

**Національний університет “Львівська політехніка”**

**УДК 681.3.053+681.324**

**Яцків Василь Васильович**

**МЕТОДИ КОДУВАННЯ ТА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ПОВІДОМЛЕНЬ В  
РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ З ОПТИЧНИМ КАНАЛОМ ЗВ'ЯЗКУ**

05.13.13 – обчислювальні машини, системи та мережі

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Львів–2001**

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Николайчук Ярослав Миколайович**,  
Тернопільська академія народного господарства,  
завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, заслужений діяч  
науки і техніки, с.н.с  
**Боюн Віталій Петрович**,  
Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН України,  
завідувач відділу керуючих машин і систем

доктор технічних наук,  
**Пасічник Володимир Володимирович**,  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
завідувач кафедри інформаційні системи та мережі.

Провідна установа: Вінницький державний технічний університет, кафедра  
лазерної та оптоелектронної техніки, Міністерство освіти і  
науки України, м. Вінниця.

Захист відбудеться “25” травня 2001р. о 16 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.05 при Національному університеті “Львівська політехніка” в ауд. 226 головного корпусу за адресою: 79013, м. Львів -13, вул. С. Бандери, 12.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: м. Львів-13, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий “ ” квітня 2001 р.

*Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент*

С.П. Ткаченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Освоєння масового виробництва мікропроцесорної техніки та значне зниження вартості і габаритів промислових контролерів та телекомунікаційного обладнання створили необхідні передумови для розробки на їх основі систем контролю та керування розподіленими об'єктами.

Правильний вибір ефективних систем кодування є основою для підвищення техніко-економічних показників елементів і пристроїв розподілених комп'ютерних систем (РКС). Важливим фактором є науково обґрунтоване встановлення ефективних областей застосування різних типів кодів, їх взаємозв'язків, способів перетворень повідомлень в різних системах кодування. Застосування однотипної кодової системи при вирішенні задач формування, передавання, цифрової обробки і збереження інформації не завжди доцільне.

Аналіз областей ефективного застосування різних кодів дозволяє їх систематизувати, а також здійснити оцінку їх використання в обчислювальних пристроях на рівнях формування, перетворення та цифрової обробки повідомлень. Важливою проблемою в цьому напрямі є розробка теорії та техніки інформаційних технологій в інших теоретико-числових базисах (в тому числі в базисі Уолша, Хаара, Крестенсона, Крейга та Галуа).

Існує ряд важливих практичних застосувань РКС наприклад в нафтогазовій та енергетичній промисловості побудованих на основі безпроводних комп'ютерних мереж.

В той же час насичення радіоканалів в усіх частотних діапазонах ускладнює реалізацію безпроводних ліній зв'язку, які потребують виділення несучих частот і характеризуються високим рівнем промислових завад.

Сучасні успіхи у розробці напівпроводникових лазерних генераторів і приймачів оптичних сигналів та цифрових процесорів при використанні нових методів кодування цифрових даних забезпечує можливість ефективного використання відкритих оптичних каналів зв'язку, та їх широке застосування в комп'ютерних мережах систем контролю розподіленими об'єктами.

Тому дослідження методів кодування на фізичному рівні, які забезпечують підвищення завадозахищеності, швидкодії, віддалі передавання даних та розробка спеціалізованих обчислювальних пристроїв РКС з відкритим оптичним каналом зв'язку (ОКЗ) є актуальною науково-технічною задачею.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертація виконана в рамках плану наукових досліджень, які проводяться кафедрою автоматизованого управління Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу (ІФДТУНГ) та Карпатським державним центром інформаційних засобів і технологій Національної Академії Наук України (КД ЦІЗІТ), за держбюджетними темами ІФДТУНГ:

– Д-60 НДР “Розробка теоретичних основ вертикальної інформаційної технології та вдосконалення методів автоматизованого контролю розподілених об’єктів нафтогазовидобувних підприємств”, № 01940001278, ТЗ ИГАЦ-537-98;

– НДР “Розробка методологічних основ (теорії, моделей, алгоритмів, процедур і технічних засобів) діагностування і автоматизованого управління об’єктами нафтогазового комплексу України” (ТЗ ИГАУ-573/99).

Науково-технічна програма КД ЦІЗІТ та Інституту мікропроцесорних систем керування об’єктами електроенергетики НАН України (ІМСКОЕ) “Створення концепції інформаційно-керуючих систем контролю та обліку енергоносіїв, систем керування технологічними процесами електроенергетичних об’єктів та захисту їх обладнання” Львів, 1997р.

### **Мета і задачі дослідження.**

Метою дослідження є підвищення завадостійкості, віддалі передавання даних при заданій ймовірності помилки, швидкодії, інформативності розподілених комп’ютерних систем з оптичним каналом зв’язку на основі нових ефективних методів кодування та цифрової обробки повідомлень. Для досягнення мети роботи необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати системні параметри та обґрунтувати архітектури безпроводних РКС реального часу;
- виконати теоретичний аналіз та оцінку ефективності модифікованих сигнальних просторів;
- розробити методи кодування сигналів з самосинхронізацією для РКС відкритим з оптичним каналом зв’язку;
- обґрунтувати параметри та розробити схемотехнічні рішення передавача і приймача оптичних сигналів;
- створити оптичні активні ретранслятори (ОАР) комп’ютерних мереж з відкритим ОКЗ.

*Об’єкт дослідження:* розподілені комп’ютерні системи з відкритим оптичним каналом зв’язку.

*Предмет дослідження:* цифрові пристрої приймання та обробки сигналів в комп’ютерних мережах з оптичним каналом .

*Методи дослідження:* основні наукові результати і висновки одержані на основі теорії інформації, методів кореляційного приймання сигналів, теорії цифрових автоматів та експериментальних досліджень.

### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- проведено теоретичне дослідження модифікованих сигнальних просторів, на основі якого розроблені нові методи кодування та передавання даних з самосинхронізацією, які дозволяють зменшити об’єм службових даних та максимально використати параметри оптичних випромінювачів;

– вперше запропоновано квазітрийковий інтегрально-імпульсний метод кодування даних в базисі Галуа, який дозволяє виправляти однократні помилки та виявляти пакети помилок;

– розроблено асинхронно-згортковий метод кореляційної цифрової обробки повідомлень, який дозволяє зменшити об'єм пам'яті процесорів кореляційних приймачів та виключає необхідність додаткового каналу синхронізації;

– запропоновано новий метод нелінійного перетворення гармонійного сигналу в фазовий портрет в хемінговому просторі залишкових класів, який базується на процедурах обчислення залишків і забезпечує суттєве спрощення цифрового процесора;

– вперше досліджено системні параметри та завадостійкість оптичних комп'ютерних систем зв'язку в умовах Прикарпаття при впливі різних кліматичних факторів (туману, дощу, снігу) та характеристику діаграми направленості приймача і передавача оптичних сигналів на базі розробленої і виготовленої експериментальної установки.

#### **Практичне значення одержаних результатів:**

– розроблені ретрансляційна та кільцева структура автоматизованих систем контролю розподіленими об'єктами на основі активних оптичних ретрансляторів;

– розроблені, виготовлені і випробувані в промислових умовах цифрові пристрої приймача і передавача оптичних сигналів;

– розроблені і впроваджені на об'єктах нафтовидобувної промисловості електронні модулі передавання даних для зірково-магістральної архітектури;

– створені цифрові пристрої для реалізації РКС на основі активних оптичних ретрансляторів, які забезпечують суттєве зменшення вартості комунікаційного обладнання, та необхідний рівень завадостійкості передавання даних;

– Реалізована дослідна партія ОАР.

Теоретичні і практичні результати дисертаційної роботи використані та впроваджені:

- в науково-дослідних роботах, що проводились в науково-дослідному інституті нафтогазових технологій ІФДТУНГ;

- в науково-дослідних роботах лабораторії проблем інформаційних технологій ІФДТУНГ, “Розробка теоретичних основ вертикальної інформаційної технології та вдосконалення методів контролю розподілених об'єктів нафтогазовидобувних підприємств” (ТЗ ИГАУ-573/98);

– в дослідно-конструкторських роботах, що проводились Карпатським державним центром інформаційних засобів і технологій НАН України:

АТ “Нафтохімік Прикарпаття” “Розробка та поставка обладнання системи СВР-2”, договір № 01-3М- 0029-00-08; “Виготовлення, поставка, випробування і пускаладка системи вимірювання рівня в нафтових резервуарах СВР-2” по реконструкції об'єктів ДППН НПЗ “Кінцевий”, договір № 4/98/253;

– на ВАТ “Івано-Франківськцемент” при розробці розподіленої комп’ютерної системи обліку витрати енергоносіїв з використанням відкритого оптичного каналу зв’язку;

– в навчальному процесі кафедри спеціалізованих комп’ютерних систем Тернопільської академії народного господарства при проведенні лекційних, практичних та лабораторних занять з курсів “Системи передавання даних” та “Низові комп’ютерні мережі”.

**Особистий внесок здобувача.** Основний зміст роботи, всі теоретичні та практичні розробки, висновки і рекомендації виконані автором особисто. З 9 наукових робіт 8 праць написані без співавторів. У публікації, яка написана у співавторстві, здобувачу належить: [6] – дослідження граничних умов завадостійкості цифрового приймача відносно фазо-маніпульованих сигналів на основі обчислювача структурної функції.

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові результати дисертаційної роботи доповідались та отримали схвалення на 2-ій Міжнародній науково-практичній конференції “Управління енерговикористанням” (Львів, 1997); науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ІФДТУНГ (Івано-Франківськ, 1997, 1998, 1999); Міжнародній науково-практичній конференції “Друкотех 2000” (Львів, 2000); науково-практичній конференції “Вчені Прикарпаття про проблеми краю” (Івано-Франківськ, 2000).

**Публікації.** По результатах виконаних досліджень опубліковано 9 робіт, 6 статей, з них 4 в фахових наукових журналах та збірниках, 3 тезисів доповідей в матеріалах українських та міжнародній конференцій.

**Обсяг і структура дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, п’ятих розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний об’єм роботи 170 сторінок. Основний зміст викладений на 135 сторінках друкованого тексту, містить 87 рисунків, 8 таблиць. Список використаних джерел 82 найменування. Додатки на 15 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, визначено її зв’язок з науковими програмами, темами. Сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також показана їх апробація, та публікації.

**У першому розділі** проведено аналіз архітектур РКС на основі провідних та безпровідних ліній зв’язку. Вказані недоліки провідних ліній зв’язку та розкриті перспективи використання в РКС оптичних ліній зв’язку (ОЛЗ). Проведені дослідження ефективності обміну даними в РКС з безпровідними каналами зв’язку показали, що такі системи можна реалізувати на основі наступних методологічних принципів та процедур: 1) симплексний зв’язок на одній несучій на основі адресної вибірки; 2) сесійний виклик та синхронізація об’єктів управління, які оснаще-

ні таймерами затримки відповіді; 3) ретрансляція даних в мережі з адресною вибіркою; 4) інтегрально-імпульсне перетворення даних на основі вертикальної інформаційної технології. Час контролю  $k$  об'єктів для процедур (1 – 4), розрахованих на основі аналітичних виразів, які враховують системні параметри:

$$T = F(F_{xx}, C, k),$$

де  $F_{xx}$  – довжина фреймів даних;  $C$  – швидкість передавання даних;  $k$  – кількість об'єктів управління, представлені на рис.1.

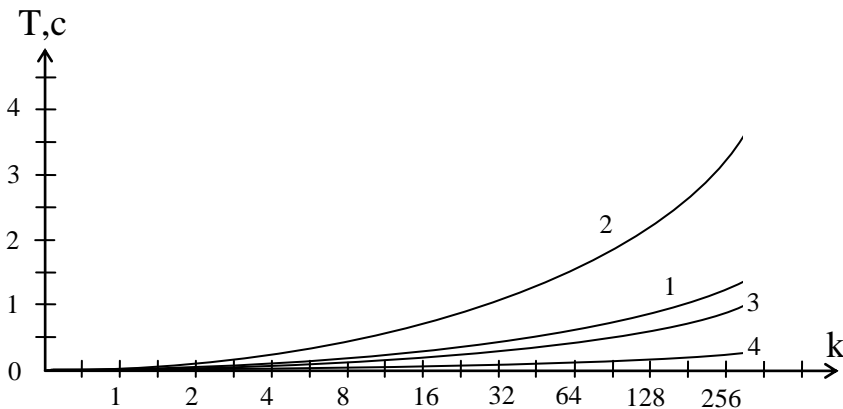


Рис. 1. Залежність часу контролю від кількості ОУ для різних процедур обміну даними.

Проведені дослідження та методичне обґрунтування руху фреймів даних при різних процедурах обміну даними показали, що процедура обміну даними на основі вертикальної інформаційної технології (рис.1) є найбільш ефективною і забезпечує підвищення швидкості контролю в 20-40 разів в порівнянні з іншими.

Підвищити ефективність роботи РКС та знизити вимоги до лінії передавання даних можна за рахунок зменшення об'ємів інформаційних потоків, на основі використання ефективних кодових базисів. В роботі проведено теоретичне дослідження кількості кодових комбінацій (рис.2), та об'єму кодової матриці в різних дискретних базисах на основі аналітичних залежностей приведених в табл.1.

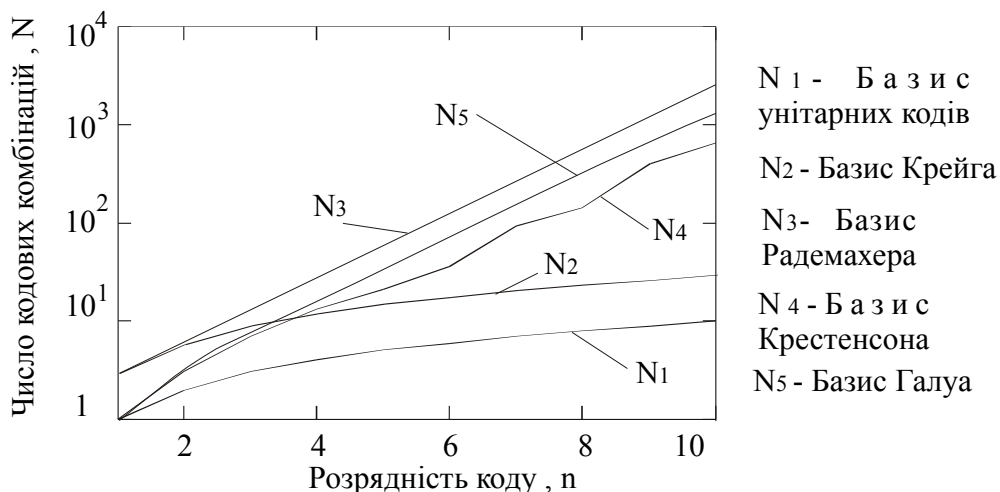


Рис.2. Кількість кодових комбінацій в різних базисах.

Характеристики дискретних базисів.

№	Базис	Коди	N	V
1	Унітарний	унітарні	$N = n$	$V = N^2$
2	Хаара	Розрядно-позиційні	$N = n$	$V = N^2$
3	Крейга	Лібова-Крейга	$N = 2 \cdot n$	$V = \frac{N^2}{2}$
4	Радемахера	двійкові	$N = 2^n$	$V = N \cdot \log_2 N$
5	Радемахера	Грея	$N = 2^n$	$V = N \cdot \log_2 N$
6	Крестенсона	СЗК	$N = \prod_{i=1}^m P_i$	$V = m \cdot N$
7	Галуа	Галуа	$N = 2^n - 2$	$V = (N - 1) + \log_2 N$

З табл.1. видно, що об'єм кодової матриці в базисі Галуа є найменший, а отже і надлишковість даного базису є мінімальна.

Проведені дослідження ефективності дискретних базисів та кодів які вони утворюють є основою для обґрунтування вибору методів кодування даних на фізичному рівні в РКС.

Фундаментальні фізичні відкриття в області генерування індукційного високо когерентного електромагнітного випромінювання стали основою для дослідження високо інформативних оптичних каналів зв'язку. Оптичні лінії зв'язку є прозорими для мережевих протоколів. Показано переваги використання ОЛЗ в порівнянні з радіо каналами: 1) освоєння невикористовуваної ділянки спектра електромагнітних коливань; 2) висока пропускна здатність каналу зв'язку; 3) висока скритність введення в експлуатацію ОЛЗ; 4) малі габарити приймально-передавальних блоків оптичних сигналів; 5) захищеність від електромагнітних завад; 6) відсутність дозволу та оплати за експлуатацію ОЛЗ.

Аналіз світового рівня розробок ОЛЗ показав, що основним їх недоліком є вплив кліматичних факторів та обмежена віддаль передавання даних до 1000м при швидкостях 1-100 Мбіт/с.

Застосування ефективних кодових базисів та розробка нових модифікованих методів кодування та фізичного представлення цифрових сигналів створюють можливості суттєвого збільшення віддалі передавання до 3-5 км при заданій потужності та завадостійкості ОЛЗ.

**У другому розділі** проведено дослідження модифікованих сигнальних просторів  $M = 2^n + 1$  (рис. 3). В процесі кодування даних виключаються однократні повторення сигналів в інформаційних блоках, що забезпечує бітову самосинхронізацію і зменшення надлишковості при організації блокової синхронізації. Досягнення такого ефекту забезпечується розширенням ансамблю сигналу що найменше на одиницю  $M = 2^n + 1$  і заміною кожного символу, що повторюється, службовим сигналом.



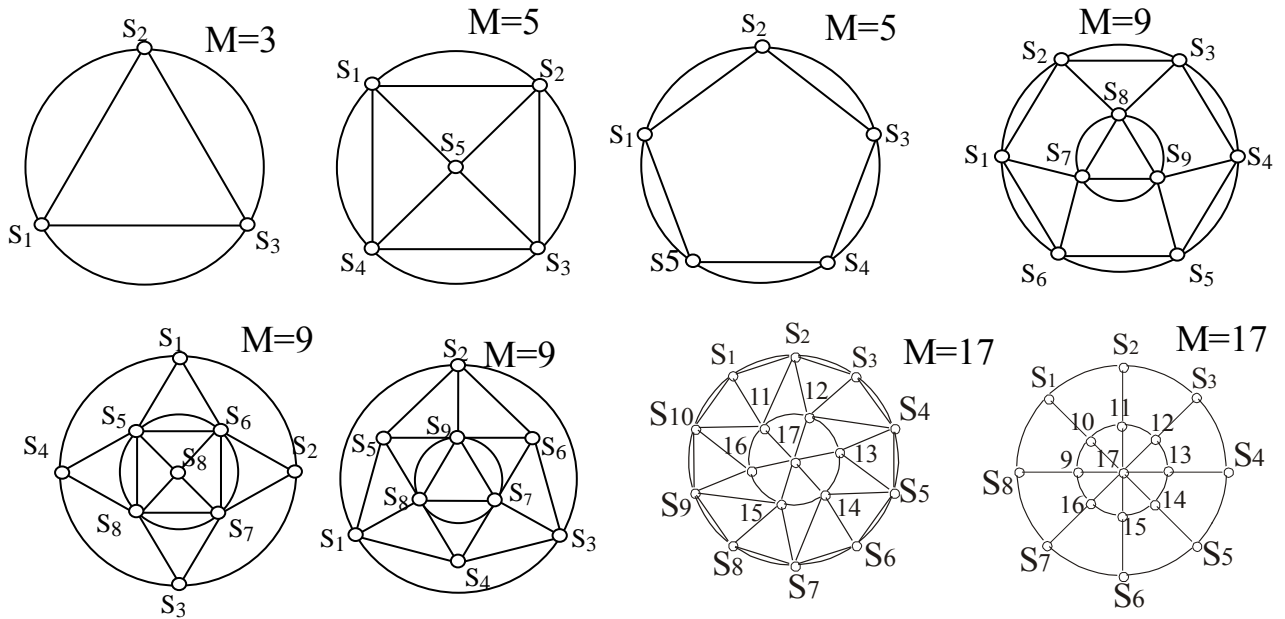


Рис.3. Модифіковані сигнальні простори.

Оцінка завадостійкості змінно-модульованих сигналів розраховується за формулою:

$$L_c^* = \frac{k_f \cdot d_{\min} \cdot \sqrt{k \cdot \log_2(M/N)}}{2 \cdot \sqrt{E_c}},$$

де  $k_f$  - коефіцієнт форми сигналу;  $d_{\min}$  - віддаль між сигналами,  $k = \frac{M^2}{(M^2 - 1)}$ ,

$E_c$  - середня енергія сигналу.

В роботі показано, що методи кодування, на основі запропонованих сигнальних просторів, забезпечують мінімальну надлишковість при формуванні фреймів і реалізації мережевих біторієнтованих протоколів.

З метою максимального використання енергетичних характеристик оптичних випромінювачів, на основі розширеного ансамблю сигналів  $M=3$ , запропоновано квазітрійковий фазо-імпульсний метод кодування (КТФІ) (рис.4) при якому інформація передається шляхом зміни положення оптичного сигналу на заданому часовому періоді.

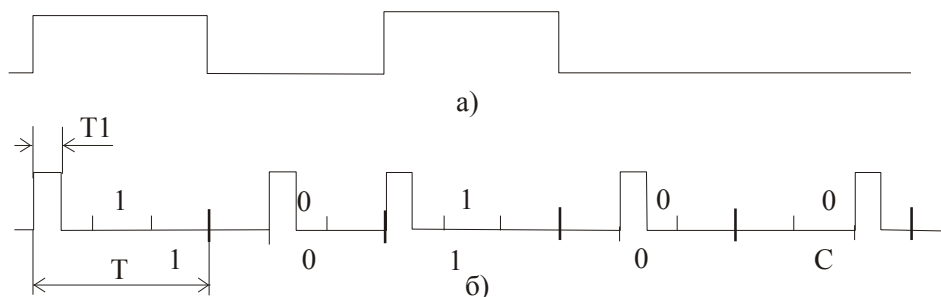


Рис.4. Квазітрійковий фазо-імпульсний метод кодування:

а) – сигнальна модель потоку інформаційних даних; б) – приклад КТФІ методу кодування;  $T$  – період інформаційного сигналу;  $T_1$  – тривалість оптичного сигналу;  $C$  – символ повторення біту який передається.

Цей часовий період ділиться на 3 дискретних інтервали і передній фронт оптичного імпульсу співпадає з одним із інтервалів.

Даний метод забезпечує ефективну бітову самосинхронізацію і дозволяє максимально використати імпульсні параметри оптичного випромінювача.

З метою забезпечення мінімальної надлишковості кодування даних, з можливістю виправлення та виявлення помилок, запропоновано інтегрально-імпульсний метод (ІМ) кодування даних в базисі Галуа (рис.5).

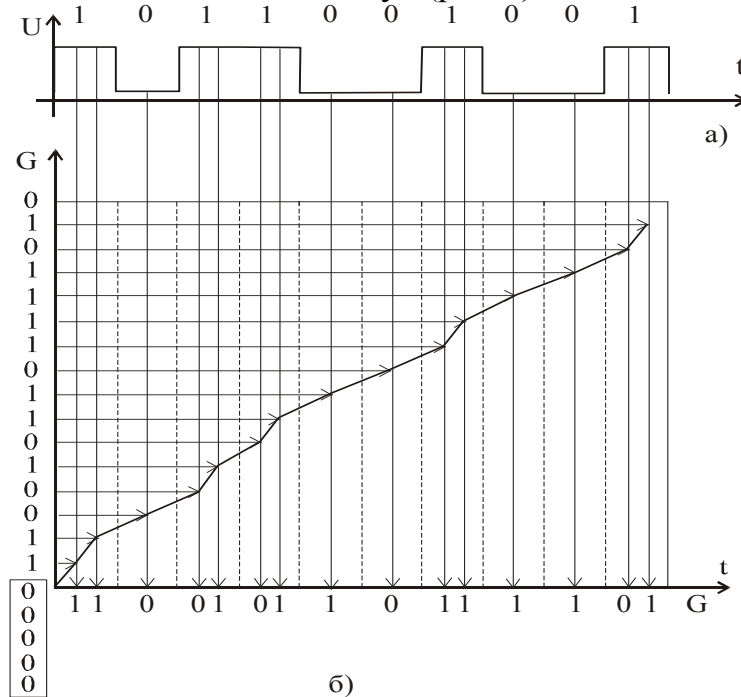


Рис.5. Інтегрально-імпульсний метод кодування даних в базисі Галуа:

а) сигнальна модель потоку інформаційних даних; б) представлення даних в інтегральному вигляді;  $[00000]$  - стартовий кодон рекурентної послідовності Галуа.

Принцип кодування даних полягає в тому, що одиничний інформаційний біт передається двома бітами коду Галуа, а нульовий інформаційний біт – одним бітом Галуа. Передавання даних відбувається пакетами визначеної довжини. Розрядність коду Галуа вибирається в два рази більшою за блок даних.

В канал зв'язку передаються біти Галуа, які формуються на основі прямого або інвертованого кодового ключа

$$X_{i+1} = X_i \oplus X_{i-j},$$

$$X_{i+1} = X_i \bar{\oplus} X_{i-j},$$

де  $j$  – номер зворотного зв'язку;  $\oplus$  – символ операції додавання по mod 2.

За допомогою рекурентних властивостей кодів Галуа на приймальній стороні є можливість, у процесі передавання даних, виправляти однократні помилки типу вставок і витирань та виявляти пакети помилок.

**У третьому розділі** проведено розрахунок максимальної швидкості обміну даними в запропонованих архітектурах РКС з оптичним каналом зв'язку, який показав ефективність використання дворівневої кільцевої архітектури. Перевагою даної архітектури є можливість використання різних за потужністю і швидкодією ОЛЗ.

Розроблені структурні схеми кодера та декодера КТФІ методу кодування даних (рис.7).

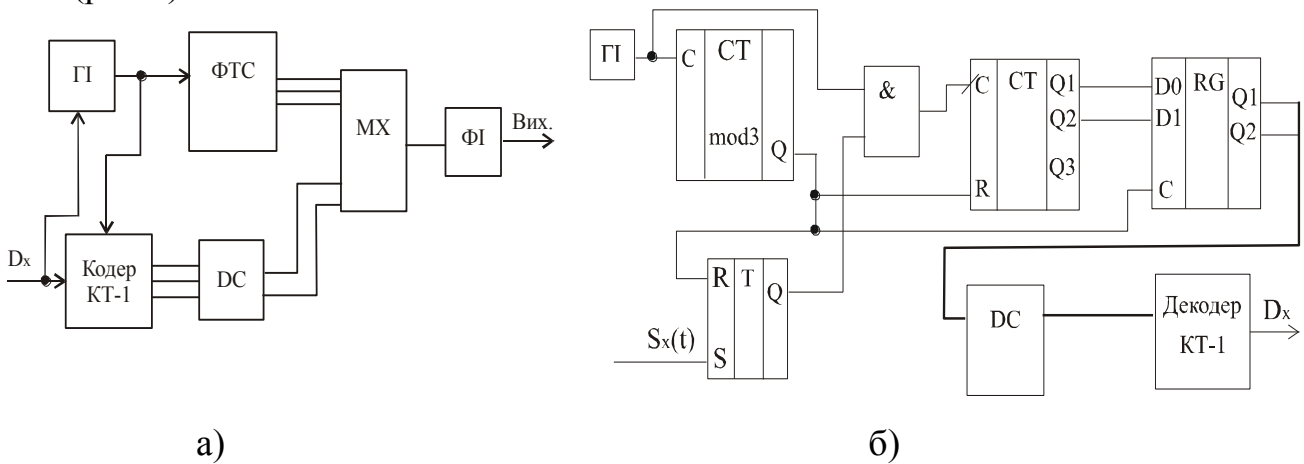


Рис.7. Структурні схеми: а) кодера КТФІ сигналів; б) декодера КТФІ сигналів.

ГІ – генератор тактових імпульсів; ФТС– формувач трифазних сигналів; МХ– мультиплексор; DC– перетворювач кодів; ФІ– формувач імпульсів заданої тривалості.

Дані принципи організації цифрового кодера використані в якості базових при побудові та дослідженні оптичної лінії зв'язку.

Для дослідження системних параметрів ОЛЗ розроблена її фізична модель (рис.8).

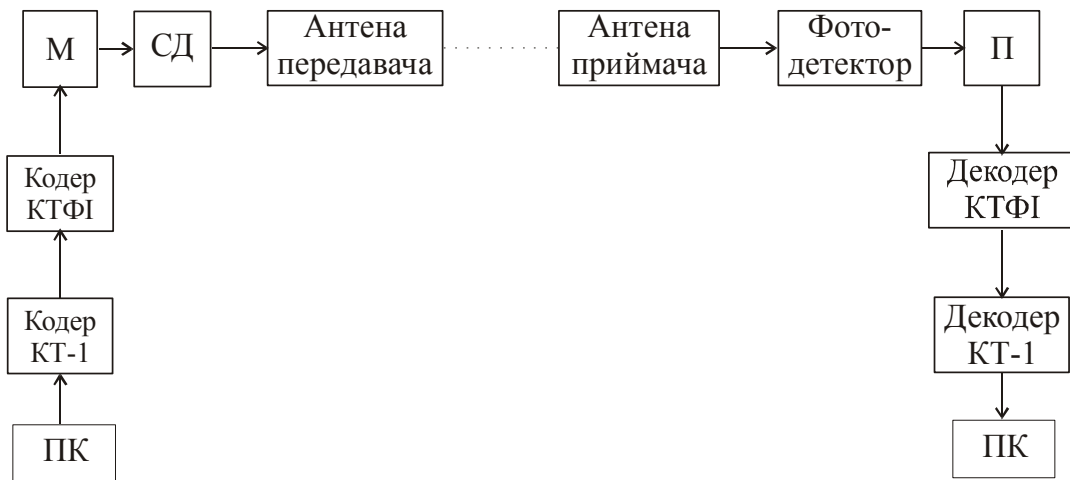


Рис.8. Фізична модель оптичної лінії зв'язку:

М-модулятор; СД- інфрачервоний світлодіод; П- підсилювач.

Зв'язок між енергією сигналу на виході передавача і енергією на вході приймача оптичних сигналів досліджений В. Праттом описується рівнянням:

$$(P_R)_{\max} = \left( \frac{\pi^2 \cdot d_A^2 \cdot d_R^2}{16 \cdot R^2 \cdot \lambda^2} \right) \cdot \tau \cdot P_A, \quad (2)$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі випромінювання;  $\tau$  - коефіцієнт, який враховує поглинання світла в атмосфері, в оптичній системі, в приймальному пристрої;  $R$  - відстань між передавачем та приймачем;  $P_A$  - потужність випромінювача;  $d_A, d_R$  - діаметр апертури антени передавача і приймача відповідно.

Рівняння (2) визначає теоретичну відстань передавання ОЛЗ. На рис.9 представлені графіки розрахованої дальності передавання інформації при параметрах, які відповідають реалізованій конструкції дослідних взірців ОЛЗ ( $d_A, d_R = 50$  мм,  $P_A = 400$  мВт,  $\lambda = 850$  нм).

Неточність наведення передавальної і приймальної антени приводить до відхилення від центра дифракційної картини. Приймач приймає випромінювання в деякій точці, розміщеній між центром дифракційної картини і колом, що задається кутом  $\Theta$ . Середня потужність корисного сигналу в приймачі дорівнює

$$(P_R)_{\text{сер}} = \left( \frac{S_2}{S_3} \right) \cdot \tau \cdot P_A,$$

де  $S_2 = \frac{\pi \cdot d_R^2}{4}$  - площа апертури антени приймача;  $S_3 = \left( \frac{\pi \cdot (\Theta \cdot R)^2}{4} \right)$  - площа січення

променя в площині приймача;  $\Theta = \frac{\lambda}{d_A}$ .

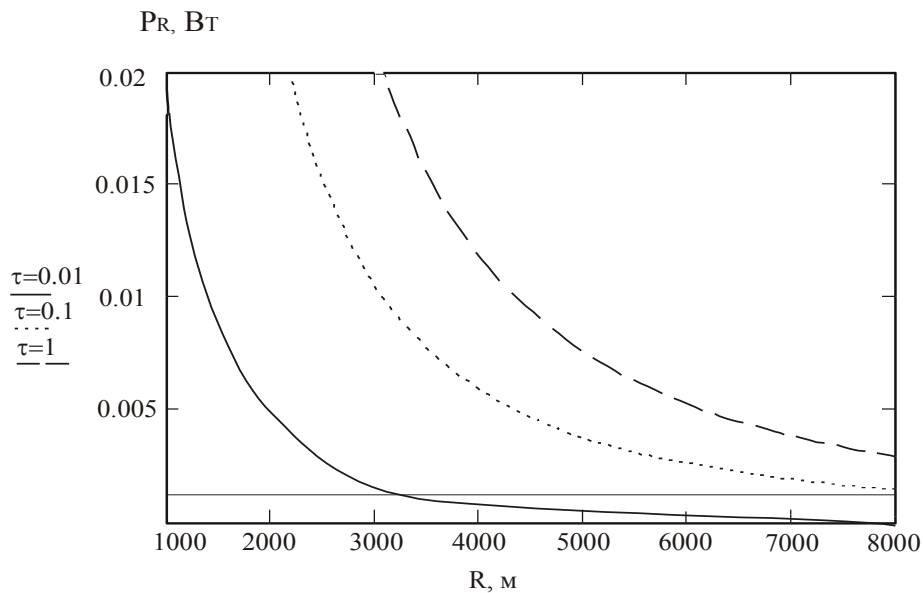


Рис.9. Дальність дії оптичної лінії зв'язку.

З графіка видно, що при заданих конструктивних параметрах надійне приймання даних забезпечується на відстані до 8 км, а при максимальному впливі метеорологічних факторів на віддаль до 3 км.

За допомогою експериментальної установки проведено дослідження діаграми направленості приймача оптичних сигналів, та ймовірності появи помилки при різних швидкостях передавання і метеорологічній видимості (рис.10). Діаграма направленості приймача оптичних сигналів дорівнює  $0.3^\circ$ .

Проведені експериментальні дослідження ОЛЗ в умовах Прикарпаття на віддалі  $L=2.6$  км; потужність випромінювача  $P=400$  мВт, швидкості передавання  $C=9600$  біт/с в умовах впливу туману, дощу та снігу підтвердили можливість стабільного передавання даних з ймовірністю появи помилок  $10^{-6}$  біт.

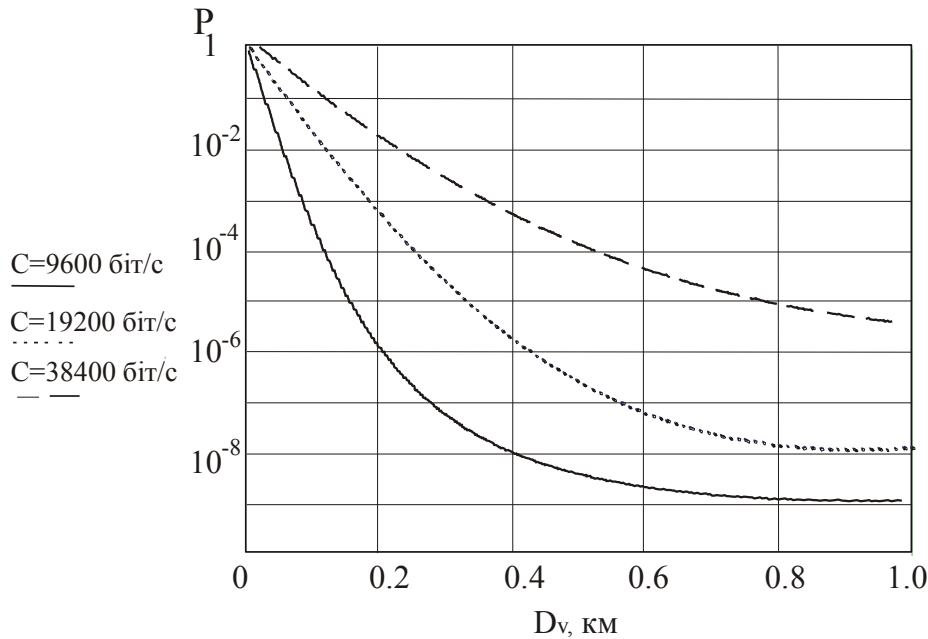


Рис.10. Залежність ймовірності помилки від метеорологічної видимості.

Проведені дослідження лягли в основу розроблених конструкцій передавача і приймача активного оптичного ретранслятора для використання в РКС.

**У четвертому розділі** запропоновано асинхронно-згортковий метод (АЗМ), на основі ШПС та кореляційної цифрової обробки сигналів, який має важливе практичне застосування в умовах значного затухання оптичних сигналів під дією кліматичних факторів.

Приймання ШПС кореляційними методами можна здійснити при виконанні умов: 1) незалежного відтворення кодових послідовностей на приймальній стороні; 2) синхронізації кодових генераторів приймача та передавача. Суть запропонованого АЗМ кодування полягає в тому, що один біт даних кодується  $M$ -послідовністю (рис.11) довжиною  $2^k - 1$  і передається дана  $M$ -послідовність  $2^k$  раз.

Передавання інформаційних бітів "1" і "0" здійснюється  $M$ - послідовностями, які формуються на основі кодових ключів:

$$X_{i+1} = X_i \oplus X_{i-j}, \quad (X_1, X_2, \dots, X_n) = 1;$$

$$X_{i+1} = X_i \oplus \overline{X_{i-j}}, \quad (X_1, X_2, \dots, X_n) = 0,$$

де  $j$ -номер зворотного зв'язку;  $i \in \overline{1, n}$ .

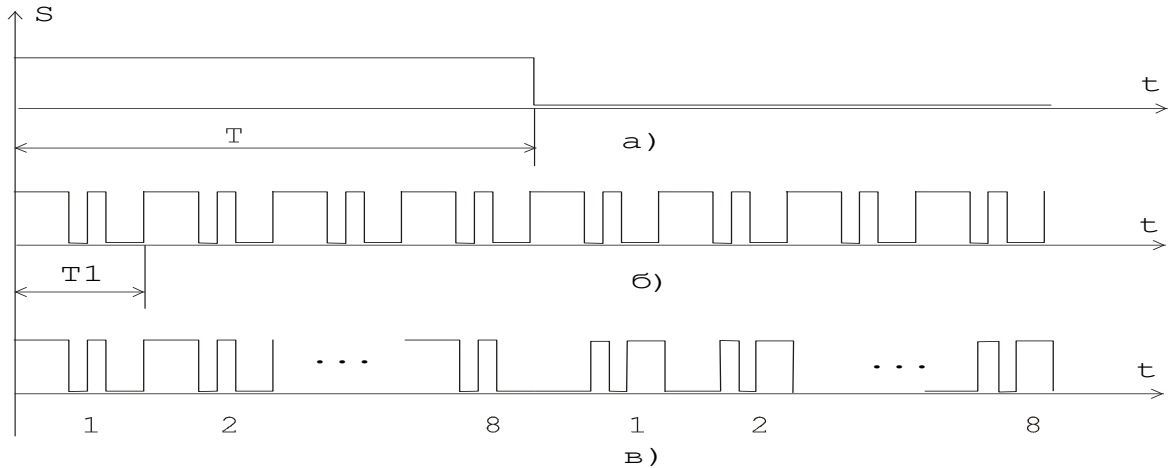


Рис.11. Часові діаграми роботи кодера:

$T$ - період інформаційного сигналу;  $T_1$ -період  $M$ - послідовності.

В приймачі АЗ сигналів відбувається цифрова кореляційна згортка прийнятого сигналу ( $M$ -послідовності) з опорним сигналом (кодом Галуа). Встановлення синхронізації між прийнятим і опорним сигналом відбувається за рахунок різної їх довжини  $M = 2^k - 1$ ,  $G = 2^k$ ,  $k$ -розрядність кодону (рис.12).

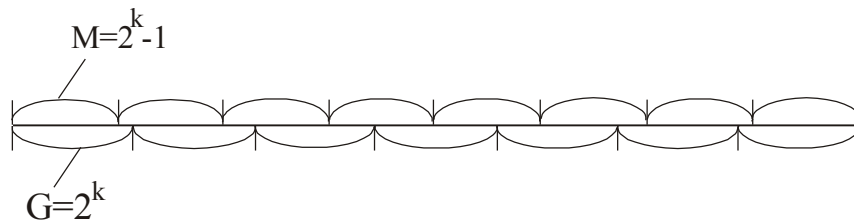


Рис.12. Встановлення синхронізації між прийнятим і опорним сигналом.

Взаємокореляційна функція (рис.13), яку реалізує цифровий процесор оптичного приймача описується формулою:

$$R_{xy}(j) = \frac{1}{n} \cdot \left( \sum_{i=1}^n (x_i \oplus \overline{y_{i+j}}) - \sum_{i=1}^n (x_i \oplus y_{i+j}) \right),$$

де  $x_i$  – відлік  $M$ - послідовності,  $y_i$  – відлік коду Галуа.

Швидкість передавання при АЗМ визначається згідно виразу:

$$C = \frac{1}{T_2 \cdot (2^k - 1) \cdot 2^k},$$

де  $T_2$  – тривалість одного біту  $M$ -послідовності.

АЗМ забезпечує суттєве спрощення кореляційного приймача за рахунок відсутності регістрових елементів пам'яті, цифрових фільтрів, відповідно зменшуються габарити і вартість кореляційних приймачів.

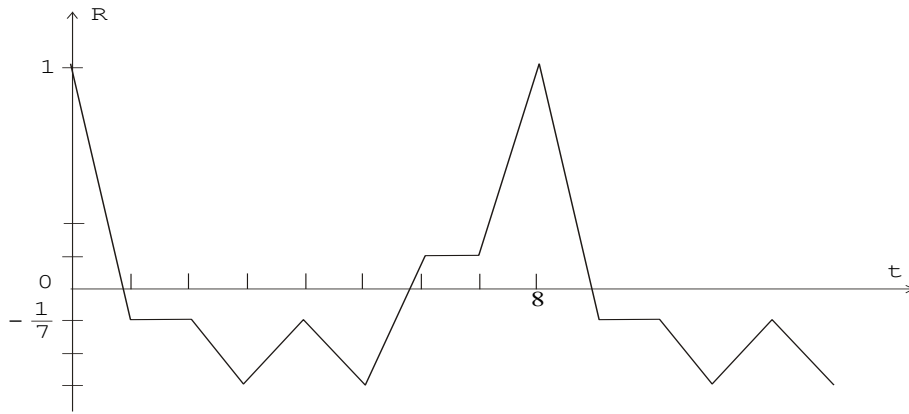


Рис.13. Взаємкореляційна функція М-последовності і коду Галуа.

Кореляційні піки взаємкореляційної функції використовуються в цифровому процесорі приймача АЗМ сигналів.

З метою спрощення реалізації цифрових генераторів опорних функцій, цифрових взаємкореляційних фільтрів запропоновано метод нелінійного перетворення гармонійного сигналу в фазовий портрет.

Відрізок синусоїди, якщо перейти до її фазового портрету, представляється в вигляді прямолінійної функції пилоподібної форми.

Оскільки існує однозначна відповідність між відрізком синусоїди і її фазовим портретом, то для ВФМ сигналів замість синусоїдальних сигналів можна використовувати сигнали пилоподібної форми, які представляють фазові портрети синусоїдальних функцій.

Відрізок синусоїди ВФМ сигналу в комплексній області можна представити функцією

$$w = r \cdot e^{j \cdot \varphi} \quad (3)$$

Позначимо  $r = e^{\ln r}$  і підставивши в функцію (3) одержимо

$$w = e^{\ln r + j \cdot \varphi},$$

після логарифмування

$$x = \ln w = \ln r + j \cdot \varphi \quad (4)$$

Позначимо  $\ln r$  як

$$\ln r = a \cdot p \quad (5)$$

де  $p$  – просте число;  $a=0,1,2, \dots$  – ціле число.

Підставимо (5) в (4) одержимо

$$x = a \cdot p + j \cdot \varphi.$$

Нехай  $y_i = A \cdot \sin \omega t$ ,

отже

$$y_i = a_i \cdot p + b_i,$$

$$b_i = \text{res } y_i(\text{mod } P),$$

що відповідає розв'язку діфантового рівняння, де  $\text{res}$  – символ операції обчислення залишку.





дена доцільність використання в низових комп'ютерних мережах ліній зв'язку оптичного діапазону та реалізація на їх основі РКС з кільцевою та ретрансляційною архітектурою.

2. На основі аналізу дискретних кодових базисів та кодів, які вони утворюють. Доведено ефективність застосування, на рівні формувачів, кодів Галуа, які характеризуються на відміну від базису Радемахера меншим об'ємом кодової матриці, що дозволяє зменшити об'єм даних, які формуються в реальному часі при контролі об'єктів.

3. Розроблені модифіковані методи кодування даних, які виключають однократні повторення однакових символів, перевагою яких є наявність самосинхронізації а також зменшення об'єму службової інформації при організації блокової синхронізації. На основі даного класу кодів реалізовані і досліджені сигнальні простори, теоретичний аналіз яких показав ефективність їх використання в комп'ютерних мережах з відкритим ОКЗ.

4. Запропоновано інтегрально-імпульсний метод кодування даних в базисі Галуа, який, в порівнянні з існуючими, дозволяє виправляти однократні помилки та виявляти блоки помилок в процесі передавання даних та забезпечує захист від несанкціонованого доступу.

5. Створена та випробувана в промислових умовах експериментальна установка формування та цифрової обробки сигналів, на базі якої проведено дослідження впливу метеорологічних факторів (дощу, снігу, туману) на надійність роботи оптичної лінії зв'язку. Отримана діаграма направленості приймача оптичних сигналів, яка дорівнює  $\pm 0,3^\circ$ . Доведено, що трикратний запас потужності дозволяє передавати дані з ймовірністю помилки  $10^{-6}$  біт при метеорологічній видимості більшій 100 м.

6. Запропоновано асинхронно-згортковий метод кодування та кореляційної цифрової обробки повідомлень, який відрізняється від існуючих властивістю самосинхронізації прийнятого і опорного сигналів, в результаті чого забезпечується суттєве спрощення кореляційних приймачів, зменшується об'єм необхідної пам'яті на 2-3 порядки, а відповідно зростає їх надійність та знижується вартість.

7. Досліджено метод нелінійного перетворення гармонійного сигналу в фазовий портрет в хемінговому просторі залишкових класів, який базується на нелінійних процедурах обчислення залишків. Даний метод приводить до значного спрощення цифрових формувачів фазових портретів за рахунок заміни обчислення функції  $\arctg x$  нелінійною функцією  $y = \text{res } x \pmod{p}$ .

8. На основі запропонованого КТФІ методу кодування розроблені та реалізовані цифрові пристрої приймача та передавача оптичних сигналів, що дозволило на їх основі розробити та впровадити в промисловість комп'ютерну систему контролю обліку енергоносіїв на базі оптичної лінії зв'язку. Розроблено та освоє-

но виробництво ОАР з використанням запропонованих цифрових методів кодування, що дало можливість збільшити віддаль передавання даних між комп'ютерною системою і об'єктом керування по оптичній лінії зв'язку, в порівнянні з відомими системами в 3 рази (3000 м).

## ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Яцків В.В. Лазерна система дистанційного контролю глибинно-насосних установок // Методи та прилади контролю якості. - 1998. - №2. - С.61 - 63.

2. Яцків В.В. Оцінка ефективності двомірних методів маніпуляції сигналів з самосинхронізацією // Розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Техн. кібернетика та електрифікація ОПЕК. - Івано-Франківськ.: ІФДТУНГ, 1998. №35. С. 126-132.

3. Яцків В.В. Нелінійний метод перетворення гармонічного сигналу в фазовий портрет в хемінговому просторі залишкових класів. Серія: Техн. кібернетика та електрифікація. – Івано-Франківськ.: ІФДТУНГ, 1999. №36 (том 6). С.124-128.

4. Яцків В.В. Метод асинхронно-згорткового кодування даних з високим рівнем завадозахищеності // Комп'ютерні технології друкарства: Зб. наук. пр. - Львів, 2000.-С.357-362.

5. Яцків В.В. Методичне обґрунтування параметрів процедур обміну даними безпроводної мережі контролю обладнання нафтогазових свердловин // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. -№ 36 (том 8). - С. 261-267.

6. Николайчук Я.М., Яцків В.В. Розробка і аналіз завадостійкості цифрового приймача відносно фазо-маніпульованих сигналів на основі обчислювача структурної функції // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи і засоби технічної діагностики. - Івано-Франківськ: ІФДТУНГ.- 1999. № 36 (том 8). - С. 202-207.

7. Яцків В.В. Інтегрально-імпульсні перетворювачі в системах керування технологічними процесами та обліку енергоносіїв. // Матеріали 2-ї Міжнар. науково-практичної конф. «Управління енерговикористанням» (BISTRO/96/052).-Львів: - 1997.- С. 4-50 - 4-52.

8. Яцків В.В. Структура та організація системи передачі технологічних даних на основі лазерних активних ретрансляторів (ЛАР) //Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. -Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. - 1997. С.

9. Яцків В.В. Організація комп'ютерних мереж на основі лазерних активних ретрансляторів // Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету. - Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. - 1999. – С. 95-96.

## АНОТАЦІЯ

Яцків В.В. Методи кодування та цифрової обробки повідомлень в розподіленних системах з оптичним каналом зв'язку. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.13– обчислювальні машини, системи та мережі. – Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, 2001.

Дисертацію присвячено питанням розробки методів кодування та цифрової обробки повідомлень в оптичних лініях зв'язку, дослідженню системних параметрів та завадостійкості ОЛЗ, створенню розподілених комп'ютерних систем на основі ОЛЗ. В дисертації запропоновано квазітрійковий фазо-імпульсний метод кодування даних на основі модифікованих сигнальних просторів, який характеризується наявністю бітової самосинхронізації. Використання КТФІ методу кодування дозволило підвищити завадостійкість та збільшити віддаль передавання даних в ОЛЗ. Проведені експериментальні дослідження підтвердили надійну роботу ОЛЗ на віддалі до 3 км при впливі метеорологічних факторів (туману, дощу, снігу). Основні результати досліджень використані при розробці і виготовленні ОЛЗ, яка впроваджена в промислово експлуатацію в складі комп'ютерної системи обліку витрати енергоносіїв.

Ключові слова: методи кодування, оптична лінія зв'язку, модифіковані сигнальні простори, цифрова обробка, самосинхронізація.

## АННОТАЦИЯ

Яцкив В.В. Методы кодирования и цифровой обработки сообщений в распределённых системах с оптическим каналом связи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.13- вычислительные машины, системы и сети. Национальный университет “Львовская политехника”, Львов, 2001.

Диссертация посвящена вопросам разработки эффективных методов кодирования и цифровой обработки сообщений в оптических линиях связи (ОЛС), исследования системных параметров та помехозащищённости ОЛС, созданию распределённых компьютерных систем (РКС) на основе ОЛС.

В диссертации проведён анализ архитектур, на основе которого указаны преимущества архитектур с ОЛС. Исследования процедур обмена данными в одноканальных и многоканальных РКС показали преимущества использования вертикальной информационной технологии в базисе Галуа. Повысить эффективность РКС, а также снизить требования к линиям связи можно за счёт уменьшения объёмов данных снимаемых с объектов управления. Для этого проведены исследования таких характеристик кодовых базисов, как количество кодовых комбинаций и

объем кодовой матрицы, которые показали, что избыточность базиса Галуа есть минимальная. Поэтому базис Галуа можно эффективно использовать на разных этапах преобразования информации от устройств генерирования, передачи, до цифровой обработки данных.

Указаны преимущества и недостатки использования ОЛС в РКС и компьютерных сетях. Проведён анализ мирового уровня развития и использования ОЛС, который показывает перспективность исследования ОЛС.

В компьютерных сетях и волоконно-оптических линиях связи используются методы импульсного и потенциального кодирования исследования, которые показали преимущества квазитроичного метода кодирования КТ-1 на основе импульсных признаков.

На основе КТ-1 и модифицированных сигнальных пространств предложен метод квазитроичного фазо-импульсного кодирования, который имеет внутреннюю самосинхронизацию и максимально использует свойства оптических генераторов.

Разработаны структуры кодера и декодера КТФИ метода кодирования, которые стали основой для разработки ОЛС.

Разработана и изготовлена экспериментальная установка, на базе которой проведены исследования системных параметров и помехозащищенности ОЛС, что подтвердило надёжную работу ОЛС на расстоянии до 3000м при воздействии таких метеорологических факторов как туман, снег, дождь.

Предложен метод интегрального кодирования данных в базисе Галуа, в котором информационные биты представляются кодом Галуа, в результате использования свойств кодов Галуа данный метод позволяет исправлять однократные ошибки и выявлять пакеты ошибок.

В работе предложен асинхронно-свёрточный метод корреляционной цифровой обработки сообщений, который характеризуется высокой помехозащищенностью и позволяет существенно упростить корреляционные цифровые приёмники.

Проведены исследования максимальной скорости обмена данными в предложенных структурах РКС с ОЛС, показали преимущества двухуровневой кольцевой структуры, в которой используются разные по мощности и скорости передачи а, соответственно, и цене ОЛС.

Разработано структуру и реализованы активные и пассивные оптические ретрансляторы которые позволяют в 2 раза увеличить расстояние передачи.

На основе предложенной ретрансляционной архитектуры и ОЛС разработана система формирования, цифровой обработки и передачи данных от станков качалок нефтедобывающей промышленности

Разработанная оптическая линия связи внедрена в компьютерной системе контроля расхода энергоносителей на ОАО «Ивано-Франковскцемент» для сбора данных с удалённых объектов.

Ключевые слова: метод кодирования, оптическая линия связи, модифицированные сигнальные просторы, цифровая обработка, самосинхронизация.

### ABSTRACT

Yatskiv V.V. Methods of coding and digital processing of the messages in the distributed systems with the optical channel of communication systems. The dissertation on competition of the scientific degree of the candidate of engineering science on speciality 05.13.13.- computers, systems and networks. National university "Lvivska politehnika" Lviv, 2001.

The dissertation is devoted to the questions of development of the effective methods of coding and digital processing of the messages in optical communication lines (OCL), research of the system parameters of the obstacle dependence OCL, creation of the distributed computer system (DCS) on the basis OCL.

"Kvazitriykovii" phasa-impulse coding method in the basis of modified signal spaces, Which has bites self-synchronization, is proposed in the dissertation. Using of the KPI coding method allowed to increase the obstacle dependence and the transmission distance in OCL.

Experimental research affirmed the reliable work OCL on the distance of 3 km with the influence meteorological factors (fog, rain and snow). The main research results are used in elaborating and producing of OCL, which is introduced in the computer system of the charge of energy.

Key words: coding methods, optical communication line, modified signal spaces, digital processing, self-synchronization.