемента виключаюче АБО на логічних елементах І-НЕ з парафазними входами та з'єднані між собою інверсними виходами. Таким чином запропоноване вдосконалення структури дозволяє підвищити його швидкість та зменшити часову складність перетворень у 2,5 -3 рази. При цьому зменшення апаратної складності складає біля 30%. Розроблено метод та структури перетворення вхідного аналогового сигналу мультибазисним АЦП Хаара-Крестенсона при використанні компараторів з парафазними виходами у дискретні цифрові відліки для діагностування технологічних об'єктів у нафтогазовій промисловості та подальшого обчислення у комп'ютерній техніці.

**Ключові слова:** Теоретико-числові базиси; аналого-цифрові перетворювачі; квадратори; пристрої перемноження; накоплюючі суматори, шифратори.

## 1. ВСТУП.

Аналого-цифрові перетворювачі є пристроями, які приймають вхідні аналогові сигнали і генерують відповідні їм цифрові сигнали, придатні для обробки мікропроцесорами та іншими цифровими пристроями. Сучасні методи АЦП широко використовуються для обробки сигналів обчислювальної техніки в тому числі для діагностування технологічних об'єктів у нафтогазовій промисловості.

Вдосконалення та покращення існуючих методів мультибазисним аналого-цифровим перетворенням сигналів базису Хаара-Крестенсона, який у порівнянні з відомими аналогами, дозволяє розпаралелити формування кодів залишків у базисі є актуальною задачею.

**Постановка проблеми.** Процес буріння є складним технологічним процесом, який характеризується динамічними властивостями, які полягають у тому, що при зміні режимів буріння або властивостей порід, що розбурюються є стрибкоподібні, змінюються статистичні характеристики контрольованих процесів. Так як процес буріння є багато затратним, тому сучасні інформаційні технології діагностування у промисловості є актуальною задачею. Дослідження патентних розробок цифрових кореляторів та перетворювачів форми інформації дозволяє серед багатьох типів АЦП, структури яких приведені, досліджено системні характеристики АЦП, які використовуються в КСП, показує, що найменшою апаратною складністю характеризуються АЦП в унітарному ТЧБ, а максимальну швидкодію перетворення забезпечують АЦП паралельного типу. Тому актуальною задачею є вдосконалення та розробка нових структурних рішень АЦП паралельного типу для забезпечення можливості реалізації цифрових кореляторів з максимальною швидкодією, для діагностування технологічних об'єктів нафтогазової промисловості [1]-[4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні методи та інформаційні технології діагностування технологічних об'єктів у нафтогазовій промисловості, викладені в [5], [6], охоплюють класи стаціонарних процесів і не можуть бути адаптовані до квазістаціонарних об'єктів, наприклад, бурових установок, резервуарних парків, нафтогазопроводів тощо. Прикладом успішного застосування спектрального аналізу для діагностування глибинних насосів викладено у роботах Л. М. Заміховського та В. П. Калявіна [7].

Процес буріння характеризується квазістаціонарними властивостями, які полягають у тому, що при зміні режимів буріння або властивостей порід, що розбурюються стрибкоподібно, змінюються статистичні характеристики контрольованих процесів навантаження на долото та проходки «Рис. 1»

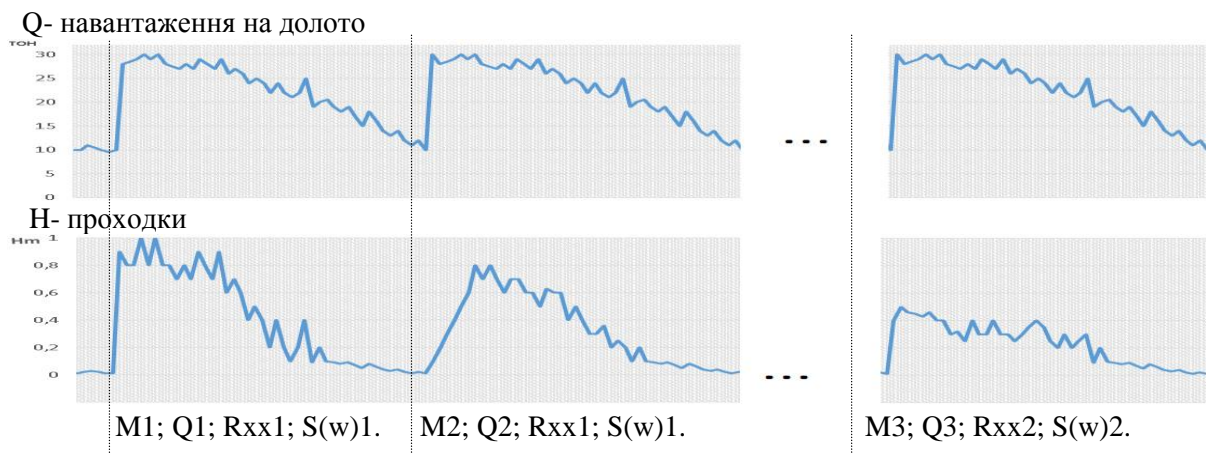


Рис. 1. Часова діаграма квазістаціонарної характеристики процесу буріння



Такі властивості процесу буріння передбачають оперативні операції обчислення автокореляційної функції ковзного математичного сподівання  $Mx$  та дисперсії  $Dx$ , а також обчислення у реальному часі автокореляційної  $R_{xx}$  та спектральної характеристики  $S(w)$ . Тому задача побудови високопродуктивного мультибазисного АЦП на основі компараторів з парафазними виходами є актуальною задачею.

Методи рішення проблеми діагностування складних технологічних об'єктів на основі логіко-статистичних кореляційних та кластерних моделей, які передбачають попереднє статистичне та спектральне опрацювання сигналів викладені в роботах [8]. В [9] розроблені методи побудови інтелектуальних систем діагностування компонентів комп'ютерних систем, які недостатньо повно відображають моделі складних багатопараметричних об'єктів, які є джерелами інформації для діагностичних систем.

**Мета роботи.** полягає в розробці методу та структури перетворення вхідного аналогового сигналу мультибазисним АЦП хаара-крестенсона при використанні компараторів з парафазними виходами у дискретні цифрові відліки для діагностування технологічних об'єктів у нафтогазовій промисловості та подальшого обчислення у комп'ютерній техніці.

## 2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Дослідження часових складностей АЦП у різних ТЧБ

Аналого-цифрові перетворювачі широко використовуються у сучасних інформаційних системах. Існують різні типи АЦП серед яких треба виділити одноканальні та багатоканальні АЦП. Багатоканальні АЦП (БАЦП) практично застосовуються в інформаційних системах моніторингу та упарвління багатопараметричними технологічними об'єктами. Розрізняють наступні типи БАЦП:

1. З аналоговим вхідним комутатором;
2. З дискретним цифровим комутатором;
3. З певним числом одноканальних АЦП;
4. З паралельною розгорткою в унітарному ТЧБ.

Суттєвими недоліками БАЦП з вхідними комутаторами є поява ефектів старіння інформації, які полягають у тому що різні процеси реєструються у різні моменти часу що приводить до декореляції їх характеристик а також до суттєвого спотворення спектральних характеристик які обчислюються в реальному масштабі часу. Тому застосування БАЦП з вхідними комутаторами є неефективним при їх застосуванні у якості базових модулів взаємокореляторів та спектральних процесорів.

БАЦП з паралельною розгорткою в унітарному ТЧБ характеризується спрощеною апаратною реалізацією оскільки у кожному каналі використовується один компаратор на входи яких подаються потенціали виходів сенсорів різних технологічних параметрів і використовується один цифро-аналоговий перетворювач та двійковий лічильник який тактується генератором імпульсів. Перевагою такого БАЦП є одночасний старт процесу вимірювання багатьох технологічних параметрів. В той же час завершення процесу аналого-цифрового перетворення відбувається в різні моменти часу на інтервалі дискретизації. Таким чином БАЦП даного класу також характеризується ефектом старіння інформації що обмежує можливість їх застосування для взаємокореляційного та спектрального аналізу.

Успіхи мікроелектроніки та реалізації одноканальних АЦП на кристалі визначає перспективу їх застосування для побудови спектральних спецпроцесорів. В «Таблиці 1»

наведені структурні схеми одноканальних АЦП які реалізовані у різних ТЧБ Унітарному, Радемахера, Крестенсона та Галуа. На виході різних типів АЦП можуть формуватися унітарні, число-імпульсні, порозрядні, рекурентні та паралельні коди.

Оскільки при розробці спектральних процесорі найважливішою системною характеристикою є швидкодія то доцільним є дослідження часової та апаратної складності одноканальних АЦП паралельного типу, які можуть бути застосовані у якості базових компонентів досліджуваного класу спецпроцесорів.

На «Рис. 2» приведена класифікація одноканальних АЦП паралельного типу у різних ТЧБ

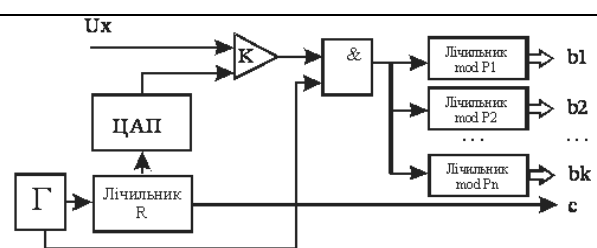


Рис. 2. Класифікація АЦП

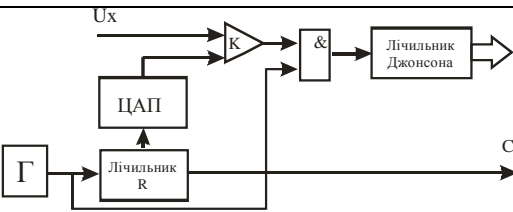
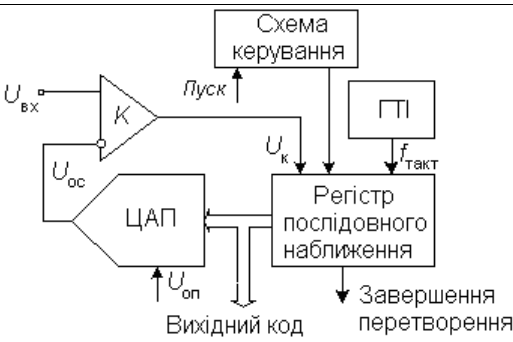
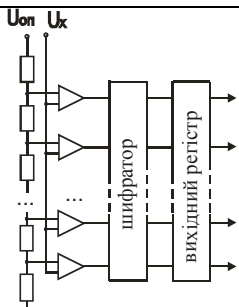
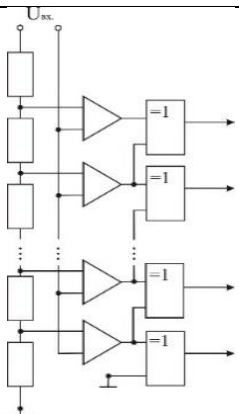
Дослідження патентних розробок цифрових кореляторів та перетворювачів форми інформації дозволяє серед багатьох типів АЦП, структури яких приведені в виділити найбільш широко вживані з вихідними кодами у різним ТЧБ, структури яких та способи формування вихідних кодів приведені в «Таблиці 1»

Таблиця 1

Таблиця 1.1 - Структури АЦП та їх вихідних кодів у різних ТЧБ

№	Тип АЦП	Структура	Параметри вихідних кодів, ТЧБ
1	АЦП розгортуючого типу		Паралельний код в базисі Крестенсона C1 C2 ... Ck

Продовження таблиці 1

2	АЦП розгортуючого типу		Паралельний код у базисі Хаара 0 ... $H_{(v)}$ ... 0
3	АЦП порозрядного зрівноваження		Послідовний та паралельний код базису Радемахера, $R_k$ $R_k$ $R_{k-1}$ $R_{k-1}$ ...        ... $R_v$ $R_v$ ...        ... $R_1$ $R_1$
4	Паралельний АЦП		Паралельний код базису Радемахера $R_k$ $R_{k-1}$ ..
5	Паралельний АЦП		Паралельний код у базисі Хаара 0 ... $H_{(v)}$ ... 0

В результаті, дослідження системних характеристик АЦП, які використовуються в КСП, показує, що найменшою апаратною складністю характеризуються АЦП в унітарному ТЧБ, а максимальну швидкість перетворення забезпечують АЦП паралельного типу. Тому актуальною задачею є вдосконалення та розробка нових

структурних рішень АЦП паралельного типу для забезпечення можливості реалізації цифрових кореляторів з максимальною швидкістю.

### 2.1 метод та структура мультибазисного АЦП Хаара-Крестенсона на основі компараторів з парафазними виходами

Проведений аналіз системних характеристик, описаного АЦА Хаара-Крестенсона та його структури яка приведена на «Рис. 2» дозволяє проаналізувати вклад різних його компонентів у праметни його апаратної та часової складності. Таким чином на «Рис. 2» показаний фрагмент структуру АЦП Хаара-Крестенсона який відповідає одному кванту амплітуди вхідних аналогових сигналів.

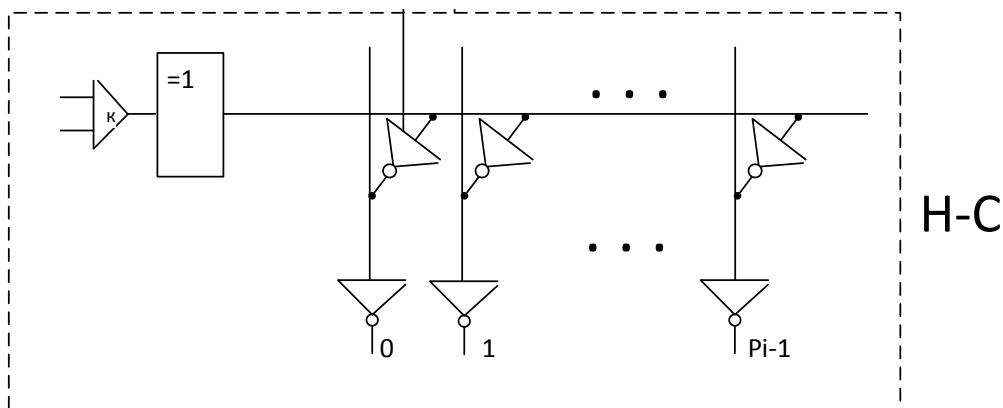


Рис. 2. Структура АЦП по одному рівні квантування

На оснві якої розраховується апаратна складність згідно формули,  $D_e$  - сумарний час затримки сигналу на виході АЦП;  $\tau K$  - тривалість переключення компаратора,  $\tau K = 5\nu$ ;  $\tau LE$  - сумарний час переключення логічного елемента виключаючого АБО  $\tau LE = 3 - 5\nu$ ;  $\tau_{AV}$  вентилля - тривалість переключення вентилля який реалізується на логічному елементі НЕ  $\tau V = 1\nu$ ;  $\nu$  - швидкодія мікроелектронної елементної бази на якій реалізується структура АЦП ( $\nu = 0, 1; 1; 2$ нс); Отже  $\tau_{АЦП} = 5 + 3 + 5 + 2 = 7 + 12\nu$

Аналіз отриманої оцінки вкладу різних компонентів АЦП Хаара-Крестенсона показує можливості підвищення швидкодія за рахунок заміни компараторів та зменшення затримки сигналів у логічному елементів виключаюче АБО.

Розвиток сучасної мікроелектронної технології та схмотехніки в напрямку підвищення швидкодії та розширення функціональних можливостей компараторів які відображені у роботах дозволяє обґрунтувати вибір компараторів на камоп транзисторах з тривалістю переключення до  $\tau K = 2\nu$  а також наявністю вихідних прямих та інверсних перефазних сигналів рис. (1.3) .

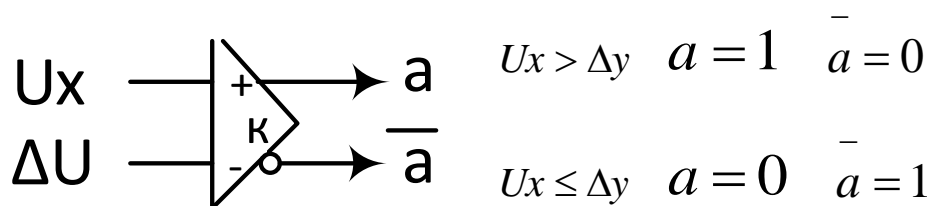


Рис. 3. Мікроелектронний компаратор з парафазними виходами

Де  $a$  і  $\bar{a}$  – відповідно прямий та інверсний виходи компаратора

Іншим компонентом даного типу АЦП, який має затримку сигналів  $\tau_{ЛЕ} = 3 - 5\tau$  є класична мікроелектронна реалізація логічного елемента яка показана на «Рис. 4»

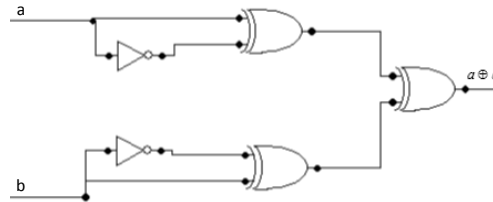


Рис.4. Структура мікроелектронної елемента виключаючого АБО на логічних елементах I, АБО, НЕ

Аналіз часової та апаратної складності даного елемента показує що часова складність  $\tau_{ЛЕ} = 3\tau$ ; а апаратна складність  $A = 5\tau$ ;

Системні характеристики елемента «виключаюче АБО» можна значно покращити при їх реалізації на основі входних парафазних сигналів, та об'єднання виходів логічних елементів I-НЕ «Рис. 5».

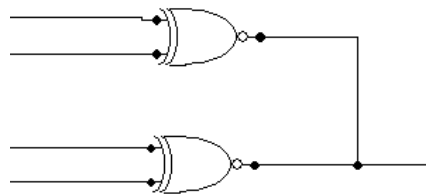


Рис. 5. Структура логічного елемента «виключаюче АБО» на основі входних парафазних сигналів

У результаті запропоновано застосування компараторів з парафазними виходами та реалізації логічного елемента виключаюче АБО на логічних елементах I-НЕ з парафазними входами та з'єднанні між собою інверсними виходами отримуємо компонент АЦП який відповідає одному рівню квантування згідно наступної структури «Рис. 6».

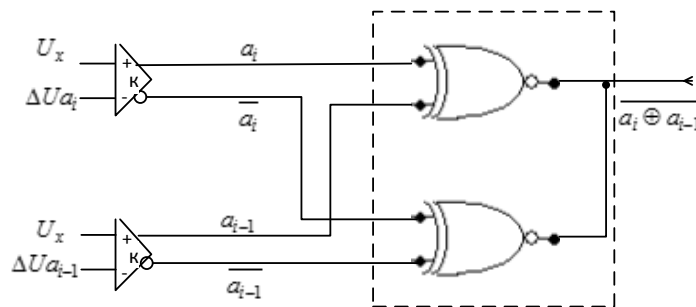


Рис. 6. Структура компонента I-того рівня квантування АЦП Хаара-Крестенсона на основі міжрівневих парафазних зв'язків

Таким чином системні характеристики такої реалізації АЦП Хаара-Крестенсона будуть наступні  $\tau K = 2\nu$ ,  $\tau LE = 1\nu$ ,  $\tau K + \tau LE = 2 + 1 = 3\nu$ .

У структурі дешифратора відомого АЦП приведено на «Рис. 7» який перетворює унітарний код в код Хаара-Крестенсона використовують два послідовно з'єднанні вентилі що також знижує швидкодію даної реалізації АЦП. Запропоноване виконання логічного елемента виключаюче АБО з інверсним виходом дозволяє виключити один із вентелів у структурі дешифратора і підвищити швидкодію у два рази та зменшити апаратну складність шляхом реалізації дешифратора унітарний код – код Хаара-Крестенсона застосуванням багатовходових логічних елементів І-НЕ приклад якого показаний на «Рис. 7».

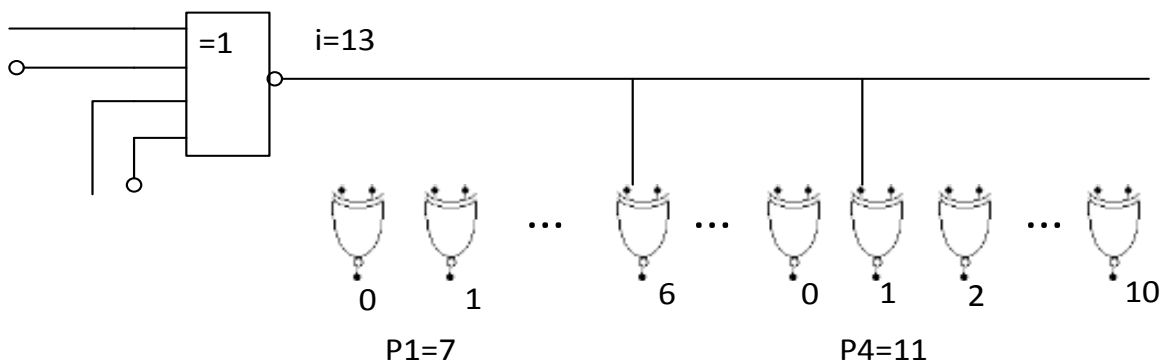


Рис. 7. Структура  $i$ -того рівня АЦП Хаара-Крестенсона з використанням елементів виключне АБО з інверсними виходами та багатовходових логічних елементів І-НЕ

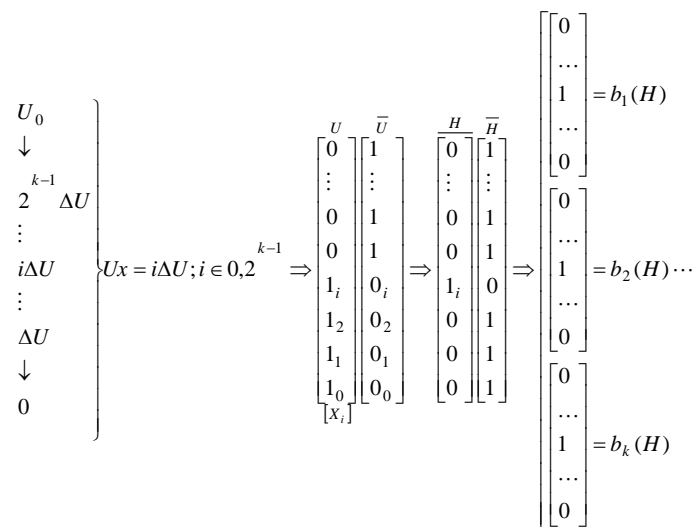
Таким чином запропоноване вдосконалення структури  $i$ -тих компонентів АЦП Хаара-Крестенсона дозволяє підвищити його швидкодію та зменшити часову складність перетворень у 2,5 -3 рази. При цьому апаратна складність  $i$ -того компонента АЦП відомого А1 та запропонованого А2 структурного рішення визначається згідно виразів:

$$\begin{aligned} A_i &= A_K + A_{LE} + A_{ш} \\ A_1 &= 1 + 5 + 2 = 8 \\ A_2 &= 2 + 2 + 1 = 5 \end{aligned}$$

Тобто зменшення апаратної складності складає запропонованого схемотехнічного рішення  $i$ -того компонента АЦП Хаара-Крестенсона біля 30%.

у результаті проведення дослідження побудований граф запропонованого мультибазисного АЦП Хаара-Крестенсона який характеризується покращеними часовою та апаратною складністю «Рис. 8».





*Рис. 8. Граф мультибазисного АЦП Хаара-Крестенсона на основі компараторів з парафазними виходами та елементами виключаюче АБО*

Проведені дослідження обґрунтовують доцільність реалізації АЦП у базисі Хаара-Крестенсона на основі запропонованих компонентів для реалізації та його використання у якості базового компонента спектарльного спецпроцесора косинусного перетворення Фур'є.

### 3. ВИСНОВОК ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Формалізовані та досліджені методи аналого-цифрового перетворення сигналів у різних ТЧБ та запропонований новий метод побудови мультибазисного АЦП у базисі Хаара-Крестенсона для діагностування технологічних об'єктів у нафтогазовій промисловості, який характеризується мінімальною часовою складністю, а представлення цифрових даних у кодівій системі Хаара-Крестенсона забезпечує максимальне зменшення часової складності базових компонентів КСП цифрових перемножувачів на накоплювальних суматорах і зниження їх апаратної складності шляхом виконання операцій множення та сумування по модулю. Перспективи подальшого розвитку полягає у застосуванні інших ТЧБ для діагностування технологічних процесів різних галузей.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.

- [1] А. Сергиенко, Цифровая обработка сигналов, вид. 2. Петербург: БХВ-Петербург, 2006, стор. 91.
- [2] А. Харкевич, Спектры и анализ. М.: Физматгиз, 1980, стор. 246.
- [3] А. Сергиенко, Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002, стор. 608.
- [4] Реалізація суматорів та перемножувачів у базисі Хаара-Крестенсона (патент 76622 матриці перемноження та сумування по модулю).
- [5] Н. Ширмовська, І. Албанський, І. Пітух та О. Кулинин, "Застосування кореляційного та кластерного аналізу для ідентифікації перед аварійних та аварійних станів процесів буріння", Науковий вісник, №. 3(29), стор. 112-116, 2011.
- [6] В. Задирака, Теория вычисления преобразования Фурье. К.:Наука. Думка, 1983, стор. 216.
- [7] Л. Заміховський та В. Калявін, Проектування систем діагностування. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, Факул, 2004, стор. 248.



- [8] Н. Бебих та А. Денисов, "Взаимная спектрально-корреляционная обработка сигналов в различных ортогональных базисах", Изв. вузов. Сер. Радиотехника, № 3(26), стор. 54-60, 1983.
- [9] Я. Николайчук, Коды поля Галуа: теорія та застосування: монографія. Тернопіль: Тернограф, 2012, стор. 575.



**Pikh Volodymyr**

candidate of technical sciences, assistant professor of software engineering department  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas Ivano-Frankivsk, Ukraine  
OrcID 0000-0001-9420-5522  
*Pixcl@ukr.net*

**Bestylnyy Mykhaylo**

post-graduate student of the department of software engineering  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas Ivano-Frankivsk, Ukraine  
OrcID 0000-0001-9957-8854  
*pz@nung.edu.ua*

**Sheketa Vasyl**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Software Engineering  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas Ivano-Frankivsk, Ukraine  
OrcID 0000-0002-1318-4895  
*vasylsheketa@gmail.com*

## THEORETIC NUMBER BASIC METHODS OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR DIAGNOSTATION OF TECHNOLOGICAL OBJECTS OF THE OIL & GAS INDUSTRY

**Abstract.** The existing methods of formation and coding of technological data at the grass-roots levels of distributed computerized systems for diagnosing technological objects in the oil and gas industry are analyzed. Methods of processing signals are analyzed. The mathematical model of multibase spectral cosine signal transformation, with the possibility of using different theorems of numerical bases, is considered. Correlation analysis of signals can be performed on the basis of different automobile and inter-correlation functions, but the highest speed and the smallest hardware complexity are characterized by functions in the theory of the Haar numerical basis. Where it is evident that in practice the widest use has been found in the form of information converters based on an analog digital converter of various types. The research of analog digital converters has been carried out on hardware complexity as well as on time complexity. The research was carried out on single-channel analogue digital converters with source codes, the theorem of the numerical basis of Haar, Krestinson, Rademacher and unitary basis. The paper deals with the development of digital correlators and transducers where among many structures of analog digital converters the most commonly used with source codes in different theorems of numerical bases and methods of formation of source codes are identified. The structure of the analog digital converter is proposed for the use of comparators with paraphase outputs and the implementation of a logical element that excludes OR on logical elements of I-NE with paraphase inputs and are connected by inverted outputs. Thus, the proposed improvement of the structure allows to increase its speed and reduce the time complexity of transformations by 2.5 -3 times. This reduces hardware complexity by about 30%. The method and structures of the transformation of the input analog signal by the multi-base ADA of Haar-Krestenson using the comparators with paraphase outputs in discrete digital samples for diagnostics of technological objects in the oil and gas industry and further calculation in computer technology are developed.

**Key words:** theoretical numerical bases; analogue-to-digital converter; squares; multiplication devices; cumulative adder, encoder.



## REFERENCES

- [1] A. Sergienko, Digital Signaling, 2nd ed. Petersburg: BHV-Petersburg, 2006, p. 91.
- [2] Kharkevich, A. (1980). Spectra and analysis. M.: Fizmatgiz, p.246.
- [3] Sergienko, A. (2002). Digital signal processing. St. Petersburg: Peter, p.608.
- [4] Implementation of adjoint and multipliers on the basis of Haar-Krestenson (patent 76622 of the matrix of multiplication and modulus summing).
- [5] hirmovskaya, N., Albany, I., Pituh, I. and Kulinin, O. (2011). Application of correlation and cluster analysis for identification of emergency and emergency conditions of drilling processes. Scientific herald, № 3(29), pp.112-116.
- [6] Zadiraka, V. (1983). The Fourier Transformation Theory. K.: Science. Opinion, p.216.
- [7] Zamikhovsky, L. and Kalyavin, V. (2004). Designing of diagnostic systems for teaching. Means. Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, Fakel, p.248.
- [8] Bebih, N. and Denisov, A. (1983). Mutual spectral correlation processing of signals in various orthogonal bases. Izv. high schools Sir Radio electronics, № 3(26), pp.54-60.
- [9] Nikolaichuk, Y. (2012). Codes of the field of Galois: theory and application: monograph. T: Ternograph, p.575.

