

На правах рукопису

ГОФАНЗЕН ОЛЕГ ВІКТОРОВИЧ

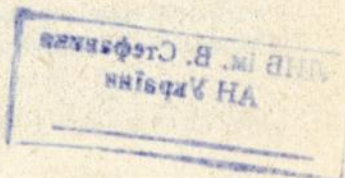
УДК 621.397.132

НАУКОВІ ОСНОВИ
ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ КОЛЬОРОВИХ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

05.12.17 - Радіотехнічні і телевізійні системи та пристрої

Д и с е р т а ц і я
у вигляді наукової доповіді
на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Одеса, 1993



№ 27.474

Робота виконана в Одеському електротехнічному інституті зв'язку
ім. О. С. Попова

Науковий консультант - Панфілов І. П., заслужений діяч вищої
школи України, академік, докт. техн.
наук, професор

Опоненти - Биков Р. С. - заслужений діяч науки і
техніки Російської Федерації, академік,
докт. техн. наук, професор (Санкт-Петербурзький електротехнічний університет)

Денбовецький С. В. - заслужений діяч
науки і техніки України, докт. техн.
наук, професор (Київський політехнічний інститут)

Кошовий В. М. - академік, докт. техн.
наук, професор (Одеська державна
морська академія)

Провідна організація - Одеський науково-дослідний інститут
телевізійної техніки

Захист відбудеться 17 червня 1993 р. о 10⁰⁰ годині в аудиторії 222
на засіданні Спеціалізованої ради Д 118.05.01 в Одеському електро-
технічному інституті зв'язку (270021, м. Одеса, вул. Челюскінців, 1).

З дисертацій можна ознайомитися у бібліотеці ОЕІЗ.

Доповідь розіслано "4" червня 1993 р.

Вчений секретар спеціалізованої
ради, чл. - кор. Академії зв'язку
техн. наук, доцент

**ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України**

Солоп М. О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Проблема технічної якості відтвореного зображення є однією з важливіших проблем телевізійної (ТВ) техніки. Прагнення підвищити якість зображення служить основним стимулом для розробки нових поколінь ТВ устаткування. Рішення цієї проблеми можливе лише за умови створення вірогідних методів оцінки якості зображень на всіх етапах дослідження, проектування, розробки, експлуатації та розвитку ТВ апаратури.

Розробка методів оцінювання якості ТВ зображень становить комплексну науково-технічну проблему. Розв'язання цієї проблеми пов'язане з паралельним розвитком методів математичного опису та машинного моделювання процесів передачі і відтворення кольорових зображень, з проведенням досліджень на стику телебачення, вищої метрики кольору і експериментальної психофізики, з розвитком методів і техніки телевізійних вимірювань.

Значний внесок у становлення та розвиток цих галузей науки склали роботи М. Д. Нюберга, С. Б. Гуревича, Р. С. Бикова, М. В. Антипіна, С. В. Новаковського, А. К. Кустарьова, М. М. Красильникова, Є. Л. Орловського, М. И. Кривошеєва, Б. М. Певзнера, М. К. Ігнат'єва, Л. Ф. Артюшина, О. Д. Логвиненка, О. Б. Матвеева, Є. М. Соколова, Ч. А. Ізмайлова, Д. Джада, Дж. Аллнатта, Д. Мак-Адама, Уі. Брауна, Г. Вищецького, Р. Ханта та інших.

Проведення досліджень з проблеми якості кольорових ТВ зображень передбачено дослідними програмами МКПР та державною програмою 0.26.05 "Створити і освоїти у виробництві нові технічні засоби радіомовлення, телебачення та кінематографії".

Ця дисертаційна робота є науковим працем, що узагальнює результати досліджень автора за указаними програмами.

Результати дисертаційної роботи є основою науково-обґрунтованого нормування спотворень у тракці кольорового ТВ мовлення. Вони можуть бути використані при побудові цифрових відеотрактів нових поколінь апаратури ТВ мовлення, а також при створенні вимірковальних ТВ комплексів, що базуються на використанні обчислювальних методів генерації випробувальних сигналів (ВС) і аналізу спотворень.

Мета і задачі дисертаційної роботи. Метою дисертаційної роботи є створення теорії, що узагальнює наукові дані, методи та критерії об'єктивного і суб'єктивного оцінювання якості кольорових ТВ зображень, алгоритми і результати математичного моделювання характеристик передачі та відтворення зображень у кривому тракці кольорового ТВ

мовлення і рекомендації щодо підвищення якості зображень.

Для досягнення поставленої мети розв'язані такі наукові задачі:

- розробка теоретичних основ аналізу спотворень, пов'язаних з просторово-часовою дискретизацією і фільтрацією кольорових зображень, які розглядаються як багатомірні багатокomпонентні сигнали, методів оцінювання різкості, роздільної здатності та завадозахищеності систем кольорової репродукції;

- побудова теорії відтворення зображень кольоровими кінескопами, яка дозволяє враховувати при проектуванні кольорових кінескопів, моніторів і телевізорів процеси просторово-часової дискретизації і фільтрації кольорового сигналу при відтворенні зображення і реальну залежність їх характеристик від колірних сигналів і умов фокусування;

- розробка психофізичних і колориметричних основ оцінювання правильності кольоровідтворення, що дозволяють погодити оцінку спотворень кольорових зображень з характеристиками сприйняття, і тим самим підвищити вірогідність цих методів;

- розробка наукових основ кваліметрії кольорового телебачення (ТВ), у тому числі, принципів планування суб'єктивних випробувань і аналізу одержаних експериментальних даних, проведення експериментальних досліджень з установлення залежності суб'єктивної оцінки якості зображення від основних видів спотворень у ТВ тракту, побудова математичних моделей характеристик погіршення для окремих видів спотворень і інтегральних критеріїв оцінки якості зображень при сумісному проявленні спотворень;

- розробка нових методів ТВ вимірювань і нових ВС, використання яких дозволить поширити спектр контрольованих параметрів ТВ тракту і підвищити вірогідність оцінки спотворень;

- розробка квазіідеальних моделей кольорового кодування і декодування сигналів зображення у системах кольорового ТВ з передачею колірної інформації методом модуляції колірної піднесучої, алгоритмів роботи і структур кодерів й декодерів системи SECAM, аналіз характеристик кризного ТВ тракту, у якому здійснюється послідовне кодування і декодування сигналу зображення;

- розробка пакета прикладних програм математичного моделювання спотворень у кризному тракту кольорового ТВ і дослідження з використанням цього пакета спотворень, що виникають.

Методи досліджень. У роботі використані методи теорії лінійних та нелінійних систем з дискретизацією, матрицеві методи, методи статистичної радіотехніки та математичної статистики, теорія плануван-

ня експериментальних досліджень, методи математичного моделювання, методи експериментальної психофізики, вищої метрики кольору і наукової кваліметрії, методи проведення й аналізу даних суб'єктивних випробувань з оцінювання якості ТВ зображень.

Наукова новизна

1. Запропоновано методи опису процесів передавання і відтворення кольорових ТВ зображень, які розглядаються як векторні поля у просторі геометричних та часової координат, і розроблені алгоритми кількісного оцінювання спотворень, що виникають. Запропоновані алгоритми оцінювання роздільної здатності (РЗ) системи кольоровідтворення та зашумленості кольорового зображення.

2. Визначені вагові функції (ВФ) видимості спотворень і завад на кольоровому зображенні та побудована метрика колірного простору для оцінювання його спотворень, яка втілена в новій тривимірній рівно-контрастній системі колірних координат й моделі колірного зору.

3. Запропоновані та досліджені узагальнені алгоритми аналізу сукупності різних видів лінійних спотворень (ЛС), що дозволяють реалізувати роздільне оцінювання цих спотворень при сумісному виявленні.

4. Запропоновані та досліджені нові типи випробувальних сигналів та методи вимірювань, що дозволяють значно розширити спектр параметрів, що враховуються, та підвищити точність та вірогідність оцінювання і аналізу спотворень у ТВ тракті.

5. Проведено узагальнення і розвиток методів планування і аналізу результатів суб'єктивних випробувань з оцінювання якості кольорових зображень, які розглядаються як задачі багатofакторного регресійного аналізу.

6. Встановлений зв'язок якості кольорового ТВ зображення з основними видами спотворень у тракті кольорового ТВ мовлення і запропоновані інтегральні закони підсумовування спотворень.

7. Запропоновані способи і пристрої цифрового кодування і декодування сигналу зображення у системі SECAM, що дозволяють практично виключити втрату яскравісної та кольоровісної чіткості, яка вважалася принципово властивою цій системі.

8. Створено пакет прикладних програм математичного моделювання процесів передавання і відтворення кольорових зображень, і з використанням цього пакету досліджені характеристики, що виражають виявлення основних видів спотворень у аналого-цифровому ТВ тракті.

Оцінка наукового значення і практичної цінності одержаних результатів. Для роботи характерний комплексний підхід до оцінки яко-

сті відтворення кольорових зображень у телебаченні, який об'єднує математичне моделювання, колориметричне, метрологічне й суб'єктивне оцінювання якості відтворюваних зображень.

Створені передумови для розвитку методів дослідження і проектування ТВ трактів, вимірювання і оцінювання спотворень кольорового зображення на основі представлення колірних сигналів точками сенсорного простору з використанням запропонованої метрики та ВФ. Експериментальні дані про характеристики сприйняття кольорових ТВ зображень, рівноконтрастна система колірних координат, модель колірного зору, а також математична модель оцінювання психологічної точності кольоровідтворення у телебаченні, дані, що характеризують межі дії концепції психологічної точності, можуть використовуватися для колірних розрахунків та для реалізації методів корекції кольорів стосовно до телевізійних та різних інших систем кольоровідтворення, вони можуть служити як складові частини апаратно-програмних комплексів, що призначені для колориметричних та інших вимірювань.

Теорія відтворення зображень кольоровими кінескопами, яка дає узагальнений опис спотворень кольорового зображення з урахуванням основних факторів і є основою дослідження й проектування кінцевих пристроїв ТВ тракту.

Створена основа підвищення точності й вірогідності метрологічної оцінки спотворень у наскрізному ТВ тракті та збільшення числа параметрів, що враховуються, за рахунок пропозиції нових методів вимірювань і ВС.

Створені передумови вдосконалення експериментальних процедур і методів аналізу даних суб'єктивних випробувань з оцінювання якості ТВ зображень. Експериментальні дані про роздільне і сумісне проявлення основних видів спотворень на ТВ зображенні, встановлені на підставі їх аналізу характеристики погіршення та інтегральні критерії якості є основою для стандартизації розрахункової оцінки якості зображення і для науково-обґрунтованого нормування спотворень в наскрізному тракті системи SECAM "від світла до світла".

Запропоновані алгоритми і структури систем формування композитного сигналу на передавальному боці та обробки сигналу на приймальному боці дозволяють зробити систему SECAM вільною від втрати яскравісної та кольоровісної чіткості при ефективному ослабленні завад "яскравість-кольоровість" та "кольоровість-яскравість".

Реалізація та впровадження

1. Ідеї і наукові результати, наведені у дисертації, склали основу досліджень, які проводилися під науковим керівництвом автора у

НДЛ ТВ техніки ОЕІЗ ім. О. С. Попова за темами "Рисунок", "Офорт", "Триада", "Перспектива", "Студія", "Якість", "Декодер", "Стандартизація", "Кваліметр", "Параметр", що виконувалися за програмами МККР й за загальнодержавною програмою 0.26.05 і реалізовувалися та впроваджувалися у розробках лабораторії.

2. Програмні комплекси, що входять у пакет прикладних програм математичного моделювання процесів передавання і відтворення кольорових зображень, склали систему математичного забезпечення НДЛ ТВ техніки ОЕІЗ ім. О. С. Попова, впроваджені у промислову експлуатацію у ВНДІТ й НДІТТ "Електрон" та включені у Держфонд алгоритмів і програм. Пакет програм аналізу даних суб'єктивних випробувань, який є основою досліджень з проблеми оцінювання якості ТВ зображень у НДЛ ТВ техніки ОЕІЗ ім. О. С. Попова протягом останніх двадцяти років. Результати досліджень і програмне забезпечення склали основу робіт, що проводяться НДІТТ "Електрон" у напрямку створення алгоритмів і структур принципово нових методів ТВ метрології, у тому числі ТВ кваліметрів.

3. За результатами експериментальних і теоретичних досліджень подані 11 вкладів у роботу міжнародних організацій МККР и ОІРТ з проблеми якості ТВ зображень. Подані вклади знайшли міжнародне визнання, й документи, які містяться у них, увійшли у документи МККР та ОІРТ (документи МККР 11/198-Е і 11/171-Е, звіти МККР 959, 405-4 і 313-5, документи ОІРТ ТК-III-1660 і ТК-III-1896) Експериментальні дані щодо характеристик погіршення для ряду основних параметрів тракту ТВ системи SECAM увійшли до Звіту Дослідної групи МККР 11/4, що був покладений у основу розробки Звіту 960, який згодом був перетворений у Рекомендацію 654. Пропозиція щодо уточнення методів проведення суб'єктивних випробувань увійшла до останньої версії Рекомендації МККР 500-2.

4. Автор є одним з розробників проекту ГОСТ 18471-83, у який увійшли норми на спотворення, встановлені з урахуванням результатів експериментальних досліджень з оцінювання якості кольорового зображення. Запропонований метод компенсації залишкового погіршення при обробці результатів суб'єктивних випробувань увійшов у стандарти: СТ СЗВ 4282-83 та ГОСТ 26320-36.

5. Пропозиції з методів проведення й аналізу результатів суб'єктивних випробувань, характеристики спотворення, регресійні моделі й інтегральні критерії підсумовування спотворень покладені у основу проекту державного стандарту України "Суб'єктивне оцінювання якості кольорових зображень. Методи. Характеристики погіршення. Інтегральні

критерії". Досвід, нагромаджений при проведенні досліджень, використано при розробці проектів державних стандартів України "Телебачення мовне. Терміни та визначення" і "Цифрова обробка телевізійних зображень. Терміни та визначення".

Проекти стандартів розроблені під керівництвом дисертанта та за його безпосередньою участю як автора.

6. Нові методи цифрової обробки сигналу зображення у відеотракті аналого-цифрової системи ТВ мовлення увійшли до технічного проекту апаратури ТВ мовлення IV покоління. У теперішній час розробка принципів побудови цифрових декодерів системи SECAM склала основу робіт, що їх провводить НДІТТ "Електрон" з метою побудови парку високоякісних ТВ приймачів в рамках реалізації державної програми "Український телевізор."

Експериментальні дані про амплітудну ВФ сприйняття флюктуаційної завади на ТВ екрані використані у НДІР при розробці вимірвача ІСШ-6.

7. Ідеї, розробки і результати досліджень, подані у дисертації, широко використовуються у ОЕІВ ім. О. С. Попова в учбовому процесі. Вони увійшли до курсу "Телебачення", до курсів, які містять розділи, пов'язані з цифровою обробкою сигналів, у курс "Оптика й світлотехніка" для відеоінженерів, у курс "Математичне моделювання" для аспірантів та пошукачів. На базі наукових результатів, представлених у дисертації, видані два навчальних посібника. Розроблене програмне забезпечення використовується аспірантами та пошукачами при проведенні дисертаційних досліджень, а також у курсових та дипломних роботах студентів.

8. Роботи автора знайшли докладне відображення у монографіях [Певзнер Б. М. Качество цветных телевизионных изображений. - М.: Радио и связь, 1988; Цифровое телевидение / Под ред. М. И. Кривошеева. - М.: Связь, 1980; Кривошеев М. И. Основы телевизионных измерений. - М.: Радио и связь, 1989; Новаковский С. В. Цвет в цветном телевидении. - М.: Радио и связь, 1988; Трофимов Б. Е., Куликовский О. В. Передача изображений в цифровой форме. - М.: Связь, 1980; Шерайзин С. М. Адаптивная коррекция и фильтрация ТВ сигналов. - М.: Радио и связь, 1987; Кустарев А. К. и Шендерович А. М. Искажения цветного телевизионного изображения. - М.: Связь, 1978; Гребенников О. Ф. Основы записи и воспроизведения изображения. - М.: Искусство, 1982; Allnatt D. W. Transmitted picture assessment. - Rochester, 1983], на них є посилання у багатьох інших публікаціях у галузі телебачення.

Практичне впровадження у народне господарство підтверджено актами впровадження ВНДІТ, НДІР, АО "Концерн-Електрон" та Академії зв'язку України.

Апробація. Основні результати дисертаційної роботи та їх впровадження доповідалися та обговорювалися на науково-технічних конференціях і семінарах:

- всесоюзних (Рига, 1976; Москва, 1979, 1980; Львів, 1984; Мінськ, 1988);
- Українських республіканських (Одеса, 1970, 1972, 1974, 1977);
- Білоруській республіканській (Мінськ, 1977);
- конференції у Челябінську (1979);
- конференціях ВНДІТР (Москва, 1973, 1974, 1976);
- міжгалузевих конференціях (Львів, 1990, 1991);
- конференції АО "Концерн-Електрон" (Львів, 1991, 1993);
- галузевому семінарі (Одеса, 1983);
- виставці-семінарі Українського телевізійного союзу (Київ, 1993).

Матеріали дисертації, за якими представлені вклади, пройшли міжвідомчий розгляд і узгодження, одержали міжвідомче та міжнародне визнання і увійшли в основні документи МККР та ОІРТ.

Наукова школа. Під науковим керівництвом дисертанта підготовлено 8 кандидатів технічних наук, теми дисертаційних робіт яких належали до напрямків досліджень, представлених у цій доповіді.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 205 наукових робіт, у тому числі 53 винаходи, які захищені авторськими свідцтвами та позитивними рішеннями Держкомвинаходів.

Основні положення, що їх винесено на захист:

1. Узагальнені визначення й критерії оцінювання основних видів спотворень кольорового ТВ зображення. Аналіз і оцінка різних видів спотворень у ТВ тракті.
2. Наукові дані про кольоросприйняття і метрика сенсорного простору для оцінки вірності кольоровідтворення у телебаченні.
3. Нові випробувальні сигнали й методи ТВ вимірювань.
4. Методи планування та математичної інтерпретації результатів суб'єктивних випробувань з оцінювання якості кольорових зображень. Характеристики погіршення й інтегральні критерії оцінювання якості кольорового зображення.
5. Засоби і пристрої цифрової обробки сигналу зображення у відео-тракті системи SECAM.

З М І С Т Р О Б О Т И

Т е о р е т и ч н е у з а г а л ь н е н н я о д е р ж а н и х р е з у л ь т а т і в

1. О П И С С Т Р У К Т У Р И К О Л Ь О Р О В О Г О Т В З О Б Р А Ж Е Н Н Я. К Р И Т Е Р І І Т А А Л Г О Р И Т М И О Ц І Н Ю В А Н Н Я С П О Т В О Р Е Н Ь І З В А Д

Узагальнення і розвиток у роботах автора методів оцінювання якості кольорової репродукції ґрунтується на математичному описі кольорового зображення, який розглядається як поле n -компонентного вектора кольору $\vec{s} = \vec{s}(\vec{x}, t)$, що є функцією вектора \vec{x} у n -мірному геометричному просторі і часу. Для опису кольорових випробувальних зображень можуть служити векторні узагальнені функції $\vec{A}^p(\vec{x}) = \|\alpha_{\mu} \rho_{\mu}(\vec{x})\|_{\mu=1}^m$, складені зі скалярних узагальнених функцій $\rho_{\mu}(\vec{x})$ для кожної зі складових кольору, де α_{μ} - компоненти спрямовуючого вектора $\vec{\alpha}$ у колірному просторі.

Деякі з уведених узагальнених функцій наведені у табл.1, у якій θ - вектор, складений з кутів, утворюваних вектором $\vec{\alpha}$ з осями колір-ного простору; \vec{x} - вектор, компоненти якого є кути між лінією або нормаллю до гіперплощини, яка створює колірний перехід, і осями геометричного простору; ρ - довжина вектору \vec{x} ; $\vec{E}_{\theta} = \|\cos \theta_{\mu}\|_{\mu=1}^m$ - одиничний вектор у колірному просторі.

Таблиця 1
Векторні узагальнені функції

Зображення	Функція	Нормалізована функція
Кольорова точка, що світиться	$\vec{A}^{\delta}(\vec{x}) = \vec{\alpha} \prod_{j=1}^n \delta(x_j)$	$\vec{\delta}_{\theta}(\vec{x}) = \vec{E}_{\theta} \prod_{j=1}^n \delta(x_j)$
Кольорова лінія, що світиться	$\vec{A}^{\lambda}_{\vec{x}}(\vec{x}) = \vec{\alpha} \prod_{j=1}^n \delta(x_j - \rho \cdot \cos \kappa_j)$	$\vec{\lambda}_{\vec{x}, \theta}(\vec{x}) = \vec{E}_{\theta} \prod_{j=1}^n \delta(x_j - \rho \cdot \cos \kappa_j)$
Чорно-кольоровий перехід	$\vec{A}^1_{\vec{x}}(\vec{x}) = \vec{\alpha} 1 \left(\sum_{j=1}^n x_j \cdot \cos \kappa_j \right)$	$\vec{1}_{\vec{x}, \theta}(\vec{x}) = \vec{E}_{\theta} 1 \left(\sum_{j=1}^n x_j \cdot \cos \kappa_j \right)$

Збудовано узагальнений опис лінійних і нелінійних перетворень кольорових сигналів у процесі передавання і відтворення.

Створення програмного забезпечення, що реалізує моделі типових для ТВ систем перетворень колір-ного сигналу, дозволило ввести нові

матрицеві функції, на основі яких став можливим опис різних варіантів систем кольорового ТВ.

Розвиток теорії дискретизації у роботах автора привів до побудови описів процесів дискретизації векторних кольорних сигналів. Запропоновано опис векторних дискретизуючих функцій (ДФ), у тому числі ДФ розгортки (ДФР). Приклад опису для растра у реальній (\bar{D}_R) й спектральній (\bar{D}_S) областях з горизонтальними строками для $n = 2$ має вигляд:

$$\bar{D}_R(\bar{x}, t) = \prod_{\mu=1}^m \left\{ X_{1\mu} X_{2\mu} \sum_{\bar{k}} \delta \left\{ x_1 - X_{1\mu} \left(\frac{t}{T_{1\mu}} + k_1 + k_2 \frac{z-1}{K} \right) - d_{1\mu} \right\} \times \right. \\ \left. \times \delta \left\{ x_2 - d_{2\mu} - k_1 K \frac{X_{2\mu}}{z} - k_2 \frac{X_{1\mu}}{z} \right\} \right\} \prod_{\mu=1}^m,$$

$$\bar{D}_S(\bar{v}, f) = \prod_{\mu=1}^m \left\{ \exp \left[-i \frac{\pi}{z} \sum_{j=1}^z v_j d_{j\mu} \right] \sum_{\bar{q}} \delta \left\{ v_1 + 2 \frac{z}{z} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \left(\frac{q_1}{X_{1\mu}} + \frac{q_2 K}{X_{2\mu}} \right) \right\} \delta \left\{ v_2 - 2z_a \left(\frac{q_2}{X_{2\mu}} - q_1 \frac{z-1}{K X_{1\mu}} \right) \right\} \right\} \times \\ \times \delta \left\{ f + \frac{1}{z} \left(\frac{q_2 K}{X_{2\mu}} - \frac{q_1}{X_{1\mu}} \right) \right\} \prod_{\mu=1}^m,$$

де індекс μ означає номер кольорної компоненти; $X_{j\mu}$ - віддаль між вузлами дискретизації; $T_{j\mu}$ - період розгортки; $d_{j\mu}$ - зміщення μ -ї компоненти за j -м вимірювання; z - загальне число рядків; z_a - число активних рядків; K - кратність розгортки; v_j - просторова частота (ПЧ), що пов'язана з j -м виміром; f - частота, пов'язана зі змінювання у часі t .

Виведені формули скіснокутної дискретизації векторного кольорного сигналу на суперпозиції дискретизуючих решіток. ДФ, що ґрунтується на представленні вузлів суперпозиції P дискретизуючих решіток як точок перетину січних гіперплощин, записується у вигляді:

$$\bar{D}_R(\bar{x}) = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \left\| \sum_{\bar{k}} \prod_{j=1}^n X_{j\mu} \delta \left(\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i - k_j X_{j\mu} - d_{p j \mu} \right) \right\|_{\mu=1}^m,$$

$$\bar{D}_S(\bar{v}) = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \left\| \sum_{\bar{q}} \prod_{j=1}^n \exp \left[-i \frac{2q_j z_a d_{p j \mu}}{X_{j\mu}} \right] \delta \left(\sum_{j=1}^n b_{j1} v_j - \frac{2q_1 z_a}{X_{1\mu}} \right) \right\|_{\mu=1}^m,$$

де $A = \| a_{j1} \|_{j,1=1}^n$ - матриця, складена з коефіцієнтів січних гіперплощин, b_{j1} - елемент матриці $B = A^{-1}$.

Побудований точний опис просторово-часової структури відтвореного зображення у реальній та спектральній областях. Цей опис, зокрема, покладено до основи виконаного автором аналізу спотворень зображення, відтвореного з голограми, переданої телевізійним методом.

Розподіл кольору у відтвореному зображенні, яке передане у лінійній моделі ТВ тракту, зображується як:

$$\bar{s}_3(\bar{x}, t) = \left\| X_{1\mu} X_{2\mu} g_{21\mu}(\bar{x}) \otimes \left\{ \text{rect} \left[\frac{x_1}{X_{1\mu}}, \frac{x_2}{X_{2\mu}} \right] \sum_{\bar{n}} \sum_{\bar{q}} s_{\mu} \left\{ \bar{x}, T_{1\mu} \times \right. \right. \right. \\ \times \left. \left. \left. \left[\frac{x_1}{X_{1\mu}} - q_1 + n_1 \right] \right\} \otimes \left\{ g_{\text{can } \mu} \left[T_{1\mu} \left[\frac{x_1}{X_{1\mu}} - n_1 \right] \right] \cdot D_{R2\mu}(\chi_2, \bar{n}) \right\} \times \right. \\ \left. \times D_{R2\mu}(\chi_2, \bar{q}) \cdot g_{22\mu} \left[t - T_{1\mu} \left[\frac{x_1}{X_{1\mu}} - q_1 \right] \right] \right\|_{\mu=1}^m,$$

де $g_{21\mu}(\bar{x})$, $g_{22\mu}(t)$ - співмножники μ -ї компоненти векторної просторово-часової ІХ відтворювального пристрою $\bar{s}_2(\bar{x}, t)$; $s_{\mu}(\bar{x}, t)$ - складова векторної функції

$$\bar{s}(\bar{x}, t) = \left\| X_{1\mu} X_{2\mu} s_{0\mu}(\bar{x}, t) \otimes g_{1\mu}(\bar{x}, t) \text{rect} \left[\frac{x_1}{X_{1\mu}}, \frac{x_2}{X_{2\mu}} \right] \right\|_{\mu=1}^m;$$

$g_{\text{can } \mu}(t)$, $g_{1\mu}(\bar{x}, t)$ - μ -ті компоненти векторних ІХ електричного каналу ($\bar{g}_{\text{can}}(t)$) та передавальної камери ($\bar{g}_1(\bar{x}, t)$); $\bar{s}_0(\bar{x}, t)$ - розподіл вектора кольору об'єкта; $D_{R2\mu}(\chi_2, \bar{n})$ - дискретизувача функція для μ -ї компоненти, що характеризує вертикальний рух розгортуючого елемента, що дорівнює $D_{R2\mu}(\chi_2, \bar{n}) = \delta \left[\chi_2 + n_1 X_{1\mu} T_{1\mu} / T_{2\mu} - n_2 X_{2\mu} \right]$.

Мірою задачі дискретизації може служити функціонал:

$$\psi_D = 20 \lg \left\{ \left[\int_X \int \left\| \bar{\Delta}_{\alpha}(\bar{x}, t) \right\| w(\bar{x}, t) \prod_{j=1}^R d\chi_j dt \right] / |\Delta \bar{s}_3|_{\text{ВІ-В}} \right\}.$$

де

$$\bar{\Delta}_{\alpha}(\bar{x}, t) = \left\| \left\{ \frac{1}{R-1} \sum_{r=1}^R \left[\alpha_{\mu} \left\{ \bar{s}_3(\bar{x}, t, \bar{P}_{D\mu r}) \right\} - \bar{\alpha}_{\mu}(\bar{x}, t) \right]^2 \right\}^{1/2} \right\|_{\mu=1}^m,$$

$$\bar{\alpha}(\bar{x}, t) = \left\| \bar{\alpha}_{\mu}(\bar{x}, t) \right\|_{\mu=1}^m = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \bar{\alpha} \left\{ \bar{s}_3(\bar{x}, t, \bar{P}_{D r}) \right\},$$

$\bar{\alpha} \left\{ \bar{s}_3(\cdot) \right\}$ - векторна функція розподілу кольору у зображенні; R - кількість враховуваних реалізацій; X - просторово-часова область, у якій оцінюється задача дискретизації; $w(\bar{x}, t)$ - вагова функція, що характеризує вплив розподілу кольору у зображенні на видність задачі дис-

кретизації; $|\Delta \bar{s}_3|_{B1-w}$ - варіація вектора кольору, що відповідає контрастові між білим і чорним; \bar{P}_D - вектор, який характеризує просторово-часове зміщення дискретизуючих структур у відношенні до кольорного сигналу.

Введено визначення просторової колірної ПХ та запропонований алгоритм оцінки її параметрів. Використовується вхідний сигнал $\bar{s}_0(\bar{\chi}) = \bar{s}_0^1 + \|\bar{s}_0^2 - \bar{s}_0^1\| \times \times A_{\bar{x}, \bar{\theta}}^1(\bar{\chi} - \bar{\chi}_0)$, що приймає значення \bar{s}_0^1 з одного боку і \bar{s}_0^2 з другого боку гіперплощини, яка проходить через точку $\bar{\chi}_0 = \|\chi_j^0\|_{j=1}^n$, нормаль до якої описується рівняннями:

$$\frac{\chi_1 - \chi_1^0}{\cos \alpha_1} = \frac{\chi_2 - \chi_2^0}{\cos \alpha_2} = \dots = \frac{\chi_n - \chi_n^0}{\cos \alpha_n}$$

ПХ визначається як реакція на цей сигнал:

$$\bar{s}_3(\bar{\chi}) = \bar{s}_3^1 + \text{diag}(\bar{s}_3^2 - \bar{s}_3^1) \bar{h}_{\bar{x}}(\bar{\chi} - \bar{\chi}_0) = \bar{s}_3^1 + \|\bar{s}_3^2 - \bar{s}_3^1\| \bar{h}_{\bar{x}, \bar{\theta}}(\bar{\chi} - \bar{\chi}_0),$$

де \bar{s}_3^1, \bar{s}_3^2 - значення вектора кольору зображення, що відповідають \bar{s}_0^1, \bar{s}_0^2 ;

$\bar{h}_{\bar{x}}, \bar{h}_{\bar{x}, \bar{\theta}}$ - перехідні функції, які дорівнюють $\bar{h}_{\bar{x}}(\bar{\chi}) = \|\bar{h}_{\bar{x}, \mu}(\bar{\chi})\|_{\mu=1}^m$,

$$\bar{h}_{\bar{x}, \bar{\theta}}(\bar{\chi}) = \text{diag}(\bar{E}_{\bar{\theta}}) \bar{h}_{\bar{x}, \bar{\theta}}(\bar{\chi}) = \|\|\cos \theta_{\mu}\| \bar{h}_{\bar{x}, \bar{\theta}, \mu}(\bar{\chi})\|_{\mu=1}^m$$

Тут $\|\bar{s}_0^2 - \bar{s}_0^1\|$ й $\|\bar{s}_3^2 - \bar{s}_3^1\|$ - норма вектора у просторах об'єкта й зображення, що характеризує колірний контраст початкового та відтвореного переходу.

Співтворення колірних переходів визначаються відповідно до алгоритмів оцінювання колірних окантовок та зони розмитості. Мірси окантовок слугають величини $e_{S_j}^1$ та $e_{S_j}^2$, що дорівнюють

$$e_{S_j}^1 = \max \left\{ \|\bar{s}_3(\bar{\chi}) - \bar{s}_3^1\|; \bar{\chi} < \bar{\chi}_{\zeta}^1 \right\}; \quad j \in \overline{1, J_1},$$

$$e_{S_j}^2 = \max \left\{ \|\bar{s}_3(\bar{\chi}) - \bar{s}_3^2\|; \bar{\chi} > \bar{\chi}_{\zeta}^2 \right\}; \quad j \in \overline{1, J_2},$$

де $\bar{\chi}_{\zeta}^1, \bar{\chi}_{\zeta}^2$ - значення векторного аргументу, що їх приймають за межі зони розмитості переходу; J_1, J_2 - кількість окантовок, що враховується з обох боків переходу; знаками "<" та ">" визначені умови, загальні для компонент векторів.

Зона розмитості знаходиться як $\Delta_{\zeta} = \|\chi_{\zeta}^2 - \chi_{\zeta}^1\|$, де χ_{ζ}^1 і χ_{ζ}^2 визначаються порівнянням:

$$\sum_{\mu=1}^m \left[s_{3\mu}(\bar{x}_\zeta^k) - s_{3\mu}^k \right]^2 = \zeta^2 \sum_{\mu=1}^m \left[s_{3\mu}^2 - s_{3\mu}^1 \right]^2; \quad k = \overline{1,2}.$$

Додатковий параметр:

$$\Delta h_{\bar{x}, \bar{\theta}}(\bar{x}_0) = 1 - \left\| \bar{h}_{\bar{x}, \bar{\theta}}(\bar{x}) - \bar{E}_{\bar{\theta}} \right\| - \left\| \bar{h}_{\bar{x}, \bar{\theta}}(\bar{x}) \right\|.$$

Для практичного аналізу спотворень кольорового переходу вводиться "скалярне" визначення просторової колірної ПК:

$$h_{\bar{x}, \bar{\theta}}(\bar{x}) = \begin{cases} \left\| \bar{h}_{\bar{x}, \bar{\theta}}(\bar{x}) \right\| & (\bar{x} < \bar{x}_0), \\ 1 - \left\| \bar{h}_{\bar{x}, \bar{\theta}}(\bar{x}) - \bar{E}_{\bar{\theta}} \right\| & (\bar{x} > \bar{x}_0), \end{cases}$$

де $\bar{x}_0 = (\bar{x}_\zeta^1 + \bar{x}_\zeta^2) / 2$.

Аналогічним чином уводиться визначення просторових точкової та лінійної колірних імпульсних характеристик (ІХ).

Побудовано узагальнений опис і аналіз ПК системи кольорового ТВ, і дана оцінка впливу основних факторів на різкість кольорового зображення.

Одержані аналітичні співвідношення, що характеризують проявлення продовжень, що тягнуться (ПТ), на ТВ екрані.

Запропоноване визначення роздільної здатності, побудоване для випадку відтворення об'єкта у вигляді кольорової синусоїдальної решітки:

$$\bar{s}_0(\bar{x}, \nu) = \bar{s}_{00} + \Delta \bar{s}_0 \sin \left[\pi \frac{\nu}{Z_a} \sum_{i=1}^n x_i \cos \kappa_i \right].$$

Пропонується визначення контрасту зображення кольорової решітки, яке ґрунтується на представленні розподілу кольору масивом, що охоплює один період зміни кольору:

$$\left\{ \bar{s}_3 \right\} = \left\{ \bar{s}_{3j\mu}(\nu); \quad \mu \in \overline{1, m}; \quad j \in \overline{1, j_m(\nu)} \right\},$$

де $j_m(\nu) = 2Z_a / (\nu \cdot \Delta x)$; Δx - крок відліку координати x , вибраної так, що у періоді вкладається ціле число кроків, при цьому $x = \sum_{i=1}^n x_i \cos \kappa_i$.

Алгоритм обчислення просторової ЧКХ (ПЧКХ) відповідає формулі:

$$\rho(\nu) = \sup_{j, k \in \overline{1, j_m(\nu)}} \left\{ \sum_{\mu=1}^m \left[s_{3j\mu}(\nu) - s_{3k\mu}(\nu) \right]^2 \right\}^{1/2}.$$

Мірою роздільної здатності служить частота $\nu_{\Pi \bar{x}, \bar{\theta}}$, яка знахо-

дяться з умови: $\rho \left[v_{\Pi} \frac{\sigma}{\bar{x}, \bar{\theta}} \right] = \rho_{\Pi}$, де ρ_{Π} - пороговий контраст, який відповідає відтворенню решітки на грані виявлення.

Вироблено загальний підхід до оцінювання зашумленості кольорового зображення, що відноситься до випадку довільного m -компонентного кольорового сигналу \bar{s}_0 , якому відповідає векторний відеосигнал $\bar{u}_c(\bar{x})$ з накладеною на нього завадою $\bar{u}_m(\bar{x})$, компоненти якої не корельовані між собою. Завада характеризується m -мірною функцією розподілу

$$w_m(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m) = \prod_{\mu=1}^m w_1(\xi_{\mu}).$$

Для випадку, коли завада у системі перетворюється лінійно, й вектор завади на зображенні залежить від матриці перетворення $Q(\bar{s}_0) = \|q_{j\mu}(\bar{s}_0)\|_{j,\mu=1}^m$, встановлено закон розподілу модуля вектора завади на зображенні. Цей закон визначається формулою:

$$w_{1\Pi}^M(\rho) = \frac{|\det R(\bar{s}_0)|}{2} \rho^{m-1} \int_{\substack{0 \\ m-1 \text{ раз}}} \dots \int_0^{2\pi} \sqrt{1 - \sum_{\mu=1}^m \cos^2 \alpha_{\mu}} \cdot w_1 \left(\rho \sum_{j=1}^m \gamma_{j\mu}(\bar{s}_0) \times \right. \\ \left. \times \sqrt{1 - \sum_{\mu=1}^m \cos^2 \alpha_{\mu}} \right) \prod_{\mu=1}^{m-1} w_1 \left(\rho \sum_{j=1}^m \gamma_{j\mu}(\bar{s}_0) \cos \alpha_{\mu} \right) \sin 2\alpha_{\mu} \prod_{\mu=1}^{m-1} d\alpha_{\mu},$$

де $\gamma_{j\mu}(\bar{s}_0)$ - елементи матриці $R(\bar{s}_0) = \|r_{j\mu}(\bar{s}_0)\|_{j,\mu=1}^m = Q^{-1}(\bar{s}_0)$.

Про зашумленість векторного кольорового сигналу запропоновано судити за критерієм $\Pi = \ln(1/P)$, прийнятим раніш у теорії зв'язку і у чорно-білому телебаченні (критерій М.М. Красильникова). Ймовірність P виявлення завади, що входить сюди, визначається за формулою:

$$P = \int_{\rho}^{\infty} \int_{\mathcal{R}} w_{1\Pi}^M(\rho) w_{\text{Виз}}(\rho/\mathcal{R}) d\rho d\mathcal{R},$$

де $w_{\text{Виз}}(\rho/\mathcal{R})$ - вагова функція, що дорівнює умовній ймовірності виявлення завади при умові, що поріг виявлення дорівнює \mathcal{R} .

2. ТЕОРІЯ ВІДТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ КОЛЬОРОВИМИ КІНЕСКОПАМИ

Побудовано математичний опис структури кольорового зображення з урахуванням дискретизації і фільтрації, принципово властиві сучасним методам електронного відтворення, які покладені у основу реалізації кольорових кінескопів.

Зображення, що відтворюється на екрані кольорового кінескопа

будь-якого типу, може бути визначено як векторна функція координат площини зображення, яка описується виразом:

- у реальній області:

$$\bar{S}_3(x_1, x_2) = p_1 p_2 \sum_k \sum_l \sum_m \left\| s_{0\mu}(x_1, x_2) \otimes g_\mu(x_1, x_2 - m) \times \right. \\ \left. \times f_{R_0} \left[x_1 - x_{10\mu} - kp_1, x_2 - x_{20\mu} - (k-2l)p_2 \right] \right\|_{\mu=1}^3,$$

- у спектральній області:

$$\bar{S}_3(v_1, v_2) = 3 z_a^3 \sum_k \sum_l \left[\left\| \exp \left\{ -i\pi \left[\frac{kx_{10\mu}}{p_1} + \frac{l x_{20\mu}}{p_2} \right] \right\} \right\|_{\mu=1}^3 \times \right. \\ \left. \times \left[f_{S_0} \left[\frac{z_a}{p_1} [2k-1], \frac{l z_a}{p_2} \right] \bar{G} \left[v_2 - \frac{z_a}{p_1} [2k-1], v_2 - l \frac{z_a}{p_2} \right] \right] \times \right. \\ \left. \times \sum_m \bar{S}_0 \left\{ v_1 - \frac{z_a}{p_1} [2k-1], v_2 - z_a \left[\frac{l}{p_2} - 2m \right] \right\} \right],$$

де $\bar{g}(x_1, x_2)$, $\bar{G}(v_1, v_2)$ - просторові векторні ІХ і частотно-контрастна характеристика (ЧКХ) для R, G, B - каналів; p_1, p_2 - кроки дискретизації у горизонтальному та вертикальному напрямках; $x_{10\mu}, x_{20\mu}$ - зміщення вузлів решітки, що характеризують рознесення у просторі кольорових ламінофорних елементів; $f_{R_0}(x_1, x_2)$, $f_{S_0}(v_1, v_2)$ - функції отворів маски в реальній і спектральній областях.

Проведені експериментальні дослідження характеристик кольорових кінескопів з використанням раніш створених вимірювачів, у результаті яких показано, що просторові ЧКХ (ПЧКХ) и ПХ (ППХ) залежать від рівнів компонент вхідного сигналу $\bar{S}_0(x_1, x_2)$ і від умов фокусування променів для R, G, B- компонент. Уведене поняття диференціальної ПЧКХ, що характеризує частотні властивості кінескопа для кожної з R, G, B - компонент з урахуванням їх залежності від вхідного сигналу.

У результаті проведення експериментальних досліджень і аналізу одержаних даних встановлено, що типова ЧКХ має коливальну форму. Її побудована модель ПЧКХ кінескопа, яка виражається формулою:

$$G(v) = \begin{cases} G_F(v), & \text{якщо } v > v_0, \\ G_F(v) + G_S(v), & \text{якщо } v < v_0, \end{cases}$$

де $G_F(v)$, $G_S(v)$ - монотонна та коливальна складові, що виражаються формулами:

$$G_F(v) = 1 / \left\{ 1 + [v/v_1]^{\alpha_1} + [v/v_2]^{\alpha_2} \right\},$$

$$G_S(v) = \beta \operatorname{sinc} [\pi v / v_0] \exp \left[- [v/v_S]^2 \right];$$

$\nu = \sqrt{\nu_1^2 + \nu_2^2}$; ν_0 - частота першого нуля коливальної складової ПЧКХ; β - коефіцієнт, від якого залежать рівні екстремумів коливальної частини ПЧКХ; ν_s - параметр, що характеризує швидкість зміни гаусової складової, пов'язаної з розмиттям розгортуючого променя на межах.

Запропонована також апроксимація просторових ЧКХ і ІХ, що ґрунтується на їх розкладенні у ряд за гауссовими функціями.

Одержана формула для визначення яскравісної компоненти муарової завади на виході моделі кольорового кінескопа при відтворенні експоненціальної випробувальної таблиці з просторовими частотами ν_1, ν_2 і модулями $\Delta a_{0\mu}$ R, G, B-компонент:

$$A_{\text{МУ}}(\nu_1, \nu_2) = 5,66 z_a^3 \sum_{\mu=1}^3 \Delta a_{0\mu} \left\{ \sum_r \sum_{k_r} \sum_{l_r} \sum_{m_r} \exp \left\{ -i\pi \left[\frac{k_r x_{10\mu}}{p_1} + \frac{l_r x_{20\mu}}{p_2} \right] \right\} \times \right. \\ \times f_{S_0} \left\{ \frac{z_a (2k_r - l_r)}{p_1}, \frac{l_r z_a}{p_2} \right\} G_{\mu} \left[\nu_1, \nu_2 + 2m_r z_a \right] \times \\ \times V \left\{ \nu_1 + \frac{z_a (2k_r - l_r)}{p_1}, \nu_2 + \frac{z_a (l_r + 2m_r)}{p_2} \right\} \left. \right\}^{1/2}, \\ A_r = \begin{cases} 2k_r - l_r = p_r, \\ l_r/p_r - 2m_r = q_r, \\ k_r \neq 0, \text{ или } l_r \neq 0, \text{ или } m_r \neq 0, \end{cases}$$

де $V(\nu_1, \nu_2)$ - ПЧКХ сприйняття (ПЧКХС).

Виконані розрахунки, дані яких характеризують чіткість відтворюваного зображення у двох вимірах з урахуванням її залежності від яскравості, кольоровості і контрасту решітки і виявлення муарової завади для Δ -кінескопа, планарного та індексного кінескопів.

3. ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНІ І КОЛОРИМЕТРИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ КОЛЬОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Проведені експериментальні і теоретичні дослідження, у результаті яких встановлені характеристики кольоросприйняття, що повинні враховуватися при розв'язуванні задач оцінювання якості кольорових зображень.

Знайдено закон, що виражає залежність диференціального яскравісного порогового контрасту від середньої яскравості і середньої кольоровості полей порівняння в умовах спостереження кольорового ТВ зображення, близьких до умов суб'єктивної оцінки якості цього зобра-

ження, визначених МККР. Цей закон визначається формулою

$$W_n = \delta \left[1 + \frac{1}{L} \sum_{i=0}^2 A_i \cdot (u - u_0)^{2(2-i)} \cdot (v - v_0)^{2i} \right],$$

де $\delta = 0,0257$; $A_0 = -49,5$; $A_1 = 2649$; $A_2 = 90,47$; u, v - координати кольоровості Мак-Адама (МКО-60); u_0, v_0 - координати опорного білого (D_{65}); L виражається у кд/м^2 .

Встановлено закон, що виражає вплив координат кольоровості зображення на зв'язок яскравості і світлоти.

Одержана модель яскравісної просторової функції контрастної чутливості (ПФКЧ) зорового аналізатора (ЗА), яка може служити частотною ваговою функцією видності яскравісних спотворень і завад на ТВ зображенні.

ПФКЧ залежить від середньої яскравості \bar{L} , контрасту R (що дорівнює $R = 20 \lg(\Delta L / \bar{L})$, де ΔL - амплітуда зміни яскравості у решітці), кута нахилу φ напрямку зміни яскравості відносно горизонтального напрямку, кутового розміру θ решітки у цьому напрямі і формату кадру $\zeta = l/h$ (де l та h - ширина та висота кадру). Модель ПФКЧ, побудована з урахуванням цих залежностей, виражається формулою:

$$\alpha_L(\nu_1, \nu_2) = A H_0(\nu_1, \nu_2) \left[H_0(\nu_1, \nu_2) - k H_1(\nu_1, \nu_2) \right],$$

де A - параметр, що характеризує контрастну чутливість ЗА, який дорівнює:

$$A = \begin{cases} \frac{10^{R/20}}{H_0(\nu_*, 0) [H_0(\nu_*, 0) - k H_1(\nu_*, 0)]}, & \text{якщо } R \in [0, R_n], \\ A_* \zeta_L^{p_L + p_{L\theta}(\zeta_\theta - 1)} \zeta_\theta^{p_\theta + p_{\theta L}(\zeta_L - 1)}, & \text{якщо } R \geq R_n; \end{cases}$$

$H_0(\nu_1, \nu_2)$ - функція передавання модуляції (ФПМ) оптичної системи ЗА, рівна

$$H_0(\nu_1, \nu_2) = \left[1 + (\nu_1^2 + \nu_2^2) / \nu_0^2 \right]^{-1};$$

$H_0(\nu_1, \nu_2), H_1(\nu_1, \nu_2)$ - ФПМ каналів збудження і гальмування зорового нейрона, що дорівнюють

$$H_{\sigma,i}(\nu_1, \nu_2) = \exp \left[-(\nu_1^2 + \nu_2^2) / (\chi_{\sigma,i}^2 \nu_{\sigma,i}^2) \right];$$

R - пороговий контраст, рівний

$$R_n = 10 \frac{A H_0(\nu_*, 0) [H_0(\nu_*, 0) - k]_{R=0} H_1(\nu_*, 0)}{20};$$

ν_0 - частота опорної вертикальної решітки, у порівнянні з контрастом якої визначається візуально еквівалентний контраст довільної решітки; ζ_L, ζ_θ - відносна яскравість і відносний кутовий розмір, що до-

рівнюють $\xi_L = \bar{L} [\text{кд/м}^2] / 34,26$; $\xi_\theta = \theta [\text{град}] / 12,73$; \bar{L} , θ - середня яскравість і кутовий розмір решітки; k - коефіцієнт, що характеризує відміну результуючої ПФМ від одиниці при $\nu_1 = \nu_2 = 0$, що дорівнює

$$k = \begin{cases} k_0 + k_1 (\xi_R - 1) & \text{при } R \in [0, R_n], \\ k_0 & \text{при } R \geq R_n; \end{cases}$$

ξ_R - відносний контраст, рівний $\xi_R = R / R_n$; $\chi_{\varphi_i, e}$ - множники, які характеризують анізотропію ПФКЧ у області НЧ та ВЧ, що дорівнюють

$$\chi_{\varphi_1} = \frac{1}{\sqrt{\xi^2 + 1}} \sec(\varphi - \arctg \xi); \quad \chi_{\varphi e} = 0,83 + 0,17 \cos(4 \arctg \varphi);$$

ν_0 - параметр ПФМ оптичної частини ЗА, рівний $\nu_0 = 42$ кол/град;

ν - параметри каналів збудження і гальмування, рівні

$$\nu_{e,i} = \nu_{e,i} \cdot \xi_L^{q_{Le,i} + q_{L\theta e,i}} (\xi_\theta^{-1}) \cdot \xi_\theta^{q_{\theta e,i} + q_{\theta Le,i}} (\xi_L^{-1}) \times \\ \times \xi_R^{q_{Re,i} + q_{RLe,i}} (\xi_L^{-1}) + q_{R\theta e,i} (\xi_\theta^{-1})$$

Значення параметрів, які входять сюди, визначені методом регресійного аналізу експериментальних даних. Ці значення наведені у табл. 2.

Параметри яскравісної частотної вагової функції

Таблиця 2

A_*	q_{Li}	$q_{L\theta i}$	q_{Le}	$q_{L\theta e}$	P_L	$P_{L\theta}$	k
ν_{i*}	$q_{\theta i}$	$q_{\theta Li}$	$q_{\theta e}$	$q_{\theta Le}$	P_θ	$P_{\theta L}$	k_1
ν_{e*}	q_{Ri}	q_{RLi}	q_{Re}	q_{RLe}	$q_{R\theta e}$	P_θ	$P_{\theta L}$
734	0,227	-0,290	0,088	0,175	0,036	-0,345	0,876
1,6	-0,720	0,161	0,019	0,0007	-0,107	0,089	0,446
11,8	1,512	0,716	0,713	-0,375	0,212	0,096	

Експериментально встановлено, що середній колір решітки слабо впливає на яскравісну ПФКЧ. Показано, що властивості ПФКЧ залежать від співвідношення між середньою яскравістю решітки і яскравістю адаптувального фону.

Проведені розрахунки, результати яких показують, що лінійна модель ЗА, яка використовується для оцінювання яскравісної чіткості ТВ зображення, дуже наближена. Зміна ПФКЧ зі змінюю L, R, θ і φ повинна враховуватися при побудові алгоритмів оцінки чіткості, і це буде сприяти підвищенню вірогідності оцінки одночасно з її ускладненням, пов'язаним з багатовимірністю одержуваних даних. Урахування цих закономірностей при побудові алгоритмів цифрової обробки відеосигналу поряд з закономірностями, властивими процесові відтворення зображень кольоровими кінескопами, дозволить добитися більш повної корекції

спотворень, що виникають.

Встановлена модель кольоровісної ПФКЧ ЗА, яка може служити частотном ВФ видності кольорових спотворень і завод. Модель визначається формулою:

$$\alpha_{C\theta}(\nu_1, \nu_2) = \left[\frac{\cos^2 \theta}{\alpha_{RG}^2(\nu_1, \nu_2)} + \frac{\sin^2 \theta}{\alpha_{BY}^2(\nu_1, \nu_2)} \right]^{-1/2}$$

де θ - кут, що характеризує напрям на колірній діаграмі, у якуму змінюється кольоровість синусоїдальної колірної решітки; $\alpha_{RG}(\nu_1, \nu_2)$, $\alpha_{BY}(\nu_1, \nu_2)$ - ФПМ для червоно-зеленого й жовто-синього напрямів, рівні:

$$\alpha_{RG}(\nu_1, \nu_2) = \exp \left[- \frac{\nu_1^2 + \nu_2^2}{\nu_{RG}^2} \right], \quad \alpha_{BY}(\nu_1, \nu_2) = \exp \left[- \frac{\nu_1^2 + \nu_2^2}{\nu_{BY}^2} \right]$$

$\nu_{RG} = 7,4$ кол/град, $\nu_{BY} = 3,7$ кол/град.

Досліджено ВФ видності флюктуаційної завади (ФЗ) на полях різної яскравості і кольоровості. Вивчалася видність яскравішого проявлення ФЗ, що характеризується відношенням $\psi_{\square} = 20 \lg(1/\sigma_{\square})$, де σ_{\square} - відносна величина ефективного значення ФЗ з рівномірним спектром, зосередженим у смузі частот 0...6 Мгц, яка відтворювалася накладеною на поля білого (W), червоного (R), зеленого (G), синього (B), жовтого (RG), блакитного (GB) і пурпурного (RB) кольорів.

Порогові значення ψ_{\square} для ряду значень відносної яскравості зображення наведені в табл.3. Ці дані свідчать про доцільність використання амплітудного зважування при вимірванні відношення сигнал/шум у телебаченні.

Таблиця 3

Порогові значення ψ_{\square}

Y	Колір						
	W	R	G	B	RG	GB	RB
0,04	52	40	47	33	49	46	41
0,06	46	39	43	33	47	45	41
0,10	41	34	39	31	42	40	36
0,20	34	29	31	25	35	32	30
0,50	27	23	25	18	28	26	23
0,90	25	22	24	18	26	25	23

Запропонована система рівноконтрастних колірних координат для оцінювання спотворень кольоровідтворення у телебаченні. Система сумісна з рекомендованою МКО у 1976 р. системою Вишньцького і відрізняється від неї використанням координат ξ, η геодезичної діаграми кольоровостей Мак-Адама і світлотної функції, пропорціональної реакції фотопічного апарата зору. Координати світлоти (L^*) і кольоровості

(ξ^* , η^*) цієї системи розраховуються за формулами:

$$L^* = 100 \frac{AN_1 - N_2}{A_w N_1 - N_2}, \quad \xi^* = \frac{K_L}{83} (\xi - \xi_w), \quad \eta^* = \frac{K_L}{83} (\eta - \eta_w),$$

де $A = A_a + S_a$; $A_a = 3,05 f_p(Y)$; $S_a = f_S(Y)$; $Y = L/L_w$;

$$f_p(Y) = 40 [1 + 2 Y_*^{-0,73}]^{-1} + 1;$$

$$f_S(Y) = 30,5 [(1 + 0,033 Y_*^{-1}) (1 + 0,16 Y_*^{-0,86})] + 0,61;$$

$$K_L = 100 (A_a - 1) / (A_a |_{Y=0,3} - 1); \quad Y_* = F_L Y;$$

$$F_L = 100 [1 + 10^5 L_w^{-1}]^{-1/3} + 0,001;$$

$$N_1 = A_w^{0,5} [5,33 N_b^{0,13}]^{-1}; \quad N_2 = A_w^{1,9} N_b^{0,362};$$

L , L_w - яскравості кольору, що оцінюється, й опорного білого; ξ_w , η_w - геодезичні координати кольоровості опорного білого; N_b - коефіцієнт, що характеризує співвідношення адаптації на колір, що оцінюється, і на навколишній фон (для ТВ зображення $N_b = 30$, для звичайних сцен $N_b = 100$).

Запропонована математична модель сприйняття кольорів, яка може служити для оцінки різних видів спотворень.

Розподіл кольору у зображенні характеризується полем вектора $\vec{s}(\vec{\chi}) = \|L(\vec{\chi}), x(\vec{\chi}), y(\vec{\chi})\|^T$, який перетворюється у ЗА за алгоритмом, який складається з таких етапів.

A. Розмиття в моделі оптичної системи ЗА: $\vec{s}(\vec{\chi}) = \vec{\tilde{s}}(\vec{\chi}) \otimes g_o(\vec{\chi})$, де $g_o(\vec{\chi})$ - просторова ІХ з круговою симетрією.

B. Формування ахроматичних сигналів $\vec{A}_a(\vec{\chi})$ й $\vec{S}_a(\vec{\chi})$ та сигналів кольоровості для червоно-зеленого ($\xi^*(\vec{\chi})$) і жовто-синього ($\eta^*(\vec{\chi})$) напрямків на колірній діаграмі.

C. Формування повного ахроматичного сигналу:

$$\vec{A}^*(\vec{\chi}) = \vec{A}_a(\vec{\chi}) + \vec{S}_a(\vec{\chi}) + cM(\vec{\chi}), \quad \text{де } M(\vec{\chi}) = \sqrt{(\xi^*(\vec{\chi}))^2 + (\eta^*(\vec{\chi}))^2} - \text{сигнал інтенсивності кольору, } c - \text{константа.}$$

D. Розмиття ахроматичного сигналу в моделі зорового нейрона:

$$A^*(\vec{\chi}) = \vec{A}^*(\vec{\chi}) \otimes g_A^p(\vec{\chi}), \quad \text{де } g_A^p(\vec{\chi}) - \text{ПІХ, залежна від вектора параметрів } \vec{p} = \|L, R, \theta, \varphi\|^T, \quad k, \nu_{10} - \text{параметри ФПМ моделей збудування та гальмування.}$$

E. Розмиття сигналу кольоровості в моделі зорового нейрона:

$$\xi^*(\vec{\chi}) = \xi^*(\vec{\chi}) \otimes g_{RG}(\vec{\chi}), \quad \eta^*(\vec{\chi}) = \eta^*(\vec{\chi}) \otimes g_{BY}(\vec{\chi}), \quad \text{де } g_{RG}(\vec{\chi}), g_{BY}(\vec{\chi}) - \text{ПІХ для сигналів червоно-зелених і синьо-}$$

жовтих колірних сигналів, яким властива кругова симетрія.

F. Формування сигналів світлоти $Q^*(\bar{x}) = N_1 A^*(\bar{x}) - N_2$, колірно-го тону $H^*(\bar{x}) = \operatorname{arctg} [\eta^*(\bar{x}) / \xi^*(\bar{x})]$ й інтенсивності кольору $P^*(\bar{x}) = \sqrt{(\xi^*(\bar{x}))^2 + (\eta^*(\bar{x}))^2}$.

G. Формування сигналів кутових координат сферичної поверхні:

$$\theta_L(\bar{x}) = \alpha_L Q^*(\bar{x}) + \beta; \quad \theta_\xi(\bar{x}) = \alpha_\xi \xi^*(\bar{x}); \quad \theta_\eta(\bar{x}) = \alpha_\eta \eta^*(\bar{x}),$$

де $\alpha_L = 0,008$; $\alpha_\xi = 0,00634$; $\beta = 0,767$.

Модель перетворює розподіл кольору $\bar{S}(\bar{x})$ у зображенні в розподіл декартових $[Q^*(\bar{x}), \xi^*(\bar{x}), \eta^*(\bar{x})]$ або полярних $[Q^*(\bar{x}), H^*(\bar{x}), P^*(\bar{x})]$ координат сенсорного евклідового простору, який вважається рівноконтрастним, і в розподіл кутових координат точок кольорів $[\theta_L(\bar{x}), \theta_\xi(\bar{x}), \theta_\eta(\bar{x})]$ на поверхні 5-вимірної сфери одиничного радіусу, і ґрунтується на використанні рівноконтрастної колірної системи L^* , ξ^* , η^* й моделей, що характеризують частотні властивості кольорового зору. У ній також реалізована сферична концепція колірного зору, розвинена у роботах Є. М. Соколова та Ч. А. Ізмайлова. Константи, що входять до моделі визначені шляхом аналізу й узагальнення експериментальних даних й обрані так, що оцінки спотворень і завада на кольоровому зображенні виражаються числом одиниць МКО. Таким чином, створена основа для представлення й оцінювання завад і спотворень, узгоджених з їх зоровим сприйняттям.

Запропоновано визначення середньої похибки ТВ відтворення кольорів щодо психологічно точного відтворення кольорів.

Критерієм похибки відтворення кольорів служить вектор

$$\bar{P} = \|\Delta E_w, k_L, k_P, \bar{\Delta E}\|^T,$$

де ΔE_w - показник зсуву кольоровості опорного білого, що дорівнює:

$$\Delta E_w = \sqrt{(\xi_{w0}^* - \xi_{wo}^*)^2 + (\eta_{w0}^* - \eta_{wo}^*)^2},$$

k_L, k_P - показники середньої зміни світлоти і інтенсивності барви кольору, дорівнюють відповідно:

$$k_L = \sum_{k=1}^N L_{\text{зк}}^* / L_{\text{ок}}^*, \quad k_P = \sum_{k=1}^N P_{\text{зк}}^* / P_{\text{ок}}^*.$$

$\bar{\Delta E}$ - показник, що характеризує зміну співвідношення між кольорами, рівний:

$$\bar{\Delta E} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left\{ [I_{\text{зк}}^* - k_L L_{\text{ок}}^*]^2 + \left[\frac{H_{\text{зк}}^* + H_{\text{ок}}^*}{2} (P_{\text{зк}}^* - k_P P_{\text{ок}}^*) \right]^2 \right\} +$$

$$+ \left[\frac{P_{Эк}^* + P_{Ок}^*}{2} \left[H_{Эк}^* - H_{Ок}^* \right]^2 \right]^{1/2}.$$

$\xi_{\omega_3}, \eta_{\omega_3}$ - рівноконтрастні координати опорного білого, використаного при розрахунку кольорів відтвореного зображення; $\xi_{\omega_0}, \eta_{\omega_0}$ - рівноконтрастні координати опорного білого, використаного при розрахунку кольорів об'єкту; N - число кольорів, що враховуються.

Методом математичного моделювання на ЕОМ дана оцінка впливу різних факторів на психологічну точність відтворення кольорів і зіставлення цієї оцінки з оцінкою фізіологічної точності, що використовується у теперішній час.

4. МЕТОДИ ОБ'ЄКТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ СПОТВОРЕНЬ У ТВ ТРАКТИ ТА ВИПРОБУВАЛЬНІ СИГНАЛИ

Розроблені й досліджені алгоритми аналізу лінійних спотворень у ТВ тракті за ПХ і ІХ, засновані на використанні регресійного аналізу у сукупності з евристичним методом.

Алгоритм аналізу ПХ припускає кусково-лінійну апроксимацію перекошених горизонтальних ділянок ВС, визначення за ними параметрів перекошу, виключення складової перекошу зі спотвореного ВС, визначення за сигналом $u(t)$, одержаним після виключення перекошу, положення центру переходу, тривалості фронту, координат і значень екстремумів. У ході подальшого аналізу визначаються параметри ехо-сигналів та затягування фронту. Цей аналіз виконується за алгоритмом:

$$\bar{Q} = \arg \inf \int \left[u(t) \otimes \omega(t) - h(t) \right]^2 dt,$$

де $h(t) = \left[1 + \sum_{p=1}^{n_e} \epsilon_p \tilde{y}(t - t_0 - \tau_p) \right] / \left[1 + \sum_{p=1}^{n_e} \epsilon_p \right]$.
 n_e - число врахованих ехо-сигналів; ϵ_p, τ_p - відносні значення і зсуви ехо-сигналів; $\omega(t)$ - згладжувача функція, що використовується для ослаблення коливальної складової; $\tilde{y}(t)$ - функція, що використовується для плавної апроксимації складової затягування, яка дорівнює:

$$\tilde{y}(t) = 1(t) + z_{\pm}(t),$$

$z_{\pm}(t)$ - складова, що характеризує затягування фронту "праворуч" (+) та "ліворуч" (-) від переходу, яка дорівнює

$$z_{\pm}(t) = \sum_{l=0}^{n_{e\pm}} c_{l\pm} t^l.$$

$n_{e\pm}$ - порядок поліному, що описує затягування; $c_{l\pm}$ - коефіцієнти розкладу моделі затягування, t_0 - координата центру переходу, $Q =$

$= \|\bar{\varepsilon}, \bar{\tau}, \bar{c}_+, \bar{c}_-\|$; $\bar{\varepsilon} = \|\varepsilon_p\|_1^n$; $\bar{\tau} = \|\tau_p\|_1^n$; $\bar{c}_\pm = \|c_{1\pm}\|_1^{n_{c\pm}}$; T - інтервал аналізу за виключенням ділянок $t_0 + \tau_p \pm 2t'_\phi$; $p \in \overline{1, n_c}$; t'_ϕ - тривалість фронту, вимірена за сигналом $u(t) \otimes \omega(t)$.

Аналіз IX виконується за аналогічним алгоритмом.

Пропонуються методи реалізації окремих етапів аналізу характеристик за огинавочою цифрового сигналу. Одержані оцінки похибки, що дозволяють визначити параметри алгоритмів, виходячи з суперечливих вимог аналізу й обсягу обчислень.

Побудований узагальнений опис поля допуску на IX ТВ тракту, що її вимірюють за косинус-квадратичним 2T-імпульсом В1. Уведено поширене визначення нормуючого параметра - К-фактора, і розроблено алгоритм машинної оцінки К-фактора.

Поле допуску характеризується параметрами α_M і α_T , що визначають межі зміни максимального значення і тривалості центральної частини IX, а також координатами $\pm \alpha_{pj}$, $\theta_j T$, $j \in \overline{0, n}$ верхньої та нижньої меж периферійної частини, що їх описують кусково-лінійною функцією.

К-фактор розраховується за алгоритмом:

$$K = \max \{ K_M, K_T, K_{pj}, j \in \overline{0, n} \},$$

$$K_M = |1 - B_1| / (\alpha_M B_1), \quad K_T = (1 / \alpha_T) [\Delta t_{0,5} / (2T) - 1],$$

$$K_{p0} = \max_{|t| \in \bar{z}_0} \left\{ \max_{s(t) > 0} |Y(t)|, \max_{s(t) < 0} |Z(t)| \right\},$$

якщо $|t| \in \bar{z}_0$, то

$$Y(t) = \begin{cases} 1/2 + \frac{s(t) - 1/2}{\alpha_{p0}} \frac{\theta_0 - 1 - \alpha_T K'}{t/T - 1 - \alpha_T K'} & \text{при } K_{p0} < K' < \min \left\{ \frac{1}{2\alpha_{p0}}, \frac{1}{\alpha_T} [\theta_0/2 - 1] \right\}, \\ P(t) + \sqrt{P^2(t) - Q(t)} & \text{при } K' < K_{p0} < \min \left\{ \frac{1}{2\alpha_{p0}}, \frac{1}{\alpha_T} [\theta_0/2 - 1] \right\}, \end{cases}$$

$$Z(t) = s(t) / \alpha_{p0}, \quad P(t) = 1/2 \left[\frac{s(t)}{\alpha_{p0}} + \frac{t/T - 1}{\alpha_T} \right],$$

$$Q(t) = s(t)(\theta_0 - 1) - 1/2(\theta_0 - t/T), \quad K' = \max \{ K_M, K_T, K_{pj}, j \in \overline{1, n} \},$$

якщо $|t| \in \bar{z}_j$, $j \in \overline{1, n-1}$, то

$$K_{PJ} = \max_{|t| \in \bar{z}_j} \frac{|S(t)|}{\alpha_{P,J-1} + [\alpha_{P,J} - \alpha_{P,J-1}] \frac{t/T - \theta_{j-1}}{\theta_j - \theta_{j-1}}}$$

якщо $|t| \in \bar{z}_n$, то $K_{Pn} = \max_{|t| \in \bar{z}_n} |S(t)|$.

Розроблений метод побудови полів допусків на ПХ, АЧХ і ЧХГЧЗ ТВ тракту для заданого К-фактора. Поле допуску будується як огинавча мінімальних полів допусків, що охоплюють характеристики тракту з АЧХ, яка відповідає ідеальному ФНЧ, що спотворюється за допомогою випереджувачого та затриманого ехо-сигналі.

Виведені розрахункові формули для полів допусків на АЧХ і ЧХГЧЗ. Розраховані поля допусків на ПХ, АЧХ і ЧХГЧЗ для значень К-фактора, які змінюються у широких межах.

Запропоновані компенсаційні методи підвищення точності оцінки ПС за 2Т-імпульсом. Методи дозволяють компенсувати похибку, пов'язану зі спотвореннями 2Т-імпульсу ідеальним ТВ трактом з частотою зрізу, рівною $f_H = 1/(2T)$.

За першим методом запропоновано ввести зміну у визначення К-фактора, зв'язавши це визначення з модифікацією меж поля допуску, значення ординат яких змінюються так, щоб у тракті з ідеальним обмеженням смуги частот викиди, що виникають, не розглядалися як спотворення.

За другим методом запропоновано змінити відповідним чином алгоритм оцінки спотворень, включивши до нього віднімання з сигналу, що аналізується, різниці неспотвореного сигналу і сигналу, спектр якого ідеально обмежений за смугою частот.

Використання цих методів дозволяє повністю компенсувати малі величини спотворень. Реалізований варіант першого методу дозволив добитися чотириразового зменшення похибки.

Запропоновано і досліджено метод оцінювання ПС за зваженою ІХ. Метод припускає використання як ВС імпульсу $\text{sinc } \theta$, де $\theta = (t - t_0)/T$ - узагальнена координата, яка відраховується від центру ВС. У процесі оцінювання спотворень ІХ множить на ВС $W(\theta) = |\theta|$, і про спотворення судять за зваженою ІХ $S(\theta) = |g(\theta) \cdot w(\theta)|$.

У разі відсутності спотворень огинавча екстремумів має вигляд горизонтальної лінії $\sigma_S(\theta) = 1/\pi$. У випадку, коли мають місце спотворення, рівень зважених екстремумів буде відрізнятися від $1/\pi$. Уведений параметр, який характеризує цю відміну - R-фактор. З визначенням R-фактору пов'язане завдання простого поля допуску на огинавчу

зв'язаних екстремумів, межа якого описується формулою $s = 1/\pi \pm R$. Проведено якісний і кількісний аналіз методу з використанням математичного моделювання на ЕОМ. Використання методу дозволяє спростити оцінювання ЛС і здійснювати аналіз спотворень з більшою чутливістю до їх величини у порівнянні з відомими методами.

Запропоновано метод "чотирьох фаз" оцінювання спотворень за ВС, які містять радіоімпульсну компоненту.

Відповідно до цього методу використовуються періодичні ВС:

$$x(t) = A(t) + B(t) \sin(\omega_0 t + n_{\text{mod } 4} \pi/2),$$

де $A(t)$ - опорна (яскравісна) складова; $B(t)$ - амплітудна огинаюча радіоімпульсної (кольоровісної) компоненти; ω_0 - частота радіочастотного заповнення радіоімпульсної складової; n - номер періоду. Розділення складових n -ї реалізації сигналу здійснюється за алгоритмом:

$$A^*(t) = \sum_{k=0}^3 x_{n+k}^*(t),$$

$$B^*(t) = 1/2 \sqrt{[x_n^*(t) - x_{n+2}^*(t)]^2 + [x_{n+1}^*(t) - x_{n+3}^*(t)]^2},$$

$$\phi^*(t) = \arctg \frac{x_{n+1}^*(t) - x_{n+3}^*(t)}{x_n^*(t) - x_{n+2}^*(t)},$$

де $x_n^*(t)$ - спотворений сигнал на виході ТВ тракту; $A^*(t)$, $B^*(t)$ - відтворені функції $A(t)$ і $B(t)$; $\phi^*(t)$ - фазова огинаюча. За сигналами $A^*(t)$, $B^*(t)$, $\phi^*(t)$ здійснюється аналіз спотворень.

Метод "чотирьох фаз" дозволяє уникнути спотворень ВС, що виникають за рахунок неминучого використання фільтрації та детектування, властивих традиційним методам.

Дана оцінка завадостійкості методів вимірювання спотворень на основі використання методу "чотирьох фаз" і показано, що завадостійкість цього методу не гірша завадостійкості традиційних методів. Подальший розвиток цих методів привів до методів M фаз, де M - ціле число, кратне 4.

Проведено дослідження впливу нелінійності ТВ тракту на результати оцінювання ЛС за ПХ і ІХ.

Проведені дослідження, спрямовані на розвиток методів аналізу спотворень кольорового зображення за світлом. Реалізована схема вимірвача, яка має R, G, B - канали, що дозволяє сканувати розподіл кольору на екрані кольорового кінескопа. Запропонована і реалізована двоканальна обробка електричного сигналу у вимірвачі, яка полягає у роздільному піковому детектуванні імпульсів парних і непарних полів з подальшим підсумовуванням одержаних сигналів, що дозволяє ослабити

спотворення, пов'язані з черезрядковістю розгортки зображення, що його аналізують. Запропонований метод сканування зображення, відповідно до якого на лінійне переміщення зображення накладається синусоїдна вобуляція, й синхронно з цим рухом зображення здійснюється синусоїдний рух щілинної діафрагми. Використання цього закону сканування разом з відповідною обробкою дозволяє виключити заваду, що пов'язана з дискретністю структури екрана досліджуваного кінескопа. Встановлено, що до числа основних джерел похибки у виміривачі спотворень за світлом відноситься властива ФЕМ вельми низькочастотна завада у вигляді східчастої зміни коефіцієнта світлоелектричного перетворення. Для компенсації цієї завади пропонується увести імпульсну АРП з використанням імпульсного джерела світлового сигналу, що подається на вхід ФЕМ послідовно зі світловим сигналом, який аналізується. Пропонується метод вимірювання за світлом характеристик наскрізного ТВ тракту у вертикальному напрямі, відповідно до якого горизонтальні штрихи й мелі замінюються на майже горизонтальні, і сканування їх здійснюється направленою паралельно їм щілинною діафрагмою, яка переміщується у будь-якому напрямі. Цим ослаблюються або повністю виключаються стробоскопічні явища, які пов'язані з рядковою структурою зображення, що її аналізують.

Проведені експериментальні дослідження просторових ЧКХ і ПХ кольорових моніторів. Встановлено, що зона розмиття ПХ кольорового монітора для стандарту розгортки 625 рядків складає у середньому, у темному 1,5 ЕЗ, у сірому 2 ЕЗ, у білому 3-ЕЗ.

Запропонований метод тест-кадру і 2 засоби його реалізації. Метод складається у заміні, наприклад, 1 раз на секунду, сигналу сюжетного зображення на сигнал контрольного кадру чи поля, який використовується на приймальному боці для аналізу спотворень у ТВ тракті. Це дозволяє зробити можливим контроль під час передавання НЧ спотворень, ЛС у двох вимірах тощо.

Запропоновані узагальнені випробувальні сигнали (УВС) для оцінювання ЛС у ТВ тракті:

$$- \text{за ІХ: } G(t) = \cos^2 \frac{\pi}{2} \frac{t}{mT} \operatorname{sinc} \pi \frac{m-2}{m} \frac{t}{T},$$

$$- \text{за ІХ: } H(t) = 1/2 + \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^3 \operatorname{Si} \frac{\pi}{2} \frac{m-k}{m} \frac{t}{T},$$

де T - інтервал Найквіста, що дорівнює $T = 1 / (2f_H)$; f_H - верхня гранична частота смуги пропускання ТВ тракту, m - параметр, що визначає форму УВС. Методом математичного моделювання на ЕОМ виконано

аналіз метрологічних властивостей сигналів $G(t)$ і $H(t)$. Показано, що ІХ, вимірювана за УВС $G(t)$, близька до вимірюваної за sinc -імпульсом. Показано, що заміна $2T$ -імпульса на УВС $G(t)$, відповідний $m = 16$, дозволяє підвищити чутливість до ЛС біля верхньої межі смуги пропускання ТВ тракту у 3...5 разів.

Запропонована оптимізована форма УВС $G(t)$, у якому косинус-квадратична функція вікна замінена на функцію вікна Кайзера:

$$g(t) = \frac{I_0 \left[\alpha \sqrt{1 - (t/mT)^2} \right]}{I_0(\alpha)} \sin^2 \left[\pi \frac{\mu-2}{\mu} t/T \right],$$

де $\mu = 2\pi \sqrt{1 + (\alpha/\pi)^2}$; I_0 - функція Бесселя першого роду нульового порядку; α - параметр функції вікна. Одержані розрахункові дані, котрі можуть бути використані для оптимального вибору значень параметрів m і α .

Проведені дослідження, мета яких - пошук ВС, що забезпечують зменшення похибки вимірювань у ТВ тракці без принципової зміни методів вимірювань і критеріїв спотворень. Запропонована узагальнена формула для оптимізованого аналога $2T$ -імпульсу:

$$q(t, \alpha, \beta, \zeta) = [\zeta q_R(t, \alpha) + (1-\zeta) q_S(t, \alpha)] \otimes \text{sinc } \pi t/T,$$

де

$$q_R(t, \alpha) = I_0 \left[\alpha \sqrt{1 - \frac{\pi^2}{\pi^2 + \alpha^2} \left[\frac{t}{T} \right]^2} \right] / I_0(\alpha),$$

$$q_S(t, \alpha) = \frac{\alpha}{\text{sh } \alpha} \text{sinc} \left[\alpha \sqrt{[\pi t/\alpha T]^2 - 1} \right],$$

ζ - параметр, що характеризує співвідношення внесків функції вікна Кайзера і функції, форма якої відповідає фур'є-образові функції вікна Кайзера. При $\zeta = 0,5$ форма сигналу $q(t, \alpha, \zeta)$ збігається з формою його фур'є-образу, що створить основу використання відомих методів аналізу спотворень, які ґрунтуються на цій властивості ВС.

Задача пошуку оптимальної моделі $2T$ -імпульсу формується у вигляді:

$$\epsilon^2(\alpha, \beta, \zeta) = \epsilon_1^2(\alpha, \beta, \zeta) + \epsilon_2^2(\alpha, \beta, \zeta) \rightarrow \min,$$

де $\epsilon_1 = a |_{f=f_H/2} - 1/2$; $\epsilon_2 = K$; $a |_{f=f_H/2}$ - відносний рівень спектральної щільності при $f = f_H/2$; K - K -фактор. Розв'язок цієї задачі приводить до моделей mT -імпульсу й mT -фронту, що виражаються формулами:

$$A \left[t/\tau \right] = \begin{cases} \alpha_0 \text{sh } x & (|t| \leq \beta_0 \tau), \\ \alpha_0 \text{sinc } x & (\beta_0 \tau \leq |t| \leq \beta_1 \tau), \\ 0 & (|t| \geq \beta_1 \tau). \end{cases}$$

$$B \left(t/\tau \right) = \begin{cases} 1/2 + 0,162 \int_0^{t/\tau} A \left(t/\tau \right) dt & (|t| \leq \beta_1 \tau), \\ 1(t) & (|t| \geq \beta_1 \tau), \end{cases}$$

де $\alpha_0 = 0,0403$, $\beta_0 = 0,896588 \tau$, $\beta_1 = 1,026585$, $\text{shc } x = (\text{sh } x)/x$,

$x = 5,63347 \sqrt{|1,244 (t/\tau) - 1|}$, $\tau = \text{мТ}$.

На основі цих моделей синтезований повний набір ВС для використання у ТВ вимірюваннях. Впровадження цих сигналів у практику ТВ метрології дозволить суттєво підвищити точність ТВ вимірювань. Наприклад, заміна $2T$ -імпульсу його моделлю $A \{t/(2T)\}$ дозволить повністю виключити спотворення вершини імпульсу та вдвічі зменшити K -фактор при вимірюванні ІХ ідеального ТВ тракту з частотою срізу $f_H = 1/(2T)$.

Запропоновані алгоритми і структури нового класу вимірювальних ТВ комплексів - ТВ кваліметрів - систем, призначених для метрологічної оцінки якості передачі сигналів зображення, яка виражається суб'єктивними одиницями на основі даних суб'єктивних випробувань зі встановлення зв'язку якості зображення з параметрами ТВ тракту. Пропонується створити базу знань, в котрій повинні накопичуватися результати суб'єктивних випробувань і алгоритми аналізу.

5. СТАТИСТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЯКОСТІ КОЛЬОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ З ПАРАМЕТРАМИ ТВ ТРАКТУ

Виконаний в роботах автора розвиток методів проведення і аналізу даних суб'єктивних випробувань став основою побудови моделей суб'єктивного оцінювання якості ТВ зображень і побудови апаратно-програмних ТВ кваліметричних комплексів.

На підставі узагальнення й аналізу наукових даних визначені деталі експериментальної процедури. Обґрунтовано метод одного стимулу з непрямою фіксацією оцінок біля меж шкали. Запропоновано використовувати 5-бальну шкалу, доповнену оцінками, що відраховуються через 0,5 бала.

Вивчено вплив на суб'єктивне оцінювання якості вибраної шкали, діапазону варіацій спотворень і середньої глобальної оцінки. Показано, що запропонована й запроваджена у практику суб'єктивного оцінювання експериментальна процедура дає стійку модель оцінки якості.

Задача планування і аналізу даних суб'єктивних випробувань розглядається як задача однофакторного або багатфакторного регресійного аналізу. Пропонуються алгоритми ортогонального планування суб'єктивних статистичних експериментів з урахуванням ТВ специфіки й алгоритми основних етапів аналізу даних.

Розроблений і програмно реалізований алгоритм впорядкування й аналізу рандомізованих експериментальних даних з урахуванням реальної специфіки організації й проведення експериментальних досліджень з оцінювання якості ТВ зображень. Як перший етап аналізу експериментальних даних пропонується визначати в експериментальних точках середню зважену оцінку з використанням вікна Тьюкі як віконної функції для відкидання невірних оцінок.

Побудовані й досліджені моделі закону розподілу оцінок, зокрема, модифіковані біноміальні моделі 1-го й 2-го типів, які характеризуються континуальним порядком, і алгоритми математичної інтерпретації закону розподілу оцінок якості зображення. Розглянута біноміальна модель дискретного порядку й досліджений зв'язок її параметра з середньою нормалізованою оцінкою.

Запропонована математична модель характеристики погіршення для окремих видів спотворень, більш загальна відносно моделі, рекомендованої МККР:

$$Q = GX + G_* \cdot \left[f \left(\frac{X - X_0}{S} \right) + f(X_0) \right],$$

де $Q = 20 \lg I$; I - погіршення, зв'язане з оцінками якості співвідношеннями: $I = (5 - U) / (U - 1)$, $U = (5 + I) / (1 + I)$; U - оцінка п'ятибальної шкали; G - коефіцієнт нахилу лінійної складової у подвійному логарифмічному масштабі; $X = D_M - D$; $D = 20 \lg(1/d)$ - логарифмічна міра спотворення; d - відносна величина спотворення; $D_M = 20 \lg(1/d_M)$; d_M - відносна величина спотворень у центрі шкали; G_* - відносна вага нелінійної складової; $f(\xi) = 2\xi / \sqrt{\pi} - \Phi(\xi)$;

$\Phi(\xi) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\xi e^{-u^2} du$; $X_0 = D_M - D_0$; S - параметр, що характеризує швидкість зміни нелінійної складової зі зміною X ; D_0 - параметр, що характеризує асиметрію характеристики погіршення відносно центру шкали. В окремому випадку, коли $G_* = 0$, модель характеристики погіршення відповідає рекомендованій МККР: $I = (d / d_M)^G$, $d = d_M \cdot I^{1/G}$.

Розроблені алгоритми визначення параметрів характеристики погіршення для середньої оцінки якості і для квантилів інтегрального закону розподілу ймовірностей того, що оцінка якості зображення не нижча рівнів якості P_* , які відповідають значенням кумулятивної ймовірності F_* .

Запропоновані інтегральні закони підсумовування погіршень. Запропонована інтерпретація інтегрального закону як суми погіршень з вагами, пропорційними їх внеску у результуюче погіршення: $I_\Sigma =$

$= \sum_{k=1}^n \frac{I_k}{I_{\Sigma}} I_k$, що відповідає закону квадратичного підсумовування по-

гіршень $I_{\Sigma} = \left[\sum_{k=1}^n I_k^2 \right]^{1/2}$, де I_k - погіршення, пов'язане з k -м видом спотворень; I_{Σ} - сумарне погіршення; n - число враховуваних видів спотворень. Запропоновано інтегральний закон, за яким здійснюється векторне підсумовування погіршень з показником ступеня, який залежить від результуючого погіршення. Цей закон є більш загальним і може розглядатися як регресійна модель для інтерпретації даних суб'єктивних випробувань, одержаних при сумісній дії різномірних спотворень. Закон визначається системою рівнянь:

$$\begin{cases} I_{\Sigma} = \left[\sum_{k=1}^n I_k^{\nu} \right]^{1/\nu} \\ \nu = \frac{\nu_0 + c I_{\Sigma}^{\omega}}{1 + c I_{\Sigma}} \end{cases}$$

де ν_0 , ν_{∞} , c - параметри, які визначаються у процесі апроксимації експериментальних даних.

Проведено узагальнення і аналіз різних підходів до інтегрального оцінювання якості кольорових ТВ зображень і запропоновано використати як інтегральні закони регресійні моделі, у яких враховується попарний взаємний вплив проявлення погіршень:

$$\ln u_{\Sigma} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \left[1 + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \alpha_{ij} J_j \right] \ln u_i,$$

$$I_{\Sigma} = \left[\alpha_0 + \sum_{i=1}^n \left[1 + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n \alpha_{ij} I_j^{\nu} \right] I_i^{\nu} \right]^{1/\nu},$$

де u_{Σ} - результуюча нормалізована оцінка; u_i - нормалізована оцінка, що відноситься до i -го виду спотворень; α_0 - параметр, який характеризує залишкове погіршення; α_{ij} - коефіцієнти, які характеризують внесок взаємних впливів пар погіршень; ν - показник закону підсумовування.

Запропоновані алгоритми компенсації крайових ефектів - залишкового погіршення й залишкового поліпшення, які дозволяють здійснювати компенсацію, на відміну від відомих методів, не вносячи похибки в оцінки, близькі до центру шкали.

Запропоновано у процесі побудови характеристик погіршення й інтегральних законів підсумовування погіршень для квантилів інтеграль-

ного розподілу оцінок якості використовувати компенсацію крайових ефектів безпосередньо у законі розподілу й запропоновано алгоритм компенсації.

Досліджений зв'язок якості кольорового зображення з градієнтом напівтонів. Встановлено, що цей зв'язок мало відрізняється для різних сюжетних зображень. Характеристика погіршення для градієнта напівтонів (γ) описується моделлю, що визначається параметрами:

$$d = \left| \frac{\gamma - \gamma_{\text{опт}}}{\gamma_{\text{опт}}} \right|; \quad d_M = 1,12; \quad G = 2; \quad \gamma_{\text{опт}} = 1,2.$$

Запропоновані критерії оцінювання якості кольорового зображення у двох вимірах: середня за напрямками на ТВ екрані відносна візуальна різкість \bar{q} і відносна роздільна здатність (РЗ) \bar{p} , а також середній відносний рівень відтворення двовимірних спектральних компонент V . Для цих критеріїв встановлена характеристика погіршення, що визначається формулою: $20 \lg I = G [D_{M\zeta} - D_{\zeta}]$, де $D_{\zeta} = 20 \lg |\ln \zeta|$, параметри якої приймають значення:

ζ	$D_{M\zeta}$, дБ	G_{ζ}
\bar{q}	-5,60	2,5
\bar{p}	-1,65	4,3
V	-1,74	2,4

Проведені дослідження, у результаті яких встановлено оптимальний ступінь оконтурювання ТВ зображення. Показано, що максимальний ефект від оконтурювання досягається при рівній чіткості зображення у горизонтальному та вертикальному напрямках. Встановлено, що максимальна суб'єктивна якість зображення досягається при відносній величині окантовок на яскравісних переходах у горизонтальному і вертикальному напрямках у лінійній моделі ТВ тракту, яка дорівнює 33%. Встановлено закон зникнення якості зображення при відхиленні величини окантовок від оптимальної.

Встановлені параметри характеристики погіршення для середньоарифметичної похибки відтворення кольорів: $d_M = 60$ [од.МКО]; $d = 4,6 \Delta E$ [од.МКО]; $G = 3,3$; ΔE - середня за абсолютною величиною відстань між точками кольорів об'єкта і зображення у просторі рівноконтрастних кольорних координат Вищещього.

Досліджено зв'язок суб'єктивної оцінки якості кольорового зображення з яскравісним контрастом (K_Y) і відносною кольорною насиченістю (a_p). Цей зв'язок описується характеристиками погіршення:

- для контрасту: $I = \left[\frac{K_0 - K_Y}{K_0 - d_M} \frac{d_M}{K_Y} \right]^{G/\gamma_K}$, де $G = 1,28$; $d_M = 21,3$; $K_0 = 100$;
 $\gamma_K = 2,8$;

- для насиченості: $I = \left[\frac{|1 - a_p|}{d_M} \right]^G$, де, якщо $a_p < 1$: $G = 1,28$; $d_M = 0,48$;
якщо $a_p > 1$: $G = 1,95$; $d_M = 1,20$.

Проведені дослідження, у результаті яких встановлений зв'язок якості кольорового зображення з основними видами спотворень у електричному тракту системи SECAM.

Досліджений зв'язок якості кольорового зображення з ЛС у каналах яскравості й кольоровості в області малих часів. Встановлена залежність суб'єктивної оцінки якості зображення від відносної величини (E) й затримки (Δt) ехо-сигналу, від величини викиду (ϵ) та тривалості фронту ПХ (t_{Φ}). При побудові цих залежностей використовувалась проста модель, що виражає зв'язок ϵ й t_{Φ} з E й Δt . Модифікований метод оцінювання ЛС за К-фактором 2Т-імпульсу (K_L) у каналі яскравості, і цей метод поширено на оцінювання ЛС за К-фактором 8Т-імпульсу (K_C) у каналі кольоровості. Характеристика погіршення для ехо-сигналу в каналах сигналу яскравості і кольоровісних сигналів визначається формулою:

$$I = \left[d / d_M(\Delta t) \right]^{G(\Delta t)}$$

де $d_M(\Delta t) = 10^{D_M(\Delta t)/20}$; $G(\Delta t) = 10^{S(\Delta t)/20}$;

$$S(\Delta t) = S_0 - \frac{A_{S1} + A_{S2}}{2} \left[\frac{\sigma_s}{\sqrt{\pi}} e^{-(x/\sigma_s)^2} + x \right] + \frac{A_{S2} - A_{S1}}{2} \Phi(x/\sigma_s),$$

$$D_M(\Delta t) = D_{M0} - \frac{A_{D_{M1}} + A_{D_{M2}}}{2} \left[\frac{\sigma_{D_M}}{\sqrt{\pi}} e^{-(x/\sigma_{D_M})^2} + x \right] + \frac{A_{D_{M2}} - A_{D_{M1}}}{2} \Phi(x/\sigma_{D_M}),$$

S_0 , D_{M0} - значення S і D_M при $\Delta t = 1$ мкс; A_{S1} , $A_{D_{M1}}$ ($i = 1, 2$) - параметри, що характеризують швидкість зміни S і D_M зі змінюю x при $\Delta t \rightarrow 0$ ($i = 1$) й $\Delta t \rightarrow \infty$ ($i = 2$); σ_s , σ_{D_M} - параметри, що характеризують зону переходу між ділянками залежностей $S(\Delta t)$ й $D_M(\Delta t)$ з різними нахилами при $\Delta t < 1$ мкс та $\Delta t > 1$ мкс, $x = 20 \lg \Delta t$. Значення параметрів моделі характеристики погіршення наведені у табл. 4. За допомогою побудованої моделі проведені розрахунки, покладені в основу досліджень проявлення ехо-сигналів, на підставі яких, зокрема, opracьовані науково-обґрунтовані форми полів допусків на ІХ каналів яскравості і кольоровості й відповідні визначення К-фактора K_L і K_C . Визначені значення параметрів G й d_M характеристик погіршення для параметрів ПХ каналів яскравості й кольоровості, представлені у табл. 5.

Досліджений зв'язок якості кольорового зображення з продовжен-

Значення параметрів характеристики погіршення для ехо-сигналів

Параметри	Область значень Δt	Канал Y		Канал R-Y		Канал B-Y	
		$d < 0$	$d > 0$	$d < 0$	$d > 0$	$d < 0$	$d > 0$
S_0 , дБ		6,70	4,80	3,40	-0,35	-0,18	-0,92
D_M , дБ		15,50	16,50	18,90	23,50	17,80	34,50
A_{S1}	$\Delta t < 1$ мкс	-10	-4,50	-17,50	0	-1,10	-0,11
A_{S2}	$\Delta t > 1$ мкс	0	0	0	-0,16	7,70	0
A_{D_M1}	$\Delta t < 1$ мкс	-17,20	-20	-9,50	-26	-12,20	-52
A_{D_M2}	$\Delta t > 1$ мкс	0	0	0	0	0	0
σ_S		0	0	0	100	4,80	89
σ_{D_M}		0,98	0,60	2,60	2,70	1,60	2,70

Таблиця 5

Значення параметрів характеристики погіршення для параметрів ПХ каналів яскравості і кольоровості

Параметри характеристики погіршення	Параметри ПХ			
	Канал яскравості		Канал кольоровості	
	t_{ϕ} , нс	ϵ , %	t_{ϕ} , нс	ϵ , %
G	4	1,95	2,68	1,96
d_M	245	72	970	54

ними, що тягнуться (ПТ). Визначені порогові значення ПТ для випадку відтворення зображень прямокутних кольорових вікон для різних сполучень яскравості й кольору вікон та яскравості нейтрального сірого фону. Встановлена характеристика погіршення для ПТ на рухомих і нерухомих кольорових зображеннях для половини перекосу Δ_H вершини імпульсу ВЗ. Вона визначається параметрами:

- для сюжетних зображень: $d_M = 23\%$, $G = 0,91$;

- для титрів: $d_M = 10,5\%$, $G = 1,08$.

Досліджено зв'язок якості кольорового зображення з розуміенням компонентних сигналів. Експерименти провадилися для випадків відтворення рухомих і нерухомих кольорових зображень для неоконтурного та оконтуреного кольорового зображення з варіюваним ступенем оконтурювання. Визначені параметри характеристики погіршення:

- для розуміення кольоророзділених R,G,B-компонент:

$$d_M = 3 \text{ ЕЗ}, G = 2,2;$$

- для розбігу у часі (РЧ) сигналів яскравості й кольоровості:

$$d_M = 400 \text{ нс}, \quad G = 2,32.$$

Показано, що характеристика погіршення мало залежить від ступеня оконтурвання кольорового зображення.

Встановлений зв'язок якості кольорових зображень з нелінійними спотвореннями (НЛС) характеристики передавання й диффузією (ДФ) ТВ тракту. Експерименти провадилися з чорно-білими й кольоровими зображеннями. Параметри характеристик погіршення дорівнюють:

- для ДФ: $d_M = 65^\circ$, $G = 2,5$; для НЛС: $d_M = 53 \%$, $G = 2,0$.

Визначені значення параметрів характеристики погіршення для флюктуаційного шуму: $D_M = 37 \text{ дБ}$, $G = 2,0$. Ці параметри належать до співвідношення сигнал/шум, визначеного для зваженого ефективного значення шуму з рівномірним спектром у смузі частот 0...6 МГц.

Проведені також дослідження виявлення завади квантування завади, пов'язаної з дискретизацією відеосигналу при цифровому кодуванні. Наведені параметри характеристик погіршення можна розглядати як підсумкові, що встановлені у результаті узагальнення, аналізу й зіставлення даних власних досліджень та досліджень, що їх було проведено у різних країнах в умовах варіювання шкали оцінок, експериментальної процедури, складу зображення і спостерігачів, а також підходу експериментаторів та спостерігачів до інтерпретації експериментальних даних.

Досліджена стабільність характеристик погіршення для окремих видів спотворень за умов, коли досліджуваний вид спотворень оцінювався групою спостерігачів при її адаптації на погіршення зображення, пов'язане з проявленням цього виду спотворень в сполученні з іншими видами спотворень. Проведені дослідження з вивчення інтегральних законів підсумовування погіршень при спільній дії від 2 до 8 різних видів спотворень. Встановлено, що закон підсумовування залежить від підходу до інтегральної оцінки.

Якщо при визначенні характеристик погіршення для окремих видів спотворень використовувати набори зображень, підібрані за критичністю до кожного з видів спотворень, то при спільному прояві різномірних спотворень ці набори перекриваються тільки частково, і за цих умов справедливий закон підсумовування, близький до квадратичного закону підсумовування погіршень при малих значеннях спотворень; при цьому зі збільшенням спотворень показник закону підсумовування зменшується і характеризується значеннями: $v_0 = 2,62$; $v_{00} = 0,47$; $c = 0,77$. Якщо використовувати зображення, рівномірно чутливі до усіх видів

спотворень, закон підсумовування виявляється більш складним. В урахуванні того, що, з одного боку, критичність зображення до окремих видів спотворень різна, а, з другого боку, величини спотворень у багатоланковому ТВ тракті розподілені за випадковим законом, запропоновано як компромісний використовувати квадратичний закон підсумовування спотворень.

Проведені розрахунки результуючої якості зображення у системі SECAM, які забезпечуються чинним нормуванням.

6. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАКТІВ ТВ МОВЛЕННЯ І ПРОПОЗИЦІЮ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТВ ЗОБРАЖЕННЯ

Розроблено програмне забезпечення, що є основою досліджень характеристик систем електронного відтворення.

До складу програмного забезпечення входять засоби математичного моделювання ТВ систем і пристроїв, а також перетворень колірної сигналу на системотехнічному рівні, у тому числі: програми спектральних перетворень скалярних і векторних сигналів; програми математичного моделювання лінійних систем; програми моделювання безінерційних нелінійних перетворень сигналу; програми генерації масивів відліків ЕС і випробувальних зображень; програми аналізу спотворень; програми колориметричних розрахунків; моделі каналів з АМ та ЧМ; моделі кольорових камер і кінескопів тощо. За допомогою розробленого програмного забезпечення у сполученні з використанням аналітичних методів проведені дослідження ряду найважливіших видів спотворень, що виникають у наскрізному тракті ТВ мовлення і окремих його елементах.

Проведений порівняльний аналіз ПХ трактів сумісних систем кольорового ТВ "від світла до світла". Дана оцінка сумісного впливу апертурних спотворень передавальної та приймальної трубок, перехідних процесів у електричному тракті, неточного суміщення кольоророзділених компонент, відтворюваних з різною чіткістю, на різкість кольорового зображення. Встановлений кількісний зв'язок запропонованих критеріїв чіткості ТВ зображення у двох вимірюваннях з величиною апертурних спотворень.

Дана оцінка спотворень ТВ зображення у відеотрактах телевізорів при використанні сучасних методів розділення сигналів яскравості і кольоровості при декодуванні. Оцінені спотворення кольорів, що виникають внаслідок варіювання параметра "гамма" у каналах кольоророзділених зображень. Визначені зсуви колірностей у всіх точках кольорового простору при різних комбінаціях цього параметра у каналах R, G, B.

Проведені розрахунки з визначення набору кольорів для оптимального колірної офарблення напівтонової шкали, які мають важливе значення для побудови прикладних систем.

Проведений аналіз прохлення ПТ на кольоровому зображенні, з урахуванням нелінійності перетворень колірної сигналу в ТВ системі і амплітудної вагової функції видимості завад.

Побудована теорія, що описує НПС у системах з передспотворенням і обмеженням сигналів, на основі якої дано кількісний аналіз виявлення спотворень, типових для каналу кольоровості системи SECAM.

Проведений кількісний аналіз виявлення завади квантування у системі кольорового ТВ, яка оцінюється колірним контрастом між полями, колір яких визначався сусідніми квантованими значеннями компонент колірної сигналу.

Дана розрахункова оцінка спотворень у електричному тракті ТВ системи за випробувальними сигналами з урахуванням алгоритмічної похибки, що її вносять при аналізі.

Проведені розрахунки й аналіз виявлення завади просторової дискретизації кольорового зображення при відтворенні різними типами кольорових кінескопів.

Дана оцінка спотворень ТВ сигналів, що виникають при спільній дії дискретизації й квантування для різних варіантів інтерполяції при відтворенні аналогового сигналу.

Проведені дослідження з аналізу й синтезу фільтрів для відеотрактів аналого-цифрової системи кольорового ТВ.

Запропоновані алгоритми і структури процесорів для формування сигналу системи SECAM, використання яких дозволить модифікувати стандарт цієї системи, забезпечивши його сумісність з чинним. Перетворення стандарту на систему SECAM дозволить виключити розмиття колірних переходів, зменшити втрату яскравісної чіткості, мінімізувати спотворення, що виникають за рахунок дискретизації при цифровій реалізації, підвищити ефективність подолання завади "кольоровість-яскравість".

Запропоновані адаптивні алгоритми декодування сигналу системи SECAM і структури відеопроцесорів, що реалізують ці алгоритми, використання яких дозволяє виключити втрату чіткості кольорового зображення при декодуванні і при цьому забезпечити ефективне розділення сигналів яскравості й кольоровості. У алгоритмах реалізується стеження за поточною частотою сигналу кольоровості та швидкістю зміни частоти; стеження за співвідношенням фаз кольорової піднесучої у су-

міжних рядках; спеціальний алгоритм комутації сигналів рядків R і B; управління напрямом фільтрації залежно від напрямку зміни яскравості кольору зображення.

Таким чином, створені передумови виключення спотворень при кодуванні і декодуванні колірної сигналу, які принципово властиві системі SECAM.

Запропонований і досліджений метод підвищення контрасту відтворюваного зображення, що ґрунтується на використанні динамічного фокусування кольорового кінескопа, побудований таким чином, що управління фокусуванням здійснюється сигналом лапласіана зображення. Це дозволяє вирішити задачу компромісу між чіткістю відтворюваного зображення і рівнем завади дискретизації.

О с н о в н і р е з у л ь т а т и і в и с н о в к и

1. Побудований опис процесів передавання і відтворення кольорових ТВ зображень, які розглядаються як векторні поля у рівноконтрастному сенсорному просторі. Запропоновані й програмно реалізовані методи оцінювання найважливіших видів спотворень зображення з урахуванням сумісного виявлення спотворень кольорових компонент, що дозволяє зробити оцінку якості зображень більш повною й вірогідною у порівнянні з роздільною оцінкою спотворень яскравісної й кольорівісної складових кольорового зображення, яка використовується у теперішній час.

2. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень встановлені основні закономірності, властиві процесові відтворення зображень сучасними кольоровими кінескопами. Виведені розрахункові співвідношення й одержані кількісні оцінки, які можуть використовуватися при проєктуванні кольорових кінескопів, моніторів і телевізорів.

3. Встановлені амплітудні та частотні ВФ видності спотворень і завад на кольоровому ТВ зображенні. Визначений функціональний зв'язок яскравісних порогів і світлоти деталей кольорового зображення з їх середньою яскравістю й кольорівістю. Визначена метрика кольорового простору для оцінювання правильності відтворення кольорів, узгодженої з наявними експериментальними даними про характеристики сприйняття кольорів. Визначено алгоритм, за допомогою яких встановлюється взаємоднозначна відповідність між кольорами деталей зображення і положенням точок на 5-вимірній сфері.

4. Побудовані математичні моделі сприйняття кольорів, у яких концепції рівноконтрастного кольорового простору й сферичності кольорового простору поєднані з представленнями про механізми розмиття

яскравісної і кольоровісної складових кольорового зображення на різних етапах перетворень при зоровому сприйнятті. Визначений алгоритм оцінки середньої помилки відтворення кольорів у телебаченні, що ґрунтується на концепції психологічної правильності відтворення кольорів.

5. Розвинений метод узагальненої оцінки ЛС у каналах яскравості та кольоровості ТВ тракту за К-фактором, визначення якого для каналу яскравості модифіковане, й запропоноване визначення для каналу кольоровості, що ґрунтується безпосередньо на аналізі експериментальних даних, у результаті чого узагальнена оцінка ЛС у каналах яскравості і кольоровості, узгоджена з реакцією спостерігача на спотворення яскравісних та колірних переходів на кольоровому зображенні. Запропонований та досліджений метод аналізу ЛС форми огинавчої цифрового сигналу за ПХ та ІХ, який є синтезом методу регресійного аналізу та евристичного методу, що дозволяє дати роздільну оцінку видів ЛС, які по-різному виявляються на зображенні. Таким чином, уперше використаний підхід до оцінки параметрів ТВ тракту як до задачі регресійного аналізу, і це дозволило з більшою повнотою оцінювати ЛС, ніж це передбачено чинними ТВ стандартами.

6. Запропоновані й досліджені нові методи оцінки спотворень у ТВ тракту, які дозволяють підвищити точність і вірогідність такої оцінки, у тому числі, метод 4-х фаз оцінювання спотворень по ВС, що вміщують радіоімпульсну компоненту; метод оцінювання ЛС за зваженою ІХ; компенсаційний метод оцінювання ЛС. Розроблені 2 варіанти методу контрольного кадру, що дозволяють суттєво поширити спектр оцінюваних параметрів ТВ тракту безпосередньо під час ТВ передачі. Запропоновані нові класи ВС для оцінки ЛС у ТВ тракту. Досліджені метрологічні властивості запропонованих ВС й визначені їх оптимальні параметри. Розвинуті методи оцінки спотворень кольорового зображення за світлом.

7. Запропоновані математичні моделі закону розподілу оцінок спостерігачів, регресійні моделі для характеристики погіршення і для закону підсумовування спотворень, а також два методи компенсації крайових ефектів, пов'язаних з похибкою оцінки біля меж шкали. Розроблені алгоритми визначення параметрів характеристик погіршення та інтегральних законів підсумовування спотворень для середньої оцінки якості зображення й для квантилі інтегрального закону розподілу оцінок, що відноситься до заданої кумулятивної ймовірності.

8. Запропоновані критерії оцінювання чіткості зображення з урахуванням його двовимірної структури, і встановлений функціональний

зв'язок цих критеріїв з суб'єктивних оцінок якості кольорового зображення, яку дасть спостерігачі. Встановлений зв'язок якості кольорового зображення з параметрами його двовимірного оконтуровання.

9. Встановлений зв'язок суб'єктивної якості кольорового зображення з основними видами спотворень у системі ТВ "від світла до світла". Досліджені закономірності спільного прояву різномірних спотворень. Дана оцінка різних критеріїв якості кольорового зображення з точки зору апроксимації експериментальних даних.

10. Запропоновані й досліджені алгоритми роботи й структури кодерів та декодерів системи SECAM, обробка сигналу зображення у яких дозволяє практично позбавитися спотворень, які вважалися принципово властивими цій системі. Запропонована й досліджена система динамічного фокусування кінескопа з управлінням, що залежить від лапласіана зображення, яка дозволяє розв'язати задачу компромісу між підвищенням якості фокусування та обмеженням прояву на зображенні перешкоди дискретизації.

Сукупність проведених досліджень є теоретичним узагальненням і рішенням наукової проблеми створення основ комплексного оцінювання і нормування якості кольорових ТВ зображень, яка має важливе народногосподарське значення.

Наукові положення, результати досліджень та ідеї, що склали суть теорії, представлені у даній дисертації, можна розглядати як новий напрям у телебаченні, пов'язаний зі створенням методів науково обгрунтованого об'єктивного та суб'єктивного комплексного оцінювання і нормування якості кольорового зображення й методів підвищення якості зображення у процесі ТВ передачі і відтворення.

Основний зміст дисертації відображено у наступних опублікованих роботах:

1. Гофайзен О. В. Оценка искажений при передаче и воспроизведении цветных изображений // Техника кино и телевидения. - 1983. - №12. - С. 34-49
2. Гофайзен О. В. Колориметрический анализ качества воспроизведения цветных телевизионных изображений // Всесоюзная НТК "Развитие и совершенствование телевизионной техники": Тез. докл. - М.: Радио и связь, 1984. - С. 38-39.
3. Гофайзен О. В. Предложение по модификации равноконтрастной системы цветных координат МК0-1976 // Труды учебных ин-тов связи. - 1987. - Вып. 136. - С. 74-77.
4. Гофайзен О. В. Связь качества телевизионного изображения с индексом цветопередачи // Методы повышения эффективности систем передачи информации. - К.: Техніка, 1987. - С. 85-87.

5. Гофайзен О. В. Пороги различения яркости на цветном телевизионном изображении // Техника кино и телевидения. - 1988. - № 11. - С. 24-28
6. Гофайзен О. В. Развитие метода оценки искажений импульсной характеристики ТВ тракта по К-фактору // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. - 1989. - Вып. 7. - С. 50-55.
7. Гофайзен О. В. Алгоритмы оценки качества цветовоспроизведения в телевидении // Респ. НПК "Телевизионные методы и средства в науке и технике": Тез. докл. - Ужгород, 1989. - С. 88-89
8. Гофайзен О. В. Математическая оценка физиологической и психологической верности цветовоспроизведения в телевидении // Межотрасл. НПК "Развитие и совершенствование телевизионной техники": Тез. докл. - Львов, 1990. - С. 46.
9. Гофайзен О. В. Алгоритмы анализа линейных искажений в ТВ тракте по переходной и импульсной характеристикам. I // Электронное моделирование. - Т. 11. - 1990. - № 1. - С. 28-33.
10. Гофайзен О. В. Алгоритмы анализа линейных искажений в ТВ тракте по переходной и импульсной характеристикам. II // Электронное моделирование. - Т. 11. - 1990. - № 6. - С. 26-29.
11. Гофайзен О. В. Математическое описание закона распределения оценок качества ТВ изображений // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. - 1990. - Вып. 3. - С. 52-57.
12. Гофайзен О. В. Алгоритмы статистического анализа данных субъективных экспертиз по оценке качества цветных телевизионных изображений // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общие вопросы радиоэлектроники. - 1990. - Вып. 19. - С. 97-100.
13. Гофайзен О. В. Равноконтрастная система цветowych координат для оценки верности цветопередачи в телевидении // НПК "Развитие и совершенствование ТВ техники": Тез. докл. - Львов, 1993. - С. 51-53.
14. Гофайзен О. В. Частотные весовые функции восприятия искажений и помех на цветовом изображении // НПК "Развитие и совершенствование ТВ техники": Тез. докл. - Львов, 1993. - С. 81-84.
15. Гофайзен О. В. Математическая модель цветовосприятия для оценки искажений цветного изображения // НПК "Развитие и совершенствование ТВ техники": Тез. докл. - Львов, 1993. - С. 86-90.
16. Гофайзен О. В. Расчет искажений формы сигналов изображений при передаче по линиям связи: Уч. пособие. - Одесса, ОЭИС, 1979. - 48 с.
17. Гофайзен О. В. Система математического обеспечения телевизионных расчетов и результаты ее применения для нормирования характеристик тракта ЦТ // НПК "Повышение надежности и эффективности технических средств телевизионного вещания": Тез. докл. - Минск: Минский радиотехнический институт, 1977. - С. 31-32.
18. Гофайзен О. В. Модель кинескопа цветного телевидения // Алгоритмы и программы. - 1978. - № 2. - П002671.
19. Гофайзен О. В. Модель генератора телевизионных испытательных сигналов // Алгоритмы и программы. - 1978. - № 2. - П002672.
20. Гофайзен О. В. Программы генерации отсчетов спектральной плотности телевизионных испытательных сигналов // Алгоритмы и программы. - 1978. - № 2. - П002673.
21. Гофайзен О. В. Модели камер цветного телевидения // Алгоритмы и программы. - 1978. - № 2. - П002675.

22. Гофайзен О. В. Модели нелинейных элементов телевизионного тракта // Алгоритмы и программы. - 1978. - № 2. - П002677.
23. Гофайзен О. В. Подпрограмма взаимного перехода между координатными системами МКО // Алгоритмы и программы. - 1978. - № 2. - П002678.
24. Гофайзен О. В. Алгоритмы моделирования апертурных искажений в телевизионных камерах и кинескопах // Алгоритмы и программы. - 1978. - № 2. - П002680.
25. Гофайзен О. В. Оценка параметров переходного процесса в нелинейных системах передачи многомерных сообщений / ОЕІЗ. - Одеса, 1973. - 26 с. Деп. у НИИЭИР, 1973, № 3-3224.
26. Гофайзен О. В. Исследование переходных процессов в каналах с предискажениями на основе приближенных формул / ОЕІЗ. - Одеса, 1972. - 23 с. Деп. у НИИЭИР, 1972, № 3-3259.
27. Шульмов Е. Н., Гофайзен О. В., Солоп Н. А. Измерение переходной характеристики телевизионных трактов // Техника кино и телевидения. - 1968. - № 8. - С. 43-44.
28. Гофайзен О. В., Коваленко В. И. Влияние нелинейных преобразований в ТВ системе на искажения при передаче крупных деталей // Техника кино и телевидения. - 1968. - № 10. - С. 43-44.
29. Гофайзен О. В., Серебрин В. Л. Анализ переходных процессов в системах цветного телевидения с одинаковым ограничением цветоразностных сигналов по полосе // ОЕІЗ. - Одеса, 1968. - 15 с. - Деп. у НИИЭИР, 1968, № Д-606.
30. Гофайзен О. В., Серебрин В. Л. Обобщенная переходная характеристика системы цветного телевидения // Вопросы электросвязи. - К.: Техника, 1969. - С. 154-158.
31. Гофайзен О. В., Коваленко В. И., Серебрин В. Л. Искажения цветных телевизионных изображений, вызванные переходными процессами в области больших времен // Труды учебных ин-тов связи. - 1970. - № 48. - С. 59-64.
32. Коваленко В. И., Гофайзен О. В. Визуальное восприятие тянущихся продолжений // Техника кино и телевидения. - 1970. - № 8. - С. 41-53.
33. Гофайзен О. В., Серебрин В. Л. О воспроизведении изображений масочными кинескопами // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника Телевидения. - 1970. - Вып. 4. - С. 40-59.
34. Семенюк О. С., Гофайзен О. В. Дифференциальные переходные и частотные характеристики передающих телевизионных трубок // XX Укр. республик. НТК, посвященная 75-летию со дня изобретения радио: тез. докл. - К.: УкрНИИТИ, 1970. - С. 39.
35. Гофайзен О. В., Серебрин В. Л. Переходные характеристики современных систем цветного телевидения // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. - 1971. - Вып. 1. - С. 3-12.
36. Сорензон А. П., Коваленко В. И., Гофайзен О. В. Влияние регулярных нелинейных искажений в системах цветного телевидения на передачу цветов // Известия вузов СССР. Сер. радиоэлектроника. - Т. 15. - 1972. - Вып. 5. - С. 606-610.
37. Серебрин В. Л., Гофайзен О. В. Анализ переходных процессов в канале цветности системы СЕКАМ // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. - 1973. - Вып. 3. - С. 60-70.
38. Гофайзен О. В., Елифанов Н. И., Седая Л. И. Эксперименты по определению допустимой крутизны фронтов в каналах цветности телевизион-

- ного тракта // III НТК ВНИИТР. Реф. информация ВНИИТР. Телевидение, 1973. - М.: 1973. - Вып. 3. - С. 17-18.
39. Гофайзен О. В., Бринько В. Ф. Теория развертки голограмм Фурье / OEI3. - Одеса, 1973. - 20 с. Деп. у НИИЭИР, 1973, № 3-3330.
 40. Балан Н. Н., Гофайзен О. В. Экспериментальное определение порога заметности тлнущихся продолжений на цветном телевизионном изображении / OEI3. - Одеса, 1974. - 32 с. Деп. у НИИЭИР, 1974, № 3-3697.
 41. Гофайзен О. В., Серебрин В. Л. Ограничение сигналов цветности в электрическом тракте системы СЕКАМ IIIб // Труды учебных ин-тов связи. - 1974. - Вып. 64. - С. 111-115.
 42. Гофайзен О. В., Епифанов Н. И., Оркуша В. П. К определению допусков на погрешность коррекции НЧ и ВЧ предсказаний цветоразностных сигналов в тракте системы СЕКАМ // IV НТК ВНИИТР. Реф. информация ВНИИТР. Телевидение, 1974. - М., 1974. - Вып. 3. - С. 19.
 43. Мельник В. В., Гофайзен О. В. Измеритель качества цветного изображения // Укр. респ. НТК "Вопросы технического качества телевизионного вещания в СССР": Тез. докл. - К.: УкрНИИТИ, 1974. - Вып. 2. - С. 3-4.
 44. Связь качества цветного ТВ изображения с величиной выброса на переходной характеристике канала цветности / О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов, С. В. Ершов, В. П. Оркуша // Техника кино и телевидения. - 1974. - № 3. - С. 57-59.
 45. Связь качества изображения с рассовмещением сигналов яркости и цветности / О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов, С. В. Ершов, В. П. Оркуша // Техника кино и телевидения. - 1974. - № 7. - С. 54-55.
 46. Гофайзен О. В., Епифанов Н. И., Оркуша В. П. Эксперименты по определению допустимой величины временного рассовмещения сигналов яркости и цветности в тракте системы СЕКАМ / OEI3. - Одеса, 1974. - 34с. Деп. у НИИЭИР, 1974, № 3-3837.
 47. О связи качества цветного телевизионного изображения с длительностью фронта переходной характеристики канала цветности системы СЕКАМ / О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов, С. В. Ершов, В. П. Оркуша // OEI3. - Одеса, 1974. - 45 с. Деп. у НИИЭИР, 1974, № 3-3838.
 48. Субъективная оценка зависимости качества цветного телевизионного изображения от величины выброса на переходной характеристике канала цветности системы СЕКАМ / О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов, С. В. Ершов, В. П. Оркуша // OEI3. - Одеса, 1974. - 69 с. - Деп. у НИИЭИР, 1974, № 3-3839.
 49. Епифанов Н. И., Гофайзен О. В., Оркуша В. П. Низкочастотные искажения в тракте ЦТ и качество изображения // Техника кино и телевидения. - 1974. - № 2. - С. 37-38.
 50. Гофайзен О. В., Миндель А. В. Структура телевизионного изображения / OEI3. - Одеса, 1975. - 12 с. Деп. у НИИЭИР, 1975, № 3-4056.
 51. Гофайзен О. В., Седая Л. И. Восприятие мелких деталей цветного кино- и телевизионного изображения // Техника кино и телевидения. - 1975. - № 3. - С. 36-41.
 52. Гофайзен О. В., Епифанов Н. И., Оркуша В. П. Эксперименты по определению связи качества цветного изображения с погрешностью коррекции высокочастотных предсказаний сигнала цветности в тракте системы СЕКАМ // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. - 1975. - Вып. 5. - С. 43-45.
 53. Мельник В. В., Гофайзен О. В. Динамика изменения распределения яр-

- кости в телевизионном изображении // Электрическая связь. - К. : Техника. - 1975. - С. 71-75.
54. Вопросы нормирования совокупности линейных параметров тракта цветного телевидения / Б. М. Певзнер, О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов // V НТК ВНИИТР : Тез. докл. - М., 1976. - Вып. 2. - С. 6-7.
55. Гофайзен О. В., Миндель А. В., Бринько В. Ф. Спектр сигнала в телевизионной голографической системе // Радиотехника. - Т. 31. - 1976. - № 1. - С. 13-15.
56. Гофайзен О. В., Миндель А. В., Бринько В. Ф. Восстановление волнового фронта голограммы Фурье, переданных по телевизионному каналу // Радиотехника. - 1976. - Т. 31. - № 4. - С. 5-10.
57. Гофайзен О. В., Епифанов Н. И. Оценка качества ТВ изображения по совокупности параметров // Техника кино и телевидения. - 1976. - № 6. - С. 56-59.
58. Гофайзен О. В., Епифанов Н. И. Определение допусков на величину эхосигналов в тракте передачи полного сигнала системы СЕКАМ // Техника кино и телевидения. - 1976. - № 9. - С. 62-68.
59. Влияние размытия цветowych границ на качество изображения / О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов, С. В. Ершов, В. П. Оркуша // Электросвязь. - 1976. - № 11. - С. 54-56.
60. Гофайзен О. В., Серебрин В. Л. Математическое описание телевизионного изображения и его пространственного спектра // В кн. Многоканальная электросвязь. - К. : Техника. - 1976. - С. 14-16.
61. Гофайзен О. В., Мельник В. В. Выражение для дискретизирующей функции и сигнала при телевизионной развертке // Труды учебных институтов связи. - 1976. - Вып. 74. - С. 216-217.
62. Гофайзен О. В., Серебрин В. Л. Резкость передачи границ изображений совместимыми системами цветного телевидения // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. - 1977. - Вып. 2. - С. 13-22.
63. Гофайзен О. В., Епифанов Н. И. О нормировании линейных искажений в канале цветности // Техника кино и телевидения. - 1977. - № 2. - С. 38-44.
64. Гофайзен О. В., Серебрин В. Л. Резкость передачи границ изображений совместимыми системами цветного телевидения // ОЕИЗ. - Одеса. 1977. - 15 с. Деп. у НИИЭИР, 1977, № 3-5172.
65. Гофайзен О. В., Комаровская И. В. Построение цифровых кодера и декодера системы СЕКАМ на базе математического моделирования на ЭВМ // Респ. НТК "Улучшение технического качества телевизионного вещания на территории УССР в X пятилетке": Тез. докл. - К. : УкрНИИТИ, 1977. - С. 27-28.
66. Нормирование линейных искажений тракта ЦТ в условиях двумерной апертурной коррекции / О. В. Гофайзен, Г. К. Куприянова, Н. И. Епифанов, Н. Г. Крыжановская // НТК "Повышение надежности и эффективности технических средств телевизионного вещания": Тез. докл. - Минск: Минский радиотехнический институт, 1977. - С. 29-30.
67. Гофайзен О. В., Миндель А. В. Телевизионная передача голограммы Френеля // Радиотехника. - Т. 33. - 1978. - № 12. - С. 66-70.
68. О допустимой величине временного рассовмещения сигналов в тракте цветного телевидения с двумерной апертурной коррекцией / О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов, Г. К. Куприянова, Н. Г. Крыжановская // Техника кино и телевидения. - 1978. - № 8. - С. 42-48.
69. Гофайзен О. В., Епифанов Н. И. Колориметрическая оценка помехи кван-

- тования цветного ТВ изображения // Техника кино и телевидения. - 1978. - № 11. - С. 24-31.
70. Измеритель характеристик с экрана кинескопа / О. В. Гофайзен, Н. Г. Крыжановская, Н. И. Епифанов и др. // Информацион. листок. - М.: ЦНТИ "Информсвязь", 1978.
71. Субъективная оценка качества цветных ТВ изображений / О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов, Т. М. Ляхова, Б. М. Певзнер // Техника кино и телевидения. - 1979. - № 2. - С. 32-38.
72. Закон суммирования искажений, вносимых каналом изображения системы цветного ТВ / О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов, Т. М. Ляхова, Б. М. Певзнер // Техника кино и телевидения. - 1979. - № 6. - С. 37-42.
73. Интегральная оценка качества цветных телевизионных изображений в системе СЕКАМ при введении основных видов искажений / О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов, Т. М. Ляхова, Б. М. Певзнер // XXXIV Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио: Тез. докл. - М., 1979. - С. 118.
74. Епифанов Н. И., Гофайзен О. В. Оценка искажений формы ТВ сигнала по обобщенному испытательному сигналу // НТК "Вопросы повышения качества и надежности студийного и внестудийного оборудования цветного телевидения": Тез. докл. - Челябинск, 1979. - С. 38-39.
75. Гофайзен О. В., Епифанов Н. И. Моделирование процесса зрительного восприятия цветных телевизионных изображений // НТК "Вопросы повышения качества и надежности студийного и внестудийного оборудования цветного телевидения": Тез. докл. - Челябинск, 1979. - С. 40-41.
76. Гофайзен О. В., Солоп Н. А. Обобщенная оценка четкости цветовоспроизведения // НТК "Вопросы повышения качества и надежности студийного и внестудийного оборудования цветного телевидения": Тез. докл. - Челябинск, 1979. - С. 42.
77. Гофайзен О. В., Солоп Н. А. Оценка помехоустойчивости систем цветовоспроизведения // НТК "Вопросы повышения качества и надежности студийного и внестудийного оборудования цветного телевидения": Тез. докл. - Челябинск, 1979. - С. 43-44.
78. Измерение характеристик цветного изображения с экрана цветного кинескопа / О. В. Гофайзен, Н. Г. Крыжановская, Н. И. Епифанов и др. // НТК "Вопросы повышения качества и надежности студийного и внестудийного оборудования цветного телевидения": Тез. докл. - Челябинск, 1979. - С. 29-33.
79. Гофайзен О. В., Комаровская И. В. Вопросы построения цифровых кодера и декодера СЕКАМ // НТК "Вопросы повышения качества и надежности студийного и внестудийного оборудования цветного телевидения": Тез. докл. - Челябинск, 1979. - С. 34.
80. Оценка четкости и качества цветного изображения с учетом его двумерной структуры / О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов, Н. Г. Крыжановская, Г. К. Куприянова // Техника кино и телевидения. - 1980. - № 3. - С. 42-49.
81. Экспериментальные данные о связи качества цветного телевизионного изображения со степенью оконтурирования в двух измерениях / О. В. Гофайзен, Н. И. Епифанов, Н. Г. Крыжановская, Г. К. Куприянова // Техника кино и телевидения. - 1980. - № 11. - С. 37-40.
82. Гофайзен О. В., Ляхова Т. М., Певзнер Б. М. Новые данные по оценке качества цветных ТВ изображений при воздействии искажений в тракте СЕКАМ и по построению интегрального критерия качества // Всес. НТК "Развитие технических средств телевизионного вещания": Тез. докл. - М., 1980.

83. Гофайзен О. В., Елифанов Н. И., Рувинский М. Д. Зависимость качества цветного изображения от яркостного контраста и цветовой насыщенности // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. - 1982. - Вып. 6. - С. 34-39.
84. Гофайзен О. В., Елифанов Н. И. Оценка линейных искажений в ТВ тракте по обобщенным испытательным сигналам // Техника кино и телевидения. - 1982. - № 9. - С. 34-39.
85. Качество цветного изображения в тракте системы СЕКАМ / О. В. Гофайзен, Т. М. Ляхова, Б. М. Певзнер, М. Д. Рувинский // Техника кино и телевидения. - 1983. - № 1. - С. 33-42.
86. Гофайзен О. В., Ляхова Т. М., Певзнер Б. М. Расчетное определение качества изображения в сквозном тракте ТВ вещания // Техника кино и телевидения. - 1983. - № 3. - С. 24-30.
87. Гофайзен О. В., Куприянова Г. К., Рувинский М. Д. Определение оптимальной степени оконтуривания цветного изображения в двух измерениях // Техника кино и телевидения. - 1983. - № 7. - С. 49-52.
88. Солоп Н. А., Гофайзен О. В., Дамлинсурен Баяндуренгийн. Математическая модель канала передачи ТВ сигналов с предсказаниями // Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации: Сб. научн. трудов ОЭИС им. А. С. Попова. - Одесса, 1984. - Вып. 22. - С. 57-59.
89. Солоп Н. А., Гофайзен О. В., Тимчик Ю. Ф. Оценка эффективности предскажений ТВ сигнала // Радиотехника. - 1985. - № 4. - С. 20-22.
90. Гофайзен О. В., Шишкин А. В. Частотно-контрастные характеристики цветных мониторов // Техника кино и телевидения. - 1985. - № 5. - С. 30-35.
91. Характеристика ухудшения для электронных цветных титров, искаженных одиночным эхо-сигналом / О. В. Гофайзен, Н. Г. Крыжановская, В. И. Сечин, В. В. Скопенко // Техника кино и телевидения. - 1985. - № 8. - С. 23-27.
92. Гофайзен О. В., Панфилов И. П., Скопенко В. В. Оценка линейных искажений по взвешенному импульсному отклику // Радиотехника. - 1985. - № 12. - С. 34-38.
93. Гофайзен О. В., Семенюк О. С., Шишкин А. В. Динамическая фокусировка цветного кинескопа по яркости / ОЕИЗ. - Одесса, 1986. - 13 с. Деп. у ЦНТИ "Информсвязь" 11.05.86, № 844-св.
94. Гофайзен О. В., Шишкин А. В. Экспериментальные исследования частотно-контрастных характеристик цветных кинескопов / ОЕИЗ. - Одесса, 1986. - 41 с. Деп. у ЦНТИ "Информсвязь" 11.05.86, № 845-св.
95. Гофайзен О. В., Шишкин А. В. Способ аппроксимации частотно-контрастных характеристик цветных кинескопов и его применение / ОЕИЗ. - Одесса, 1986. - 10 с. Деп. у ЦНТИ "Информсвязь" 11.05.86, № 846-св.
96. Гофайзен О. В., Шишкин А. В. Моделирование апертурного эффекта в цветных мониторах / ОЕИЗ. - Одесса, 1986. - 10 с. Деп. у ЦНТИ "Информсвязь" 11.05.86, № 847-св.
97. Гофайзен О. В., Певзнер Б. М. Расчетная оценка качества изображения в ТВ тракте // Всес. научная сессия НТОРЭС им. А. С. Попова. - М., 1986.
98. Гофайзен О. В., Шишкин А. В. Математическое описание частотно-контрастных характеристик кинескопов / ОЕИЗ. - Одесса, 1986. - 53 с. Деп. у ЦНТИ "Информсвязь" 21.08.86, № 910-св.
99. Гофайзен О. В., Шишкин А. В. Оценка помехи пространственной дискретизации изображения, воспроизводимого на экране цветного кинескопа

- па / ОЕІЗ. - Одеса, 1986. - 9 с. Деп. у ЦНТІ "Інформсв'язь" 21.08.86. № 911-св.
100. Гофайзен О.В., Миндель А.В. Математическое описание пространственно-временной структуры телевизионного изображения // Радиотехника. - 1987. - № 1. - С. 17-20.
 101. Гофайзен О.В., Хикловская И.В. Оптимальное окрашивание объектов для повышения достоверности распознавания автоматизированными системами / ОЕІЗ. - Одеса, 1986. - 12 с. Деп. у ЦНТІ "Інформсв'язь" 21.01.87, № 1020.
 102. Гофайзен О.В., Хикловская И.В. Оптимальное окрашивание полутоновой шкалы / ОЕІЗ. - Одеса, 1986. - 14 с. Деп. у ЦНТІ "Інформсв'язь" 21.01.87, № 1021.
 103. Гофайзен О.В., Хикловская И.В. Таблицы координат цветов, равномерно заполняющих равноконтрастное цветовое пространство / ОЕІЗ. - Одеса, 1986. - 69 с. Деп. у ЦНТІ "Інформсв'язь" 21.01.87, № 1022.
 104. Гофайзен О.В., Епифанов Н.И., Колесник В.И. Разброс мнений наблюдателей в процессе субъективных испытаний по оценке качества ТВ изображений // ОП. - Одеса, 1987. - 40 с. Деп. у ЦНТІ "Інформсв'язь" 19.03.87, № 1065.
 105. Гофайзен О.В., Епифанов Н.И. Повышение точности оценки линейных искажений по косинусквадратичному импульсу // Радиотехника. - 1987. - № 5. - С. 88-89.
 106. Гофайзен О.В., Миндель А.В. Формы описания процессов сканирования n-мерных сообщений // Радиотехника. - 1987. - № 9. - С. 29-31.
 107. Гофайзен О.В., Певзнер Б.М. Характеристики зависимости качества изображения от основных параметров телевизионного тракта. Часть 1. Линейные искажения // Техника кино и телевидения. - 1987. - № 10. - С. 32-39.
 108. Епифанов Н.И., Гофайзен О.В., Колесник В.И. О биномиальной аппроксимации функций распределения мнений в экспериментах по оценке качества ТВ изображений // Техника кино и телевидения. - 1987. - № 9. - С. 51.
 109. Гофайзен О.В., Шишкин А.В. Обобщенная модель процесса воспроизведения изображений цветными кинескопами / ОЕІЗ. - Одеса, 1987. - Деп. у ЦНТІ "Інформсв'язь" 10.11.87, № 1183-св.
 110. Гофайзен О.В., Певзнер Б.М. Характеристики зависимости качества изображения от основных параметров телевизионного тракта. Часть 2. Нелинейные искажения и помехи // Техника кино и телевидения. - 1987. - № 11. - С. 33-37.
 111. Гофайзен О.В., Аталла Мохамед. Частотная весовая функция восприятия цветностной составляющей ТВ изображений. Теория и устройства передачи информации по каналам связи // Сборник научных трудов учебных ин-тов связи. - Л.: ЛЭИС, 1987. - С. 117-121.
 112. Гофайзен О.В., Солоп Н.А., Крюкова Т.Д. Анализ возможных путей снижения потери четкости изображения в ТВ системах с предсказаниями сигнала // Всес. НТК "Развитие и совершенствование технических средств ТВ вещания". Тез. докл. - М.: Радио и связь, 1988. - С. 25-26
 113. Гофайзен О.В., Солоп Н.А., Скопенко В.В. Система контроля искажений сигнала изображения в ТВ тракте, основанная на использовании метода контрольного кадра // Эффективные системы связи: Сб. научных трудов ОЗИС им. А.С. Попова. - Одесса, 1988. - с. 6-9.

114. Бабенко Б.В., Гофайзен О.В., Шишкин А.В. Динамическая фокусировка цветного кинескопа по яркости // Техника кино и телевидения. - 1989. - № 3. - С.12-14.
115. Формулы косугольной дискретизации многомерных сообщений / О.В. Гофайзен, А.В. Миндель // Радиотехника. - 1989. - № 5. - С.31-33.
116. Характеристики ухудшения для линейных искажений сигнала цветности в системе СЕКАМ / О.В.Гофайзен, Аталла Мохамед, В.В.Скопенко та ін. // Техника кино и телевидения. - 1989. - № 6. - С.15-20.
117. Гофайзен О.В., Панфилов И.П., Скопенко В.В. Новые измерительные сигналы для контроля искажений в телевизионном тракте // Электросвязь. - 1989. - № 8. - С.4-12.
118. Гофайзен О.В., Скопенко В.В. Математическое описание связи субъективной оценки качества цветного ТВ изображения с линейными искажениями цветоразностных сигналов // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. - 1989. - Вып. 6. - С.49-55.
119. Модели оценки линейных искажений в тракте системы цветного ТВ СЕКАМ / О.В.Гофайзен, Т.Д.Крыкова, М.Г.Локшин та ін. // Радиотехника. - 1989. - № 10. - С.59-60 // Редколлегија журналу "Радиотехника". - М., 1989. - 88 с. Деп. у ЦНТИ "Информсвязь", № 1508-св.
120. Гофайзен О.В., Епифанов Н.И. Влияние формы амплитудной характеристики РТС на точность измерения линейных искажений // Радиотехника. - 1989. - № 12. - С.26-30.
121. Состояние и перспективы создания цифровых телевизионных приемников / В.Т.Басий, Ю.А.Медведев, О.В.Гофайзен, А.А.Матвеев // VI отрасл. НТК "Состояние и перспективы развития БРЭА": Тез. докл. - Львов, 1990. - С.4-6.
122. Исследование закона суммирования пар разнородных искажений в тракте ТВ вещания в системе СЕКАМ / О.В.Гофайзен, Т.Д.Крыкова, Н.А.Платзерова, В.В.Скопенко, А.В.Шишкин // ОЕІЗ. - Одеса, 1990. - 52 с. Деп. у ЦНТИ "Информсвязь" 15.02.90, № 922-В90.
123. Исследование закона суммирования ухудшений цветного изображения при совместном действии 3, 4 и 5 видов искажений в тракте ТВ вещания в системе СЕКАМ / О.В.Гофайзен, Т.Д.Крыкова, Н.А.Платзерова та ін. // ОЕІЗ. - Одеса, 1990. - 72 с. Деп. у ЦНТИ "Информсвязь" 15.02.90, № 923-В90.
124. Антонов А.С., Гофайзен О.В., Хихловская И.В. Описание области цветов, воспроизводимых в телевидении // Межотр. НПК "Развитие и совершенствование телевизионной техники": Тез. докл. - Львов, 1990. - С.49-50.
125. Новые данные по зависимости качества цветного ТВ изображения от нелинейных искажений, диффазы и расхождения во времени сигнала яркости и цветоразностных сигналов / О.В.Гофайзен, Т.Д.Крыкова, М.Г.Локшин та ін. // ОЕІЗ. - Одеса, 1990. - 52 с. Деп. у ЦНТИ "Информсвязь" 27.09.90, № 1150-В90.
126. Новые методы измерения параметров ТВ трактов с применением цифровой обработки / В.Т.Басий, Л.В.Березовская, Д.И.Вихоть, О.В.Гофайзен // Техника кино и телевидения. - 1990. - № 5. - С.22-24.
127. Гофайзен О.В., Скопенко В.В. Оптимальный выбор испытательных сигналов в задачах математического моделирования векторных систем // Электронное моделирование. - Т.12. - 1990. - № 2. - С.101-120.
128. Гофайзен О.В., Скопенко В.В. Вопросы построения интерполяторов

- для цифрового телевидения // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. - 1990. - Вып. 6. - С. 12-17.
129. Гофайзен О. В., Скопенко В. В. КИХ-фильтры для цифрового кодирования и декодирования ТВ сигнала: синтез и проектирование // Техника средств связи. Сер. Техника телевидения. - 1990. - Вып. 19. - С. 65-72
 130. Сравнительный анализ возможных вариантов построения перспективной системы декодирования сигналов в системах SECAM, PAL, NTSC и в их вариантах, рассчитанных на передачу сигналов по стандартам телевидения высокой четкости / Ю. А. Медведев, В. В. Бабич, В. Т. Басий, О. В. Гофайзен и др. // Междт. НТК "Развитие и совершенствование телевизионной техники": Тез. докл. - Львов, 1991.
 131. Двумерные фильтры для разделения сигналов яркости и цветности систем цветного телевидения / В. Т. Басий, О. В. Гофайзен, Т. Д. Кривожа и др. // НПК концерна "Электрон": Тез. докл. - Львов, 1991. - С. 20.
 132. Использование методов спектрального анализа для декодирования сигналов систем цветного ТВ / В. Т. Басий, А. А. Выходец, О. В. Гофайзен и др. // НПК концерна "Электрон": Тез. докл. - Львов, 1991. - С. 21-22
 133. Методы коррекции искажений сигнала изображения в ТВ приемнике на базе использования спектральных преобразований / В. Т. Басий, А. А. Выходец, О. В. Гофайзен и др. // НПК концерна "Электрон": Тез. докл. - Львов, 1991. - С. 22-23.
 134. Анализ современных методов декодирования полного цветового видеосигнала систем SECAM, PAL и NTSC / Ю. А. Медведев, В. В. Бабич, О. В. Гофайзен и др. // Техника кино и телевидения. - 1991. - № 11. - С. 22-33
 135. Новые методы измерения уровня телевизионного сигнала / В. Т. Басий, Л. Б. Березовская, Д. И. Вихоть, О. В. Гофайзен и др. // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общие вопросы радиоэлектроники. - 1991. - Вып. 13. - С. 7-14.
 136. К вопросу измерения нелинейных искажений телевизионного тракта / В. Т. Басий, Л. Б. Березовская, Д. И. Вихоть, О. В. Гофайзен // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общие вопросы радиоэлектроники. - 1991. - Вып. 21. - С. 42-49.
 137. Проектирование и расчет телевизионных систем и устройств: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / И. А. Солоп, О. В. Гофайзен, Э. В. Мещерякова, Е. В. Ошаровская // ОЭИС. - Одесса, 1991. - 60 с.
 138. Проблема построения ТВ квалиметра / О. В. Гофайзен, В. Т. Басий, Ю. А. Медведев, В. В. Бабич и др. // НДТ ТТ "ЭЛЕКТРОН". - Львів, 1992. - 34 с. Деп. у ВИМІ, 1992, № Д0-8528.
 139. Телевизионный квалиметр: от трудоемких экспериментов - к экспертной системе / В. Т. Басий, О. В. Гофайзен, Ю. Р. Дидич, Ю. А. Медведев // Системы и средства телекоммуникаций. - Вып. 2. - 1992.
 140. Новые телевизионные измерительные сигналы и методы комплексной оценки параметров ТВ трактов, предложения по их применению в телевизионной технике / В. Т. Басий, Л. Б. Березовская, О. В. Гофайзен // НДТ ТТ "ЭЛЕКТРОН". - Львів, 1992. - 59 с. Деп. у ВИМІ, 1992, № Д0-8529
 141. Разработка принципов декодирования композитного сигнала системы SECAM / Ю. А. Медведев, В. В. Бабич, О. В. Гофайзен, В. Т. Басий и др. // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общие вопросы радиоэлектроники. - 1992. - Вып. 9. - С. 3-9.
 142. Проблема построения измерительных комплексов для объективной оценки субъективного качества ТВ изображений / О. В. Гофайзен, В. Т.

Басий, Ю.А.Медведев и др. // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общие вопросы радиоэлектроники. - 1992. - Вып.9. - С.10-20.

143. Новые испытательные сигналы для контроля и настройки ТВ аппаратуры / В.Т.Басий, О.В.Гофайзен, В.В.Мовчан и др. // Вопросы радиоэлектроники. Серия Общие вопросы радиоэлектроники. - 1992. - Вып.9. - С.24-29.

144-151. Вклад у міжнародні організації:

МККР. Док.11/86,25 травня 1983 / О.В.Гофайзен, Б.М.Певзнер.

МККР. Док.11/87,14 червня 1983. - 11/88-Е, 25 травня 1983 / О.В.Гофайзен, Н.И.Епифанов, Б.М.Певзнер.

МККР. Док.11/328, 1985 / О.В.Гофайзен.

ОИРТ. Док.ТК-III-1590, червень, 1983 / О.В.Гофайзен, Б.М.Певзнер

ОИРТ. Док.ТК-III-1591, червень,1983. - ТК-III-1594, червень,1983 / О.В.Гофайзен, Н.И.Епифанов, Б.М.Певзнер.

ОИРТ. Док.ТК-III-40/1320,1985/О.В.Гофайзен.

152. Проект державних стандартів:

Тракты телевизионные вещательные цветного изображения. АСК и аппаратура вистудийного вещания. Основные параметры. Методы измерений / Б.М.Певзнер, Н.А.Маркович, Т.А.Стражевская, А.П.Сорезон, О.В.Гофайзен, М.Д.Рувинский, В.И.Коваленко // Проект государственного стандарта СССР. ПГ 421-206-72 - М: Госстандарт,1972.

Суб'єктивне оцінювання якості кольорових зображень. Методи. Характеристики погіршення. Інтегральні критерії / В.В.Бабич, В.Т.Басій, О.В.Гофайзен та ін. // Проект державного стандарту України. - К.: Держстандарт,1993.

Телебачення мовне. Терміни та визначення / В.В.Бабич, В.Т.Басій, О.В.Гофайзен та ін. // Проект державного стандарту України. - К.: Держстандарт,1993.

Цифрова обробка телевізійних зображень. Терміни та визначення / В.В.Бабич, В.Т.Басій, О.В.Гофайзен та ін. // Проект державного стандарту України. - К.: Держстандарт,1993.

153-170. Гофайзен О.В. та ін. А.с. СРСР №№

470088, 1001500, 1019670, 1050131, 1202068, 1231633, 1314480,
1392639, 1429343, 1713120, 1524195, 1748287, 1683183, 1603541,
1758905, 1760642, 1734238, 1734239.

171-205. Гофайзен О.В. та ін. // Рішення Держкомвинаходів про видачу а.с. за заявками №№

4804673/09.	4804605/09.	4804603/09.	4804604/09.	4767714/09.
4767716/09.	4775253/09.	4767713/09.	4912940/09.	4912941/09.
4940201/09.	4940283/09.	4939288/09.	4804602/09.	4912261/09.
4933171/09.	4816711/09.	4949577/09.	4949624/09.	4949595/09.
4939785/09.	4949577/09.	4939784/09.	4912252/09.	4949575/09.
4949598/09.	4912260/09.	4940284/09.	4940205/09.	4937582/09.
4940206/09.	4939766/09.	4940204/09.	4940203/09.	4937583/09.

ВСТІС

Підписано до друку 20.04.1993 р. Обсяг: 3,12 друк. арк.;
3,24 обл.-друк. арк. Формат 60x84¹/16. Зам. 137. Тираж 100.
Друкарня Одеського електротехнічного Інституту зв'язку
Ім. О.С.Попова. Одеса, Старопортофранківська, 61.

464781

AB 27.414
AB 27.414