

конференції (26-30 травня 2009р., Київ). – К.: НТУУ “КПІ”, 2009. – С. 276. 8. Вовк Р.Б., Криль Л.Р., Королик В.М. Дослідження структури зворотного зв'язку тьюторної системи на основі обмежень // *Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: Материалы XIII Международного молодежного форума (30 марта – 1 апреля 2009 г., Харьков)*. – Х.: ХНУРЕ, 2009. – ч.2 – С. 167.

УДК 681.3:519.15

В. Різник, Д. Скрибайло-Леськів
Національний університет «Львівська політехніка»,
кафедра автоматизованих систем управління

СИНТЕЗ ЗАВАДОСТІЙКИХ КОДІВ НА ОСНОВІ БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ ІДЕАЛЬНИХ КІЛЬЦЕВИХ В'ЯЗАНОК

© Різник В., Скрибайло-Леськів Д., 2011

Досліджуються методи побудови завадостійких кодів на основі багатопозиційних комбінаторних конфігурацій з кільцевою структурою типу ідеальних кільцевих в'язанок (ІКВ) для створення систем кодування, які виявляють та виправляють помилки, з поліпшеними якісними показниками за потужністю та завадостійкістю. Здійснено порівняльний аналіз параметрів запропонованого коду з параметрами загальновідомих кодів.

Ключові слова: код, кільцева структура, потужність коду, завадостійкість коду, ідеальна кільцева в'язанка.

This paper considers some ways of correcting code design based on the combinatorial configurations with ring structure, named Ideal Ring Bundles (IRB)s for create error protection coding systems with improved quality factors with respect to code size and noise immunity. The comparative analyze of parameters for proposed code and well – known codes is realized.

Keywords: code, ring structure, code size, code immunity, ideal ring bundle.

Вступ

Методи комбінаторної оптимізації широко застосовують в інформаційних технологіях під час кодування, перетворення та пересилання даних, в інформаційно-вимірювальній та обчислювальній техніці, радіотехніці, зв'язку та суміжних галузях науки і техніки. Приклади постановки таких задач: проектування завадостійких систем кодування, розроблення ефективних технологій захисту цінних паперів від несанкціонованого доступу, удосконалення компонентів комп'ютерних систем, проектування радіосистем з високою роздільною здатністю. Тому актуальними є створення систем кодування з поліпшеними якісними показниками за потужністю та швидкодією щодо виявлення і виправлення помилок в повідомленнях, що передаються каналами зв'язку. На порядку денному – дослідження комбінаторних властивостей ідеальних кільцевих в'язанок з метою побудови багатопозиційних кодів для створення інформаційних технологій та пристроїв комп'ютерної техніки з високими якісними показниками – такими, як забезпечення достовірності інформації, підвищення надійності, функціональної безпеки і живучості інформаційних та інформаційно-управляючих систем.

Аналіз загальновідомих кодів

Циклічні коди, які спроможні виправляти більше двох помилок, в літературі відомі як коди Боуза, Чоудхурі, Хоквінхема – авторів методики побудови цих кодів (скорочено – коди БЧХ). Суть методики полягає в побудові твірного полінома, вигляд якого залежить від двох параметрів: довжини кодового слова S та максимально можливої кількості виправлених помилок t . Решта параметрів, що беруть участь у побудові твірного полінома, можуть визначатися за допомогою

спеціальних таблиць і допоміжних співвідношень [1]. При цьому необхідно дотримуватися таких залежностей:

$$d = 2t + 1, \quad S = 2^h - 1, \quad (1)$$

де d – мінімальна кодова відстань; h – величина, яка визначає вибір обрання числа контрольних символів k і пов'язана з h та t співвідношенням:

$$k \leq ht = [\log_2(S+1)]t. \quad (2)$$

З іншого боку, число контрольних символів визначається твірним поліномом і дорівнює його степеня. Зі збільшенням значення h довжина коду S стає дуже великою, що ускладнює технічну реалізацію пристроїв кодування та декодування. Побудова твірного полінома здійснюється за допомогою простих незвідних поліномів. Твірний поліном є добутком непарних мінімальних поліномів, що становить найменше спільне кратне. Максимальний порядок мінімальних поліномів

$$\rho = 2t - 1. \quad (3)$$

Порядок полінома використовують для визначення числа співмножників. Для побудови твірного полінома зазвичай користуються спеціальною таблицею мінімальних незвідних в полі Галуа GF (2) поліномів. В окремих випадках допускається використання поліномів й меншого степеня [2]. Декодування кодів БЧХ, які спроможні виправляти більше чотирьох помилок, є достатньо складною задачею і здійснюється, як правило, на основі алгоритму Берлекемпа [3] або його модифікацій. Певне полегшення може бути, коли комбінацію, одержану після K -кратного зсуву і додавання до залишку, зсувати не вправо, а вліво на $S - K$ циклічних зсувів, але це доцільно робити за умови, коли $K > S/2$ [1]. Отже, теоретично БЧХ-коди можуть виправляти довільну кількість помилок, але за умови подолання проблем, пов'язаних як із пошуком відповідних твірних поліномів та побудови мінімальних незвідних в полі Галуа GF (2) поліномів для багатопозиційних кодових послідовностей, так й зі зростанням складності прийнятно-передавальної апаратури та зменшенням швидкості пересилання повідомлень каналами зв'язку.

Постановка задачі

Завдання полягає в створенні спрощеного методу побудови багатопозиційних завадостійких кодів з ліпшими якісними показниками порівняно з кодами БЧХ.

Метод побудови багатопозиційного завадостійкого коду на основі ІКВ

Багатопозиційний завадостійкий код будують, використовуючи унікальних властивостей «ідеальних кільцевих в'язанок» (ІКВ) – впорядкованих цілочислових послідовностей з кільцевою структурою, всі числа якої разом з усіма сумами поруч розміщених чисел вичерпують натуральний ряд [4]. Для побудови циклічного коду з довжиною кодових комбінацій S_n за допомогою ІКВ достатньо виділити рядок із S_n пронумерованих позицій одновимірного масиву та заповнити інформаційними одиницями ті позиції коду, номери яких збігаються з числом x_j , що знаходять із залежності

$$x_j - 1 \equiv \sum_{i=1}^j k_i \pmod{S_n}, \quad j=1,2,\dots,n, \quad (4)$$

$$S_n = n(n-1)/R + 1, \quad (5)$$

де k_j – i -й елемент обраного ІКВ; n, R -параметри ІКВ [4].

Решта клітинок заповнюють інформаційними нулями. Утворена послідовність двійкових символів є твірною комбінацією коду, циклічним зсувом якої можна отримати решту $S_n - 1$ кодових комбінацій.

Мінімальну кодову відстань для цього коду визначають за залежністю

$$d_{min} = 2(n - R). \quad (6)$$

Кількість помилок, які можна виправити за допомогою цього коду, залежить від параметрів n і R [4]:

$$t \leq (n - R - 1). \quad (7)$$

Одним з показників якості завадостійкого кодування є співвідношення мінімальної кодової відстані (6) та довжини (5) дозволених кодових комбінацій, який характеризує ефективність коригувальної здатності коду K_e :

$$K_e = d_{min}/S_n . \quad (8)$$

Легко побачити, що за умови, коли $n \gg R$, співвідношення (8) прямує до величини $2/n$, і при $n \rightarrow \infty$ наближається до нуля. Це означає, що для багатопозиційних циклічних кодів ІКВ з параметрами $n \gg R$ ефективність коригувальної здатності коду зменшується обернено пропорційно до розрядності цього коду, а коригувальна здатність зростає прямо пропорційно, що впливає із залежності (6). Характер залежності коригувальної здатності циклічного ІКВ коду d_{min} та його ефективності K_e від числа позицій n , коли $n \gg R$ наведено на графіку (рис.1).

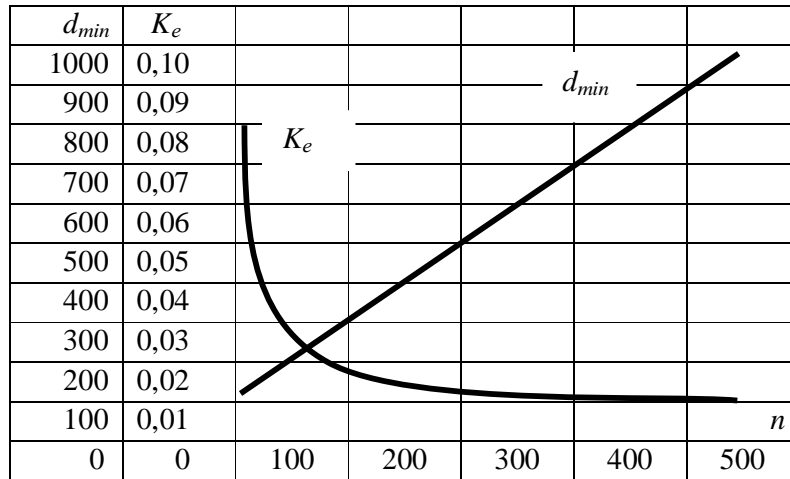


Рис.1. Характер залежності коригувальної здатності циклічного ІКВ коду та його ефективності від числа позицій n за умови, що $n \gg R$

З графіків (рис.1) випливає, що циклічний ІКВ код з параметрами $n \gg R$ у принципі спроможний виправляти як завгодно багато помилок за умови збільшення числа розрядів, однак ефективність його коригувальної здатності різко спадає на початковій ділянці зростання розрядності коду в межах декількох перших десятків – від 0,2 до 0,02 з поступовим наближенням до нульового значення із подальшим збільшенням числа n розрядів. Вигляд функціональних залежностей $d_{min}=f(n)$, $K_e=f(n)$, наведених на рис.1, вказує на можливість підвищення ефективності коду, якщо піти шляхом збільшення параметра R . Відомо, що за умови, коли $n \approx 2R$, досягається оптимальне співвідношення між кількістю виправлених помилок та довжиною кодових комбінацій циклічного ІКВ-коду, за яким цей код може виправляти максимальну кількість помилок за обмеженої довжини комбінацій [4]. Розглянемо можливість використання цього співвідношення для поліпшення ефективності багатопозиційних циклічних ІКВ-кодів. У табл. 1 наведено розрахунки показників завадостійкості оптимізованих циклічних ІКВ-кодів з параметрами

$$\begin{aligned} n &= 2R && \text{для } n \equiv 0(\text{mod}2) , \\ n &= 2R + 1 && \text{для } n \equiv 1(\text{mod}2) . \end{aligned} \quad (9)$$

Числові показники табл. 1 розраховувалися за формулами, що впливають із рівнянь (5)–(9):

$$\begin{aligned} R &= \text{ent} (n/2) \\ S_n &= 2n - 1, \text{ для } n \equiv 0(\text{mod}2) \\ S_n &= 2n + 1, \text{ для } n \equiv 1(\text{mod}2) \\ t &= (S_n - 3)/4 \\ P &= 2 S_n , \end{aligned}$$

де P – потужність коду, побудованого на основі ІКВ з параметрами, наведеними у табл. 1.

Показники завадостійкості оптимізованих циклічних ІКВ-кодів

n	R	S_n	t	P	d_{min}	K_e
20	10	39	9	78	20	0,513
62	31	123	30	246	62	0,504
63	31	127	31	247	64	0,504
64	32	127	31	254	64	0,504
65	32	131	32	262	66	0,504
.....
126	63	251	62	502	126	0,502
127	63	255	63	510	128	0,502
.....
254	127	507	126	1014	254	0,501
255	127	511	127	1022	256	0,501
.....
510	255	1019	254	2038	510	0,5005
511	255	1023	255	2046	512	0,5005
.....
1022	511	2043	510	4086	1022	0,5002
1023	511	2047	511	4094	1024	0,5002

З табл. 1 видно, що на відміну від попередньо розглянутого коду, оптимізований циклічний код, побудований на основі багатоелементних ІКВ з параметрами, що пов'язані між собою залежністю (9), має вищу коригувальну ефективність коду, яка спочатку спадає від 0,513 до 0,504 у межах зростання числа розрядів від 20 до 62, і прямує до величини 0,5 при як завгодно великому збільшенні числа розрядів кодових послідовностей. При цьому максимально можлива кількість помилок, що виправляється, становить 25% від загального числа розрядів коду, побудованого на основі ІКВ з відповідно обраними параметрами. Результати обчислень, зведених в табл. 1, ілюструються графіками (рис. 2).

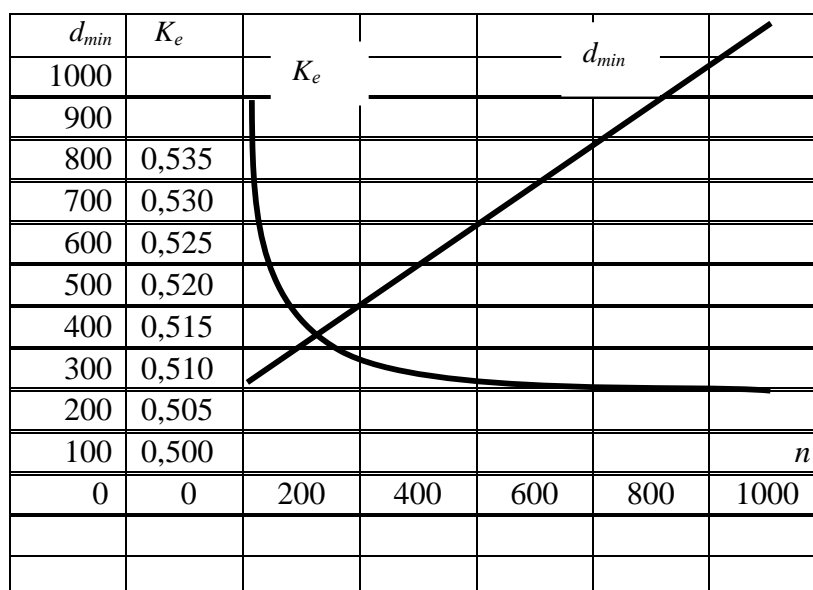


Рис.2. Характер залежності коригувальної здатності циклічного ІКВ коду та його ефективності від числа позицій n за умови, що $n \gg 2R$

Порівнюючи між собою графічні залежності (рис.1) і (рис.2), легко побачити, що багатопозиційні коди, побудовані на основі ІКВ з оптимізованими параметрами, мають ліпші якісні показники (рис.2), ніж коди, наведені на рис.1. Результати порівняння характеристик обох кодів зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати порівняння характеристик багатопозиційних кодів, побудованих на основі ІКВ

d_{min}	S_n	$S_{n(onn)}$	$S_n / S_{n(onn)}$	K_e	$K_{e(onn)}$	$K_{e(onn)} / K_e$
18	91	35	2,6	0,198	0,514	2,59
62	993	123	8,073	0,062	0,504	8,12
126	4033	251	16,068	0,031	0,502	16,19
254	16257	507	32,065	0,016	0,501	31,31
510	65281	1019	64,064	0,008	0,500	62,5
1022	261632	2043	128,062	0,004	0,500	125

З табл. 2 можна бачити, що багатопозиційні коди зі заданою коригувальною здатністю ($d_{min} = const$), побудовані на основі ІКВ з оптимізованими параметрами, характеризуються меншим числом розрядів коду й вищим коефіцієнтом ефективності. Результати порівняння характеристик кодів, зведених у табл. 2, ілюструє графічна інтерпретація вищенаведених розрахунків (рис. 3).

З графічних інтерпретацій (рис. 1–3) характеристик багатопозиційних циклічних кодів, побудованих на основі ІКВ з різним співвідношенням параметрів ($n \gg R$ та $n \approx 2R$), можна бачити, що коригувальна здатність обох кодів зростає прямо пропорційно до числа розрядів. Однак багатопозиційні оптимізовані коди дають змогу виправляти більшу кількість помилок при однаковому числі розрядів порівнюваних кодів практично прямо пропорційно до розрядності, однак не перевищуючи рівня 25% від загального числа розрядів кодових комбінацій, при збереженні фіксованого значення потужності коригувального коду.

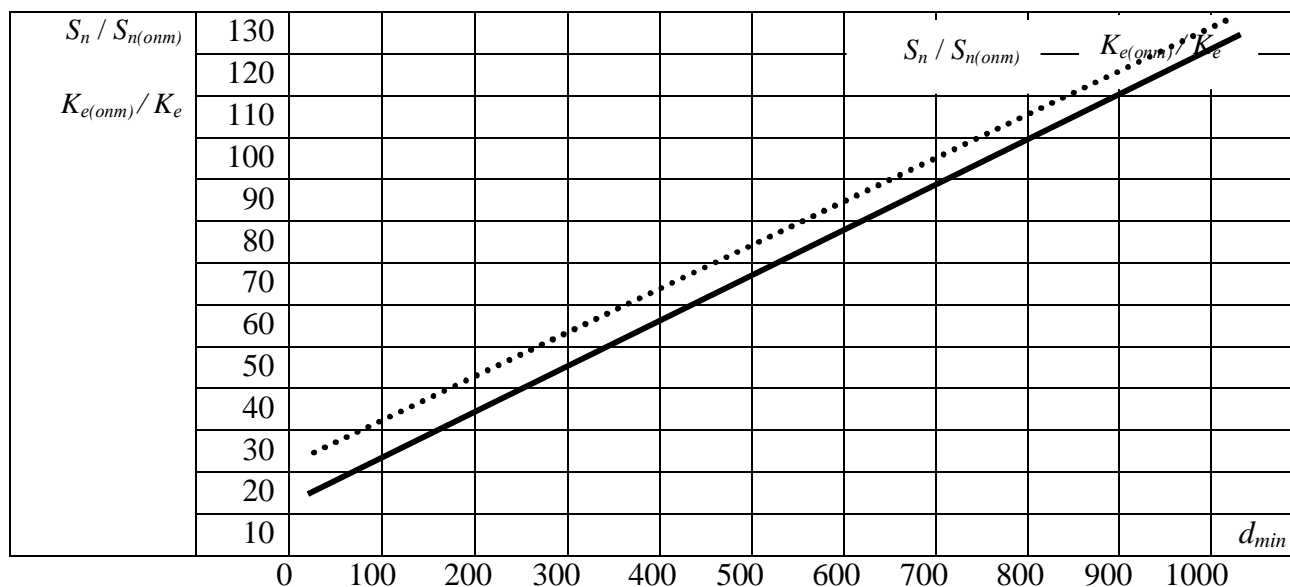


Рис.3. Порівняльні характеристики багатопозиційних циклічних кодів, побудованих на основі ІКВ з різним співвідношенням параметрів ($n \gg R$ та $n \approx 2R$) залежно від коригувальної здатності цих кодів

Слід зазначити, що співвідношення між довжинами кодових комбінацій і показниками ефективності багатопозиційних циклічних кодів, побудованих на основі ІКВ з різним співвідношенням параметрів ($n \gg R$ та $n \approx 2R$), зростає прямо пропорційно до збільшення коригувальної спроможності кодів (рис. 3).

Основною перевагою багатопозиційного коду з оптимізованими параметрами є можливість виправлення до 25% помилок при стабільному рівні ефективності коригувальної спроможності коду з як завгодно великим числом його розрядів, що вигідно відрізняє цей код від стандартних кодів, зокрема й кодів БЧХ.

Методи підвищення потужності багатопозиційних завадостійких ІКВ-кодів

Відомо, що потужність будь-якого циклічного коду, зокрема й ІКВ-коду, визначається числом його розрядів і зростає разом зі збільшенням довжини кодових комбінацій. Одним з відомих методів збільшення потужності ІКВ-коду є використання поруч з комбінаціями базового циклічного коду комбінацій, в яких символи в усіх розрядах змінені на протилежні. При цьому потужність коду зростає вдвічі без зменшення його коригувальної спроможності за рахунок використання комбінацій з інверсними символами [4]. Інший підхід полягає у використанні для побудови ІКВ-коду множини варіантів ІКВ, що утворюють повну сім'ю, тобто таких числових послідовностей, які мають однакові параметри n , R але різний склад елементів [4]. Теоретичні розрахунки і комп'ютерна перевірка запропонованого методу підтвердили доцільність використання такого підходу для збільшення потужності завадостійкого ІКВ-коду.

Алгоритм синтезу ІКВ-коду підвищеної потужності передбачає виконання таких операцій: 1) на основі вхідних даних, які характеризують задану коригувальну спроможність коду та його потужність, вибирають сім'ю ІКВ з відповідними параметрами, що могли б задовольнити задані вимоги; 2) за обраною сім'єю ІКВ будують множину кодових комбінацій, використовуючи при цьому можливість кожного з варіантів ІКВ, зокрема інверсний код; 3) здійснюють попарну перевірку на множині кодових комбінацій їхніх кодових відстаней; 4) із множини побудованих кодових комбінацій відбирають підмножину комбінацій з кодовими відстанями, які забезпечують задану коригувальну спроможність коду; 5) якщо побудований код задовольняє задані вимоги щодо коригувальної спроможності та потужності, обчислення закінчують; якщо ж цих вимог досягти не вдалося, доповнюють відібрану множину кодових комбінацій видозміненими числовими послідовностями, скомпонованими з відповідних ІКВ чи їхніх фрагментів, або обирають сім'ю варіантів ІКВ більшої потужності, після чого переходять до виконання операцій за п. 2. Обчислення продовжують до отримання бажаного результату.

Слід зазначити, що зі збільшенням числа розрядів багатопозиційного ІКВ-коду можливість підвищення потужності коду зростає завдяки швидкому зростанню потужності повних сімей ІКВ [4].

Отже, із збільшенням розрядності багатопозиційних ІКВ-кодів розширюються їхні практичні можливості не лише з погляду зростання коригувальної спроможності, але й стосовно збільшення потужності, що підтверджує перспективність створення новітніх інформаційних технологій на основі багатопозиційних кодів.

Серед переваг методу побудови циклічних кодів на основі ІКВ слід зазначити спрощення алгоритму і високий рівень досконалості теорії кодів цього класу. Однак слід враховувати обмеження, пов'язані зі швидкістю передавання та ускладненням приймально-передавальної апаратури.

Висновки

Описані методи побудови багатопозиційних циклічних кодів з високими можливостями щодо виявлення і виправлення багаторазових помилок ґрунтуються на використанні комбінаторних конфігурацій з кільцевою структурою типу ідеальних кільцевих в'язанок (ІКВ). Методи дають змогу створювати системи кодування з поліпшеними якісними показниками за потужністю та завадостійкістю. Коригувальна ефективність циклічних кодів, побудованих на основі багатоелементних ІКВ з оптимізованими параметрами, досягає величини 0,5 при як завгодно великому числі розрядів

кодових послідовностей. При цьому максимально можливе число помилок, що виправляється, становить 25% від загального числа розрядів коду. Порівняно з існуючими методами синтезу коригувальних кодів, запропоновані методи не вимагають обов'язкового пошуку твірних поліномів та побудови мінімальних незвідних в полі Галуа GF (2) поліномів, як передбачено в алгоритмі синтезу кодів, запропонованих Боузом, Чоудхурі та Хоквінхемом (кодів БЧХ). Результати досліджень можуть знайти практичне застосування для розроблення інформаційних технологій та систем з поліпшеними технічними характеристиками за такими показниками, як забезпечення достовірності інформації, підвищення надійності, функціональної безпеки і живучості інформаційних та інформаційно-управляючих систем.

1. Цымбал В.П. *Теория информации и кодирование*. – К.: Вища школа, 1982. – 304 с. 2. Питерсон У., Уэлдон Э. *Коды, исправляющие ошибки*. – М.: Сов. Радио, 1974. – 590 с. 3. Берлэкэмп Э. *Алгебраическая теория кодирования*. – М.: Мир, 1971. – 478 с. 4. Різник В.В. *Синтез оптимальных комбинаторных систем*. – Львів: Вища школа, 1989. – 168 с.

УДК 536.521.2

Н. Гоц

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

МОДЕЛЮВАННЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ МЕТОДАМИ ДВОКАНАЛЬНОЇ ТЕРМОМЕТРІЇ ВИПРОМІНЕННЯ

© Гоц Н., 2011

Наведено огляд двоканальних методів вимірювання температури об'єктів за випроміненням. На основі комп'ютерного моделювання проаналізовано інструментальну та методичну складові похибки вимірювання температури цими методами. Визначено умови, за яких доцільне їх застосування, та загальні недоліки використання цих методів.

Ключові слова: температура за випроміненням, похибка вимірювання, методи пірометрії.

In the article the review of twochannel methods of measuring of temperature of objects is conducted after a radiation. On the basis of computer design the analysis of instrumental is conducted and methodical constituents of error of measuring of temperature by these methods. Certainly terms, which their expedient application, and general lacks of the use of these methods, is for.

Key-words: radiation temperature, measurement error, methods of pyrometry.

Актуальність та постановка задачі

Для дослідження фізичних властивостей речовин, контролю природних явищ та технологічних процесів широко застосовуються такі безконтактні засоби вимірювання температури, як двоканальні термометри випромінення [1,2,3].

Вони функціонують на основі методів двоканальної термометрії випромінення (ДКТВ), а саме на основі вимірювання спектральної енергетичної яскравості на двох спектральних ділянках випромінення, утворення їх різних комбінацій та прирівнювання до аналогічних комбінацій яскравостей абсолютно чорного тіла (АЧТ) при тій самій температурі. В результаті розвитку теоретичної бази пірометрії існує велика кількість локальних методів ДКТВ, які розрізняються способом опрацювання інформації, що несе потік випромінення від поверхні досліджуваного об'єкта. Сьогодні розроблені промислові моделі термометрів випромінення переважно ґрунтуються лише на одному методі – методі