

Гофайзен О. В., Тепухіна А. В., Комаров М. М.  
Gofaizen O. V., Tepuchina A. V., Komarov M. M.

## Адаптивні до кольору системи цифрового телебачення майбутнього: принципи побудови та колориметричні основи

### Colour Adaptive Digital Television Systems of Future: Principles of Development and Colorimetric Bases

**Анотація** Дано визначення адаптивних до кольору ТВ та споріднених їм систем. Представлений вклад України в створення цих систем. Публікується зміст запропонованих і розроблених Україною міжнародних документів: Питання ITU-R 97-2/6, Рекомендації ITU-R-BT.1692, попереднього проекту нового Звіту ITU-R-BT.[6P/126-E, 08.04.05]. Сформульовано задачі подальших досліджень.

**Abstract** The definition of colour-adaptive and related imaging systems is given. Ukrainian contribution for the development of such systems is presented. The content of international documents proposed by Ukraine – Question ITU-R 97-2/6, Recommendation ITU-R- BT.1692, Preliminary Draft New Report ITU-R-BT.[6P/126-E, 08.04.05] is published. The tasks for further studies are formulated.

#### Вступ

Різноманітність існуючих відео технологій та застосувань створило проблему якнайбільш точного відтворення кольорової інформації зображення. При цьому найбільш бажаним вважають таке відтворення зображення, сприйняття якого було б аналогічним сприйняттю сцени у місці зйомки.

Таким чином створено необхідність розробки адаптивних за кольором систем, які забезпечували б вірне кольоровідтворення незалежно від типу застосування, умов сприйняття та обладнання зйомки та спостереження, перетворень у проміжному тракті та ін.

До теперішнього часу розроблені принципи побудови не-мовленневих застосувань, що забезпечують кольоровідтворення, що є адаптивним до відтворюваних пристроїв. Адаптивність у них забезпечується шляхом включення до передаваної інформації даних щодо колориметричних властивостей передавального та приймального обладнання, а самі колориметричні перетворення здійснюються у приладо-незалежному колориметричному просторі. Ці принципи стандартизовані Міжнародним Консорціумом по кольору (ICC) і реалізовані у профілях ICC (ICC-profiles) [1, 2].

У відношенні до колориметричних характеристик, сучасні ТВ системи побудовані по фіксованому принципу, тобто з орієнтуванням на моделі кольоросприйняття, у яких не враховано адаптивні до умов спостереження властивості людського зору, на той час як колориметрична наука вже нако-

пичила певні знання у цьому напрямку та продовжує накопичувати. Це є стимулом до створення систем нового типу – адаптивних за кольором систем.

Під адаптивними за кольором системами буде мати на увазі системи, які забезпечують найкраще з точки зору спостерігача кольоровідтворення з урахуванням розбіжностей умов сприйняття передаваної сцени на передавальній стороні та відтворюваного зображення на приймальній і є адаптивними до характеристик обладнання та умов спостереження на обох сторонах, тобто приладо-незалежні і незалежні від умов сприйняття (Device Independent and Viewing Conditions Independent – DI-VCI).

Ідея створення приладо-незалежних і незалежних від умов сприйняття систем – DI-VCI-систем – запропонована Україною в 1996 р. [4]. З того часу ITU-R проводить дослідження, спрямовані на розв'язання проблеми міжнародної стандартизації таких систем [3 – 19].

Серед результатів досліджень важливе місце займають кількісні оцінки [15 – 17, 21, 23, 25], з використанням яких можна оцінити ефект від використання DI-VCI-систем.

В цій роботі представлено загальні принципи побудови таких систем і деякі деталі щодо їх практичної реалізації.

#### Дослідне Питання ITU-R 97-2/6

За ініціативою України [5, 6, 19] Сектором Радіозв'язку МСЕ прийняте Питання 97-2/6 "Оптимізація якості кольоровідтворення у телебаченні", яке передбачає проведення досліджень з DI-VCI-систем. Питання є комплексним, і воно ставить таку низку питань.

1 Які алгоритми оброблення слід використовувати для оптимізації колориметричної якості кольорових зображень і якою буде складність таких алгоритмів і доцільність їх використання в різних ТВ застосуваннях?

2 Яку інформацію слід передавати в транспортному цифровому потоці для оптимізації кольоровідтворення в ТВ тракці від світла до світла?

3 Яка швидкість цифрового потоку слід використовувати для передавання додаткових даних для оптимізації колориметричної якості ТВ зображень, відтворюваних на приймальній стороні?

4 Як має бути забезпечено передавання додаткових даних в програмному і транспортному потоці?

5 Яким буде вплив оптимізації колориметричних характеристик ТВ тракту від світла до світла на механізми стиснення зображень?

6 Яким буде вплив оптимізації колориметричних характеристик ТВ тракту від світла до світла на оптимальний ступінь стиснення зображень?

7 Які моделі кольоросприйняття слід обирати для використання в алгоритмах оптимізації кольорової якості зображення?

8 Як слід обирати критерії якості кольорового зображення і методи врахування статистики кольорів в ТВ зображеннях і властивостей людського кольоросприйняття?

9 Яким чином ідея оптимізації колориметричних характеристик ТВ тракту від світла до світла може бути використовувана в інших аудіовізуальних застосуваннях?

10 Як слід оптимізувати якість зображення, складеного з об'єктів, які було знято в різних умовах і як ці умови слід документувати в разі необхідності?

### Рекомендація ITU-R-ВТ.1692

В 1994 р. на основі пропозицій України [12-14] прийнята Рекомендація ITU-R-ВТ.1692 "Оптимізація якості кольоровідтворення в телебаченні".

В Рекомендації враховано, що:

а) що в телебаченні якість кольоровідтворення є важливою частиною висхідної якості ТВ зображень і ТВ служби в цілому;

б) що ймовірно в майбутньому мовники і далі будуть зацікавлені в подальшій оптимізації колориметричної якості ТВ зображень;

в) що сучасний рівень колориметричної науки може скласти основу для подальшого створення методів оптимізації якості кольоровідтворення в телебаченні;

г) що у всьому світі, побудова системи цифрового ТВ базується на передачі транспортного цифрового потоку, в якому передаються допоміжні дані із службовою інформацією, яка може бути використувана для оптимізації передачі відеоінформації в ТВ тракці від світла до світла. Стає можливим оптимізувати якість кольоровідтворення шляхом обробки ТВ зображень на ближньому та дальньому кінцях. Стає можливим враховувати оброблення сигналу в компонентах ТВ тракту, колориметричних характеристик ТВ камер і відтворювальних пристроїв та умов спостереження на обох кінцях (і таким чином світлотної й колірної адаптації зорового аналізатора спостерігача) для будь яких послідовностей, сцен і сюжетів.

д) що використання колірної статистики зображень, властивостей людського кольоросприйняття і відповідної моделі кольоросприйняття уможливить подальше вдосконалення стиснення зображень, що може привести до подальшого зменшення швидкості цифрового потоку, і це має вирішуватися на основі компромісу між якістю ко-

льоровідтворення та ступенем зменшення швидкості цифрового потоку;

е) що використання нових методів оброблення кольорових зображень і стиснення, може привести до нових можливостей кольоровідтворення в телебаченні;

ж) що в деяких приймачах в майбутньому, можливо, будуть використовуватися алгоритми, які визначають процедуру досягнення суб'єктивно оптимального кольоровідтворення;

з) що оптимізація кольоровідтворення може бути досягнута з використанням відповідної моделі кольоросприйняття;

и) що колориметричні параметри і характеристики визначені для традиційної області кольорів, передаваних телевізійними системами в Рекомендації ITU-R ВТ.709, і для традиційної і розширеної області кольорів в Рекомендації ITU-R ВТ.1200. Єдиний набір колориметричних параметрів і характеристик, призначений для використання в усіх майбутніх системах телебачення визначений в Рекомендації ITU-R ВТ.1361, і це є основа для координуючої побудови всіх частин ТВ трактів від світла до світла у всьому світі;

к) що нові методи повинні бути сумісні з традиційними методами кольоропередавання, так що в майбутньому буде використовувано два рівня систем:

- не адаптивні до кольору (non-colour-adaptive) ТВ системи (звичайні ТВ системи);
- адаптивні за кольором (colour-adaptive) ТВ системи.

В Рекомендації рекомендовано:

1) що технічні рішення для кольорово-адаптивних ТВ систем мають бути основані на використуванні моделей кольоросприйняття, побудованих з урахуванням адаптації зорової системи

людини до умов спостереження на обох кінцях ТВ тракту, які можуть відрізнятися;

2 що моделі кольоросприйняття (побудовані на пороговій або надпороговій основі), можуть бути складовою частиною майбутніх систем, і в цьому випадку система стає адаптивною за кольором ТВ системою;

3 та пряма і зворотна сумісність є необхідною для адаптивних за кольором ТВ систем, і що колориметричні параметри і характеристики, що їх визначено в Рекомендації ITU-R BT.1361, слід використовувати до адаптивних за кольором ТВ систем для стандартних умов спостереження на обох кінцях;

4 що надалі мають бути визначені стандартні умови спостереження.

### Попередній проект нового Звіту ITU-R-BT [6P/126-E, 08.04.05]

В розвиток положень, визначених в Рекомендації ITU-R-BT.1692, на базі пропозицій України [4, 18, 20, 23] підготовлено попередній проект нового Звіту ITU-R-BT [6P/126-E, 08.04.05] "Основні принципи і приклади технічних рішень щодо оптимізації якості кольоровідтворення в адаптивних за кольором телевізійних системах і споріднених їм системах відтворення зображень".

Нижче представлений зміст останньої версії проекту Звіту.

Звіт стосується нового типу ТВ систем – систем, адаптивних до умов спостереження на передавальній і приймальній сторонах тракту передавання зображення. Таким чином, наведений аналіз систем, в яких застосовані принципи сучасної колориметрії, що враховують адаптивні властивості людського кольоросприйняття.

Звіт містить:

- основні принципи оптимізації якості кольоровідтворення в адаптивних за кольором ТВ системах;
- структурні схеми й алгоритми обробки, що їх використовують для оптимізації якості кольоровідтворення;
- дані, використовувані для оптимізації кольоровідтворення.

#### *Основні принципи оптимізації якості кольоровідтворення в адаптивних за кольором ТВ системах*

- Джерело телевізійних сигналів генерує:
  - а) початкові ТВ сигнали з колориметричними параметрами і характеристиками, що є відповідними Рекомендації ITU-R BT.1361;
  - б) додаткову інформацію, що містить:
    - інформацію щодо структури додаткової переданої інформації;
    - інформацію щодо специфічних характеристик і параметрів джерела ТВ сигналу (що характеризують колориметричні спотворення, які внесено джерелом);
    - інформацію щодо джерела освітлення і умов спостереження на передавальній стороні;
    - інформацію щодо типу та/чи кольорового контенту передаваних зображень /послідовностей

- На передавальній стороні використовується інтелектуальний блок, що:

- містить у своїй пам'яті інформацію щодо опорної моделі відтворювального пристрою та умов спостереження на приймальній стороні;
- аналізує спотворення, пов'язані з відмінністю характеристик джерела освітлення і камери, а також умов спостереження від опорних;
- виконує корекцію спотворень на передавальній стороні і генерує інформацію щодо залишкових спотворень для можливої подальшої корекції;
- генерує допоміжну інформацію щодо корекції спотворень кольору на приймальній стороні;
- генерує програму для корекції кольоровідтворення на приймальній стороні, яка може бути використана в приймачі;
- оцінює і записує наскрізну якість кольоровідтворення для опорних характеристик відтворення та опорних умов спостереження на приймальній стороні, враховуючи остаточні спотворення на передавальній стороні.

- На передавальній стороні додатковий потік, що включає інформацію для приймальної сторони, передають усередині транспортного потоку, що буде використовувано для подальшої оптимізації якості кольоровідтворення.

- На приймальній стороні використовується інтелектуальний блок, що:

- містить у своїй пам'яті інформацію щодо опорної моделі відтворювального пристрою та умов спостереження;
- генерує інформацію щодо спотворень, які вносяться через відмінність специфічних характеристик відтворювального пристрою та умов спостереження від опорних;
- здійснює корекцію спотворень на приймальній стороні на основі допоміжної інформації, що її прийнято в цифровому потоці з передавальної сторони та/чи інформації про спотворення, що її згенеровано на приймальній стороні, та/чи використання програми, прийнятої з передавальної сторони;
- оцінює і записує вислідну якість кольоровідтворення.

*Структурні схеми і алгоритми обробки, використовувані для оптимізації якості кольоровідтворення*

Структурні схеми обробки на приймальній і передавальній сторонах представлено на рисунках 1 і 2.

В якості початкової інформації для корекції на передавальній стороні використовують:

- спектральну характеристику джерела освітлення на передавальній стороні;
- спектральні характеристики лінз, систем кольоророзділення і перетворювача світло-сигнал, з урахуванням кольорокорекції;
- реальні й опорні умови спостереження зображення на передавальній стороні.

Враховуючи ці параметри, можуть бути реалізовані перетворення, що їх відображено на структурній схемі, представленій на рисунку 3. Дане перетворення корегує місцеві спотворення джерела, а

також спотворення, викликані відмінністю між умовами спостереження на передавальній стороні і опорними умовами сприйняття.

Другою фазою є перетворення, що залежить від контенту зображення. Реалізація основного положення даного перетворення може бути пояснена після подальших досліджень. Наприклад, дане перетворення може залежати від:

- реальних границь діапазону зміни сигналів  $Y, Cr, Cb$ .
- закону розподілу кольору в зображенні;
- інших враховуваних параметрів, що характеризують методи обробки.

Це перетворення може включати додаткові засоби, що дозволяють підвищити ефективність стиснення зображення при кодуванні джерела або підвищити якість при заданому алгоритмі стиснення.

### Висновок

Побудова адаптивних за кольором ТБ систем і споріднених їм систем відтворення зображення пов'язана з реалізацією по суті двох принципів:

- принципу незалежної від пристроїв систем передачі і відтворення відеоінформації (заснованої на корекції спотворень, що вносяться пристроями, в самих пристроях або в системі в цілому);
- принципу незалежної від умов спостереження передачі і відтворення відеоінформації (заснованої на компенсації спотворень, пов'язаних з відмінністю умов спостереження на передавальній і на приймальній сторонах).

По можливості, при моделюванні кольоросприйняття слід враховувати просторові властивості

зображення сцени, такі як її і колірний та яскравісний контраст, детальність тощо.

Як показано в роботах [21, 25], врахування адаптивних властивостей людського зору може суттєво вплинути на якість кольоровідтворення.

Все це складає задачу подальшого наукового прогресу на стику відеотехнологій, колориметрії і психофізіології людського зору. Зокрема, експериментальна колориметрія більшою мірою повинна бути наближена до реальних умов сприйняття сцени під час її безпосереднього спостереження і спостереження на екрані відтворювального пристрою.

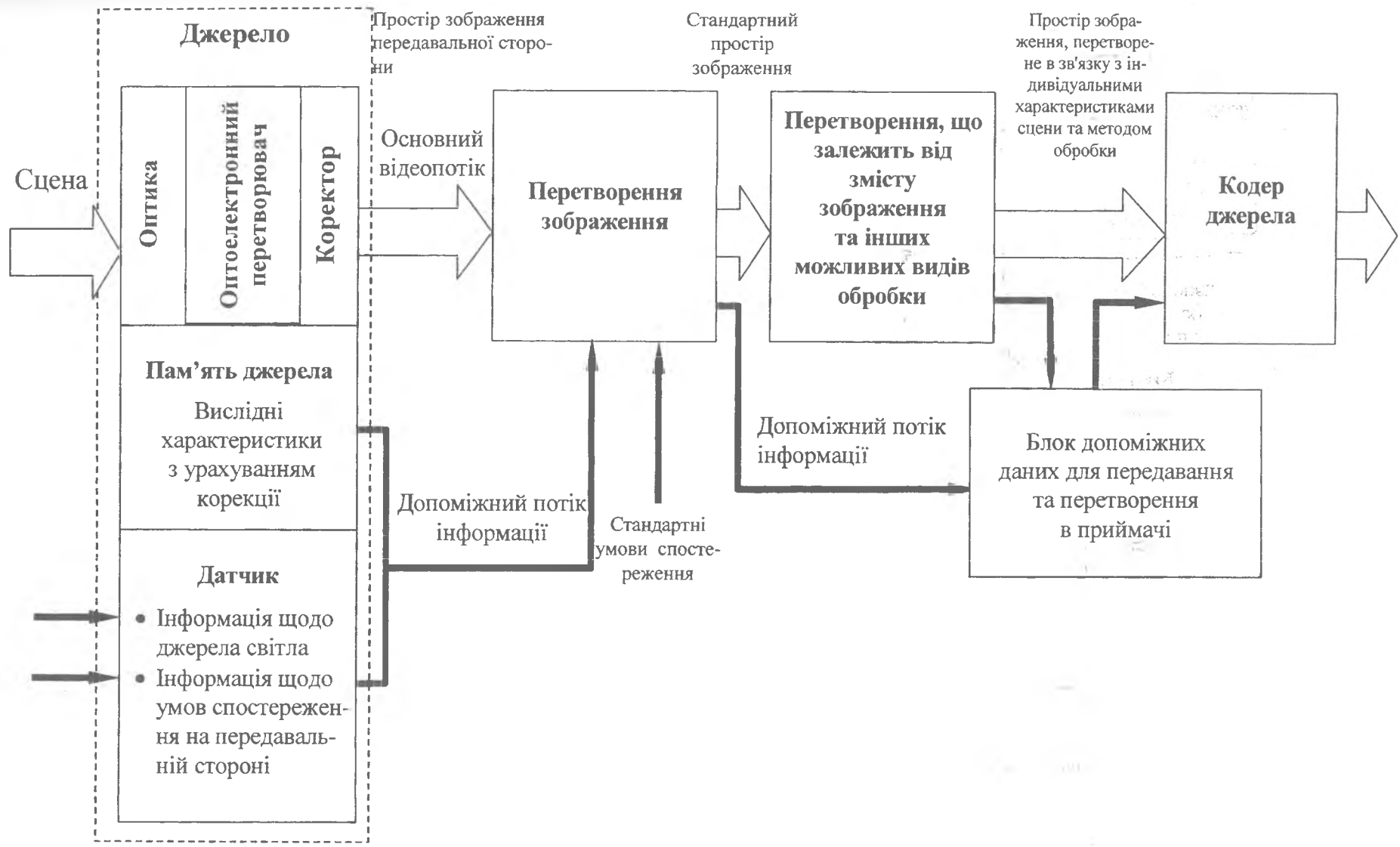


Рисунок 1 -- Схема оптимізації якості передавання кольору на передавальній стороні

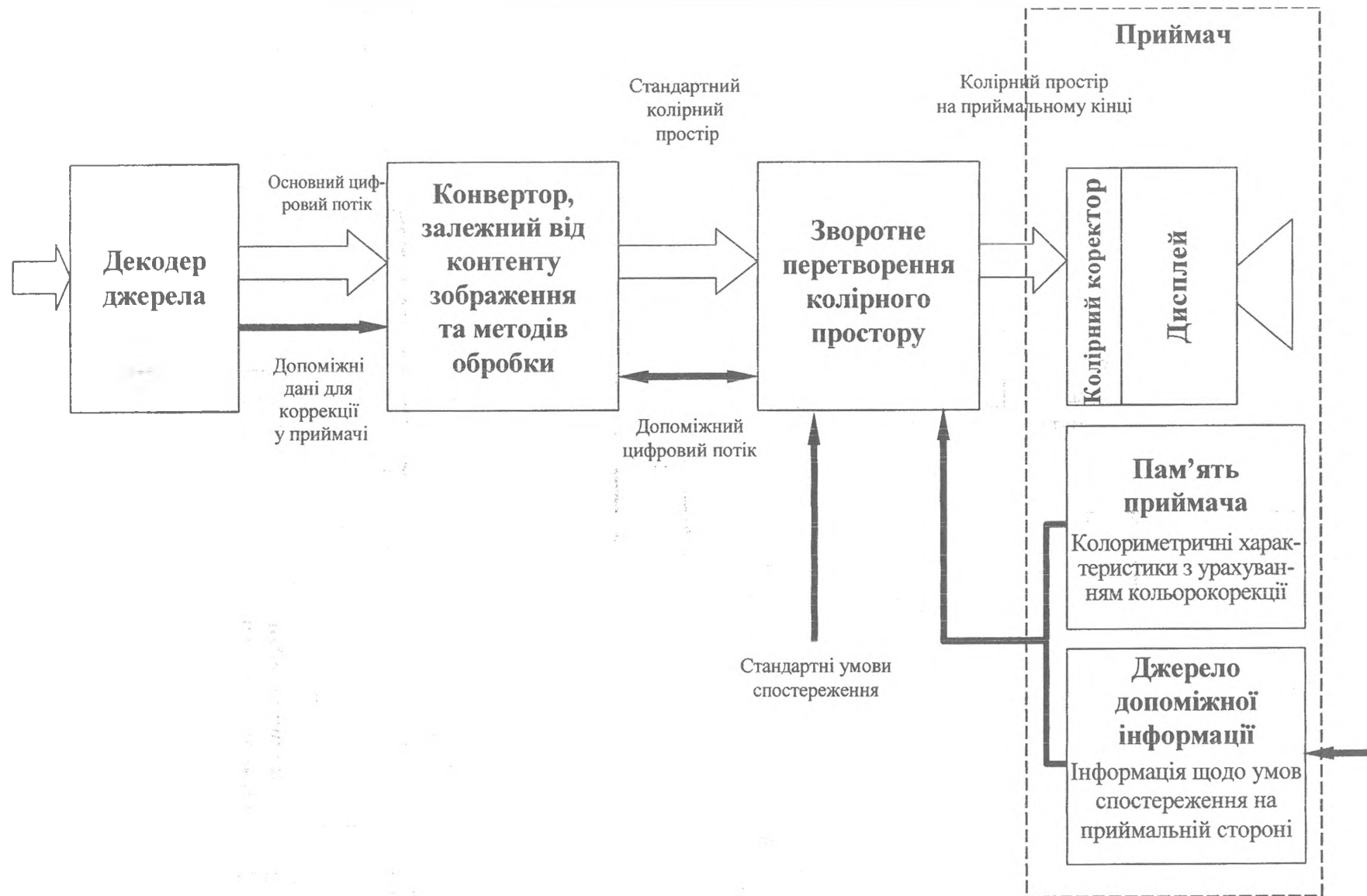


Рисунок 2 – Блок-діаграма оптимізації якості відтворення кольору на приймальній стороні

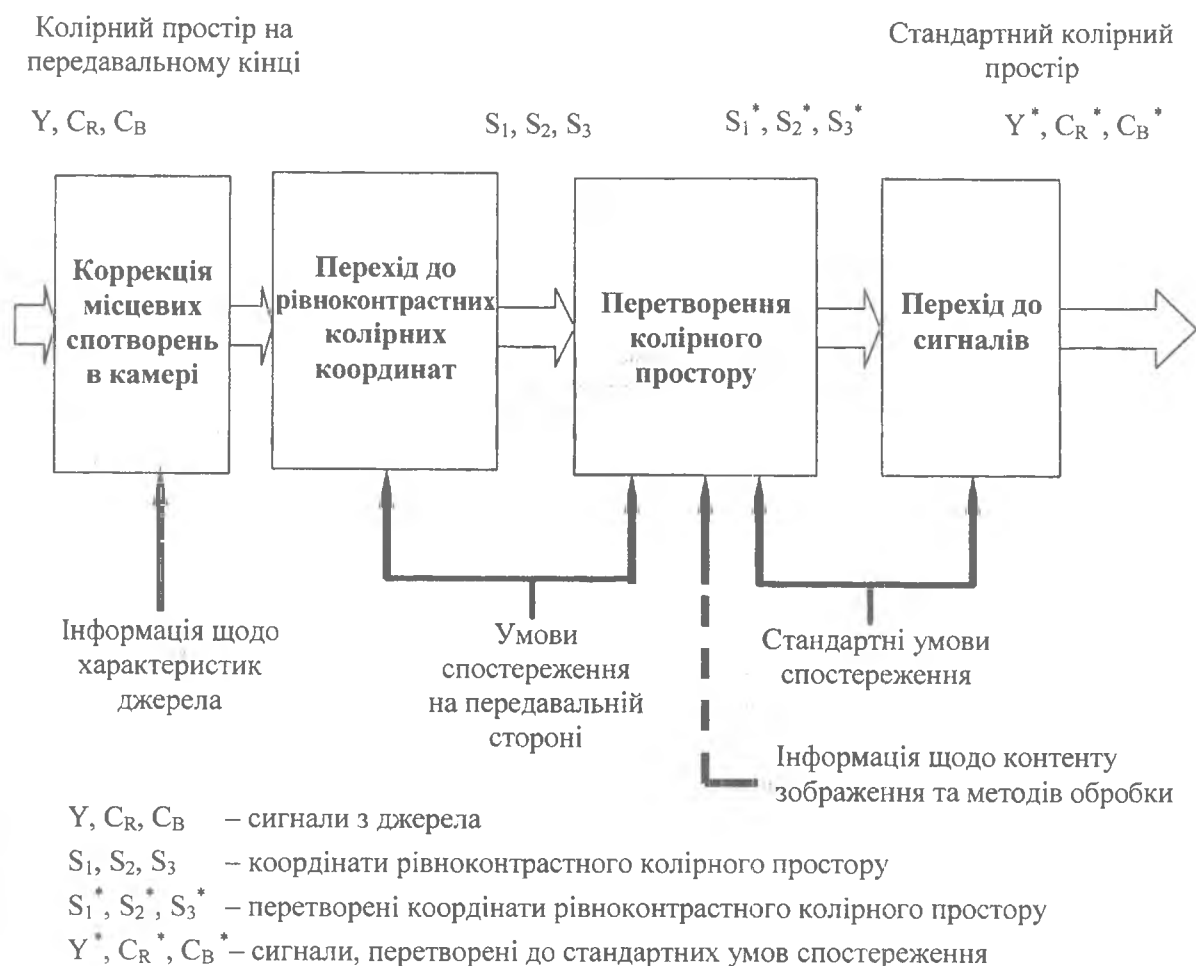


Рисунок 3 – Перетворення колірного простору

**Література**

- 1 Colour Engineering. Achieving Device Independent Colour / Edited by P. Green, I. MacDonald. – John Wiley & Sons Ltd, 2003. – 458 p.
- 2 Fairchild M. D. Color Appearance Models. – Addison-Wesley, 1997. – 417 p.
- 3 On overview of the activities of the ITU in television colorimetry / Chris J. Dalton (GB), Ken P. Devies (Canada), Oleg V. Gofaizen (Ukraine) / Proceedings of the CIE Expert Symposium'96. – 25-27.03.96
- 4 ITU-R SGs. Ukraine. Report: Colorimetric Quality of TV Images (Україна. Звіт: Колориметрична якість кольорових ТВ зображень) / Doc. 11A/52-E, 07.11.96
- 5 ITU-R SGs. Ukraine. Proposal for Draft New Question: Assessment and Optimization of Quality of Colour Reproduction in Television / Doc. 11A/83-E, 11E/40-E, 01.04.97
- 6 ITU-R SGs. Ukraine and special rapporteur for methods of assessment and optimization of quality of colour reproduction in television. Draft New Question: Assessment and Optimization of Quality of Colour Reproduction in Television / Doc. 11A/83-E, 11E/40-E, 01.04.97
- 7 O. Gofaizen Colour Reproduction Quality in TV Systems / Proceedings of CIE Expert Symposium'97 on Colour Standards for Imaging Technology. – 21-22.11.97
- 8 ITU-R SGs. Working Party 11A. Special Rapporteur for colorimetric quality of TV images assessment and optimization. Today Status of Colour Imaging Systems Design and Development and Possible Ways of Assessment and Optimization of Colour Reproduction Quality in Digital TV Systems of Future / Doc. 11A/35-E, 18.03.98.
- 9 ITU-R SGs. Ukraine. Today Status of Colour Imaging Systems Design and Development and possible Ways of Assessment and Optimization of Colour Reproduction Quality in Digital TV Systems of Future / Doc. 11A/35(A1)-E, 19.03.98.
- 10 ITU-R SGs. Ukraine. Propositions on Modification of the Draft Report "Today status of colour imaging systems design and development and possible ways of assessment and optimization of colour reproduction quality in digital TV systems of future" / Doc. 11A/73, 17.05.1999.
- 11 ITU-R SGs. Working Party 11A. Special rapporteur for assessment and optimization quality of colour reproduction in television. Revision of the Draft Report "Today status of colour imaging systems design and development and possible ways of assessment and optimization of colour reproduction quality in digital TV systems of future" / Doc. 11A/74, 17.05.1999.
- 12 ITU-R SGs. Ukraine. Propositions on Amendment Preliminary Draft Recommendation "Assessment and Optimization of Quality of Color Reproduction in Television" / Doc. 11A/66, 17.05.1999.

13 ITU-R SGs. Working Party 11A. Special rapporteur for assessment and optimization quality of colour reproduction in television. Modification of the Preliminary Draft New Recommendation "Assessment and Optimization of Quality of Colour Reproduction in Television" / Doc. 11A/75, 17.05.1999.

14 ITU-R SGs. Working Party 11A. Special Rapporteur on Assessment and Optimization of Quality of Colour Reproduction in Television. Modification of the Preliminary Draft New Recommendation. Assessment and Optimization of Quality of Colour Reproduction in Television Doc. 11A/130R1, 07.02.2000.

15 ITU-R SGs. Vice-Chairman of Study Group 6 and Vice-Chairman of Working Party 6P. Study of influence of colour perception adaptation properties on colour reproduction quality in television with use of CIECAM97s colour appearance model: estimations of perceived colour variation of standard colour bars Doc. 6E/21, 6Q/24, 22 вересня 2003 р.

16 ITU-R SGs. Vice-Chairman of Study Group 6 and Vice-Chairman of Working Party 6P. Study of influence of colour perception adaptation properties on colour reproduction quality in television with use of CIECAM97s colour appearance model: Estimations of colour space boundaries variation Doc. 6E/25, 6Q/28, 22 вересня 2003 р.

17 ITU-R SGs. Vice-Chairman of Study Group 6 and Vice-Chairman of Working Party 6P. Study of influence of color perception adaptation properties on colour reproduction quality in television with use of CIECAM97s colour appearance model: Estimations of variation of colour space, reproduced in television Документ 6E/26, 6Q/29, 22 вересня 2003 р.

18 ITU-R SGs. Working Party 6P. Draft New Report General principles and examples of technical solutions for optimization of colour reproduction quality in adaptive television systems and relative applications Document 6P/TEMP/29-E, 29 September 2003

19 ITU-R SGs. Working Party 6P Draft Revision of Question ITU-R 97/6 Optimization of quality of colour reproduction in television Document 6/17-E, 26 September 2003

20 ITU-R SGs. Vice-Chairman of Study Group 6 and Vice-Chairman of Working Party 6P. Proposed modification of Preliminary Draft New Report Optimization of quality of colour reproduction in television Document 6M/53-E, 6P/73-E, 6Q/71-E, 26 September 2003

21 ITU-R SGs. Ukraine. Current level of colour science and the problem of development of colour-adaptive TV and related systems Document 6P/127-E, Q/110-E, 8 April 2005

22 ITU-R SGs. Vice-Chairman of Study Group 6 and Vice-Chairman of Working Party 6P. Proposed modification of Preliminary Draft New Report General principles and examples of technical solutions for optimization of colour reproduction quality in adaptive television systems and relative applications systems Document 6M/53(Rev.1)-E, 6P/73(Rev.1)-E, 6Q/71(Rev.1)-E, 18 May 2004

22 ITU-R SGs. Vice-Chairman of Study Group 6 and Vice-Chairman of Working Party 6P. Quality of colour reproduction in television: Use of colour appearance models Document 6P/99-E, 6Q/85-E, 22 October 2004

23 ITU-R SGs. Ukraine. Proposed modification of Preliminary Draft New Report General principles and examples of technical solutions for optimization of colour reproduction quality in adaptive television systems and related imaging systems Document 6P/126-E, 8 April 2005

24 Гофайзен О. В., Телухіна А. В. Сучасний рівень колориметрії і проблема побудови адаптивних за кольором ТВ і споріднених їм систем / Праці УНДІРТ. – 2005. – № 1 (41). – С. 12 – 29.