

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 621.307.13

М.О. Маркін, канд. техн. наук, доц.

Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут“, м.Київ, Україна,  
e-mail: M.Markin@kpi.in.ua

## ДІАПАЗОН ЛІНІЙНОСТІ БІСПЕКТРАЛЬНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ПІРОМЕТРА

M.O. Markin, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Professor

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, e-mail: M.Markin@kpi.in.ua

### BISPECTRAL TELEVISION PYROMETER LINEARITY RANGE

**Мета.** Головними задачами дослідження є створення лабораторного стенду, методики вимірювання; програмного забезпечення; проведення експериментальних досліджень характеристик біспектральних телевізійних пірометрів, що обумовлюють точність вимірювання температури. Підвищення точності вимірювання температури може бути досягнуте як за рахунок покращення характеристик біспектральних телевізійних пірометрів, так і за рахунок удосконалення методик їх застосування. Удосконалення характеристик біспектральних телевізійних пірометрів, зокрема, підвищення точності вимірювання температури, у першу чергу, вимагає вдосконалення метрологічного забезпечення.

**Методи.** Однією з найважливіших задач є проведення експериментальних досліджень з метою визначення характеристик біспектральних телевізійних засобів вимірювання температури. До таких характеристик можна віднести світлосигнальну та спектральну характеристики, а також – діапазон лінійності.

**Результати.** Створена методика дослідження світлосигнальної характеристики біспектральних засобів вимірювання, з метою встановлення діапазону лінійності, шляхом дослідження світлосигнальних характеристик окремих каналів на лабораторному стенді. Створений експериментальний зразок біспектрального пірометра на основі ПЗЗ-камери NOVUS NVC-530 та лабораторний стенд і програмне забезпечення для експериментального дослідження його характеристик. За умов експерименту характеристика біспектрального телевізійного пірометра на основі камери NOVUS NVC-530 лінійна в діапазоні змін освітленості мішені від 0,1 до 3,8 лк, тобто в діапазоні близько 32 дБ.

**Наукова новизна.** Наукова новизна запропонованого в роботі метода – адекватне визначення світлосигнальної характеристики, а саме її лінійної частини стосовно вхідних сигналів, на якій забезпечується концептуальна умова щодо незалежності мікроперетворювачів.

**Практична значимість.** Створений лабораторний стенд для експериментальних досліджень характеристик біспектрального телевізійного пірометра. Проведені експериментальні дослідження світлосигнальної характеристики біспектральних телевізійних пірометрів з метою встановлення їх діапазону лінійності.

**Ключові слова:** *діапазон лінійності, телевізійна пірометрія, світлосигнальна характеристика*

**Вступ.** Для отримання матеріалів із заданими властивостями або нових матеріалів використовуються спеціальні високотемпературні технології. Такі технології стають ефективними лише за дотримання технологічних вимог, що, у свою чергу, неможливо без відповідних технічних засобів вимірювання. Ці засоби повинні забезпечувати належну точність вимірювання та мати потенціал для подальшого покращення характеристик.

Вказані вимоги задовольняє низка технічних засобів вимірювання, серед яких окремо можна виділити телевізійні засоби вимірювання (ТЗВ) температури. Та-

кі ТЗВ умовно можна поділити на два напрями – ТЗВ, що аналізують залежність енергетичної яскравості випромінювання об'єкта в деякому діапазоні довжини хвилі від його температури; ті, що співставляють потоки випромінювання в кількох спектральних діапазонах (мультиспектральні) [1].

Телевізійні засоби є надзвичайно ефективним інструментом теплового неруйнівного контролю. Вони дозволяють одночасно забезпечити найвищі серед усіх інших інформаційно-вимірювальних засобів показники щодо максимального формату вибірки та мінімального часу її формування. Також телевізійні засоби забезпечують високе просторове розрізнення, що робить їх не-

© Маркін М.О., 2015

замінними в тих випадках, коли саме така сукупність показників є визначальною.

Слід відмітити, що декілька питань, важливих з точки зору вимірювання високих температур, залишаються невирішеними. Одним з таких питань на сьогодні є проблема створення біспектральних ТЗВ, що потенційно мають значні переваги перед монохроматичними. Наприклад, теоретично метод біспектральної пірометрії дозволяє звільнитися від проблеми точного визначення коефіцієнта випромінювальної здатності, що відкриває нові можливості для підвищення точності вимірювання температурних режимів, а отже, для підвищення якості продукції, що використовує високі технології, наприклад, електронно-променеві технології з отримання надчистих матеріалів та матеріалів із заданими властивостями.

Але при аналізі науково-технічної літератури виявляється відсутність систематизованих даних щодо біспектральних телевізійних засобів вимірювання, достовірних результатів їх використання в науковій чи технологічній практиці. Окремі публікації не підтверджені обґрунтуванням та дослідженнями технічних характеристик, оцінкою потенційних можливостей тощо.

Таким чином, однією з найважливіших задач є проведення експериментальних досліджень з метою визначення характеристик біспектральних ТЗВ температури. До них можна віднести: світлосигнальну та спектральну характеристики, діапазон лінійності.

**Постановка проблеми.** Термін „світлосигнальна характеристика“ використовується в телевізійній вимірювальній техніці з 60-х років. На сьогодні в літературі як у технічній, так і в інтернеті термін „світлосигнальна характеристика“ практично не зустрічається, на практиці частіше вживається термін „чутливість“.

Але чутливість це число, а світлосигнальна характеристика це деяка крива. У будь-якому випадку визначенням чутливості не можна підміняти світлосигнальну характеристику.

Найбільш коректно при визначенні світлосигнальної характеристики використовувати довжину хвилі  $\lambda_m$ , за якої сигнал має максимальне значення, тобто обирати вершину спектральної характеристики. Якщо зміститися за спектральною характеристикою вправо або вліво, то за одного й того ж значення освітленості на мішені ПЗЗ отримаємо різні вимірювальні сигнали.

Головними задачами дослідження є створення лабораторного стенду, методики вимірювання; програмного забезпечення; проведення експериментальних досліджень характеристик БСП, що обумовлюють точність вимірювання температури.

Підвищення точності вимірювання температури може бути досягнуто як за рахунок покращення характеристик БСП, так і за рахунок удосконалення методик їх застосування. Зрозуміло, що вдосконалення характеристик БСП, зокрема, підвищення точності вимірювання температури, у першу чергу, вимагає вдосконалення метрологічного забезпечення.

Не варто також забувати, що технологія виробництва телевізійних приладів постійно вдосконалюється, це супроводжується появою нових факторів (показни-

ків), що впливають на характеристики вимірювальних приладів.

Отже, метрологічне забезпечення ТЗВ взагалі та біспектральних, зокрема, не може не змінюватись. Підтвердженням тому можуть бути результати останніх досліджень просторової роздільної здатності телевізійних вимірювальних приладів, що суттєво змінили усталені уявлення про їх потенційні можливості.

При цьому, у першу чергу, необхідно виконати експериментальні дослідження характеристик приладів, що на сьогодні вже використовуються або оцінюються з точки зору перспектив їх використання в біспектральній телевізійній пірометрії.

Але в сучасній науково-технічній літературі практично відсутні матеріали щодо методик відповідних досліджень чи їх результатів, що підкреслює важливість сформульованих у даному розділі задач.

Зуважимо, що існуючі методики визначення аналогічних характеристик, які застосовуються у традиційній пірометрії та в моноспектральній телевізійній пірометрії, також потребують переробки та вдосконалення.

**Виклад основного матеріалу.** *Лабораторний стенд для експериментальних досліджень характеристик біспектрального телевізійного пірометра.* Для експериментального дослідження характеристик БСП нами був розроблений стенд, комбінована структурна схема якого зображена на рис.1, а загальний вигляд на рис. 2.

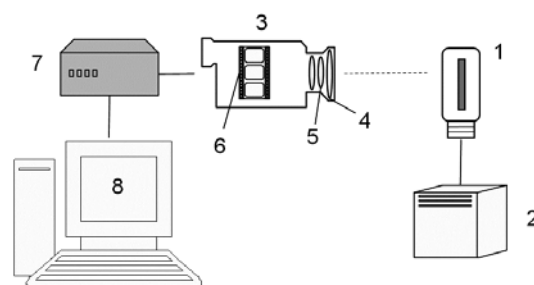


Рис. 1. Комбінована структурна схема стенду для дослідження діапазону лінійності ТЗВ: 1 – лампа СИ10-300; 2 – стабілізоване джерело живлення; 3 – камера; 4 – світлофільтр; 5 – об'єктив; 6 – СЕП; 7 – ПОВ; 8 – ПК

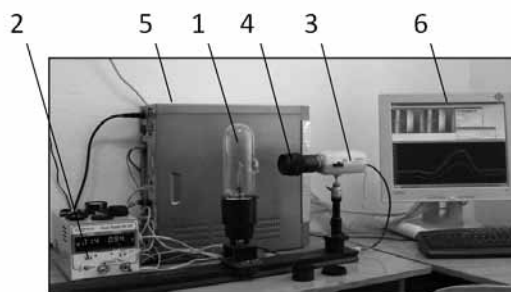


Рис. 2. Загальний вигляд стенду для дослідження діапазону лінійності ТЗВ: 1 – лампа СИ10-300; 2 – стабілізоване джерело живлення; 3 – камера; 4 – об'єктив; 5 – ПК; 6 – монітор

До складу лабораторного стенду входять наступні структурні елементи: 1 – еталонна лампа СИ10–300; 2 – стабілізоване джерело живлення із вбудованими амперметром та вольтметром; 3 – телевізійна передавальна камера; 4 – світлофільтри; 5 – об'єктив; 6 – світло-електричний перетворювач (СЕП); 7 – плата обробки відеосигналу (ПОВ); 8 – персональний комп'ютер (ПК).

Випромінювання від об'єкта, яким є еталонна лампа / СИ10-300, потрапляє до оптичної системи, що складається із світлофільтра 4 та об'єктива 5. Фотооб'єктив 5 формує зображення об'єкта на площині СЕП 6, яким є ПЗЗ-матриця телевізійної передавальної камери 3. Сформований у передавальній камері сигнал подається через пристрій обробки відеосигналу 7 до ПК 8. Подальша обробка сигналу здійснюється спеціалізованим програмним забезпеченням.

У дослідженнях в якості джерела випромінювання використовується еталонна температурна лампа СИ10-300 з прямокутною ниткою розжарення, що розташована в одній площині. Лампа СИ10-300 належить до другого розряду зразкових ламп [2] і є робочим еталоном, для якого шкала температур передається від зразкових ламп першого розряду, при цьому допускається похибка  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

Для проведення експериментальних досліджень нами обрані світлофільтри з довжинами хвилі 580 та 600 нм. Їх характеристики наступні – коефіцієнт пропускання – 50%; спектральна ширина полоси по рівню 0,5 – 0,0057 мкм; спектральна ширина полоси по рівню 0,1 – 0,0109 мкм.

**Експериментальні дослідження діапазону лінійності.** Експериментальні дослідження світлосигнальної характеристики БСП з метою встановлення його діапазону лінійності проводилося шляхом дослідження світлосигнальних характеристик окремих каналів на лабораторному стенді (рис. 1).

У цій схемі використовувався обертальний блок світлофільтрів, а також об'єктив „МИР-1В“.

Діапазон лінійності кожного каналу БСП визначався як різниця освітленостей, у межах якої виконувалося співвідношення [3]

$$|A_a(E_i') - \bar{A}(E_i')| < 3\sigma,$$

де  $\bar{A}(E_i')$  – середні значення сигналу при однаковій освітленості  $E_i'$ ;  $A_a(E_i')$  – значення з апроксимованої кривої;  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення.

Світлосигнальні характеристики окремих каналів наведені на рис. 3, де також показана ділянка, у межах якої виконувалося співвідношення.

За умов експерименту характеристика БСП на основі камери NOVUS NVC-530 лінійна в діапазоні змін освітленості мішені від 0,1 до 3,8 лк, тобто в діапазоні близько 32 дБ.

Представлені експериментальні результати дослідження діапазону лінійності БСП уперше отримані в лабораторії телевізійних засобів вимірювання кафедри наукових аналітичних та екологічних приладів і систем Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут“.

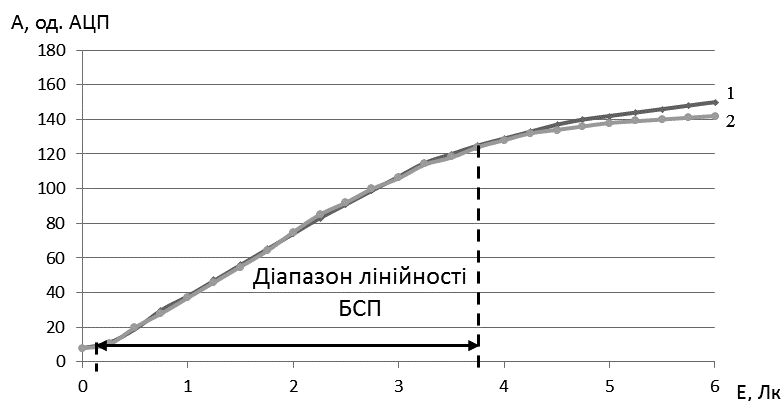


Рис. 3. Світлосигнальні характеристики окремих каналів БСП на основі камери NOVUS NVC-530: 1 – на довжині хвилі 0,58 мкм; 2 – на довжині хвилі 0,60 мкм

Для нормування світлосигнальних характеристик окремих каналів на стенді з універсальним монохроматором УМ-2 були проведені дослідження ділянки спектральної характеристики ПЗЗ-матриці, у межах якої знаходяться спектральні характеристики фільтрів.

Монохроматор у цій схемі використовується для розкладання потоку випромінювання від еталонного об'єкту на спектральні складові. 9+99+

Перед тим як приступити до вимірювання спектральної характеристики, монохроматор слід проградувати, тобто визначити довжини хвилі, що відповіда-

ють поділкам шкали барабану. Для цього скористаємося інтерференційним світлофільтром ФІ-08, спектральні характеристики якого відомі – максимум пропускання на довжині хвилі  $\lambda_{\text{ФІ-08}} = 0,6326$  мкм; коефіцієнт пропускання – 50%; спектральна ширина полоси по рівню 0,5 – 0,0057 мкм; спектральна ширина полоси по рівню 0,1 – 0,0109 мкм.

Встановимо світлофільтр перед об'єктивом передавальної камери. Поблизу вхідної щілини монохроматора встановлюємо еталонний об'єкт – лампу СИ10-300 і підключимо її до стабілізованого джерела живлення.

Встановлюємо вхідну щільну 0,10 мм і відкриваємо затвор коліматора. Спостерігаючи на екрані монітора картинку з камери, виводимо в поле зору найбільш яскраву лінію. Довжина хвилі цієї лінії відповідає довжині хвилі пропускання світлофільтра  $\lambda_{\text{ФН-08}} = 0,6326$  мкм. Таким чином встановлюємо відповідність поділкам барабану монохроматора  $n$  окремим довжинам хвилі. Кожна поділка шкали барабану відповідає 0,01 мкм.

Для отримання ділянки спектральної характеристики матриці задаємо температуру  $T_0$ . За формулою зако-

ну Планка та враховуючи коефіцієнт випромінювальної здатності стрічки еталонної лампи СИ10-300, знаходимо значення спектральної щільності енергетичної світимості для відповідних довжин хвилі.

Проводимо вимірювання сигналу  $A_i$  на обраних довжинах хвилі  $\lambda_i$ , що встановлюємо за допомогою барабану монохроматора [4].

Отримана таким чином спектральна характеристика БСП на ділянці від 0,54 до 0,69 мкм разом із характеристиками фільтрів №9 та №10 представлена на рис.4.

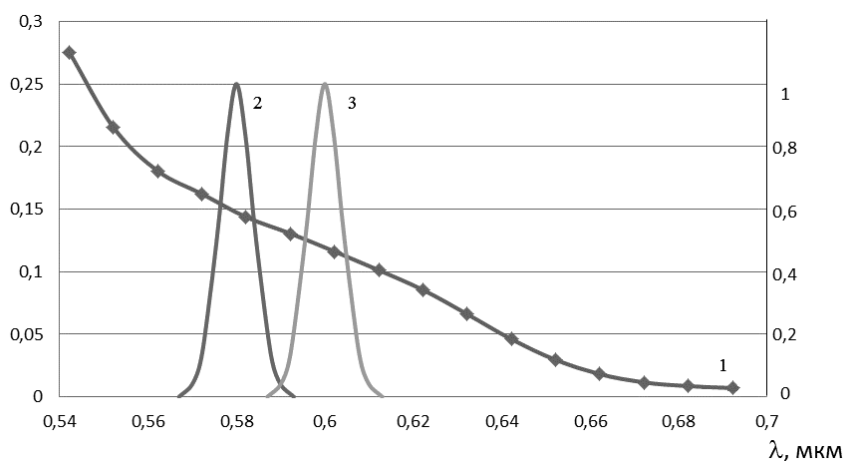


Рис. 4. Спектральні характеристики: 1 – БСП на основі ПЗЗ-камери NOVUS NVC 530; 2 – світлофільтра з довжиною хвилі пропускання 0,58 мкм; 3 – світлофільтра з довжиною хвилі пропускання 0,60 мкм

У ході експериментів накопичений також значний обсяг експериментального матеріалу щодо формування сигналів у телевізійних засобах іншого призначення, зокрема, у телевізійних пірометрах, що можуть бути застосовані для контролю температурних режимів у технологіях трубопрокатного виробництва, у телевізійній мікроскопії тощо.

**Висновки.** Однією з найважливіших задач є проведення експериментальних досліджень з метою визначення характеристик біспектральних телевізійних засобів вимірювання температури. До таких характеристик можна віднести світлосигнальну та спектральну характеристики, темновий сигнал, а також діапазон лінійності.

Таким чином, виконані дослідження дозволили реалізувати наступне:

1. Створити методичку дослідження світлосигнальної характеристики біспектральних засобів вимірювання з метою встановлення діапазону лінійності, шляхом дослідження світлосигнальних характеристик окремих каналів на лабораторному стенді.

2. Створити експериментальний зразок біспектрального пірометра на основі ПЗЗ-камери NOVUS NVC-530, лабораторний стенд і програмне забезпечення для експериментального дослідження його характеристик.

3. Провести експериментальні дослідження світлосигнальної характеристики біспектрального пірометра з метою встановлення його діапазону лінійності.

За умов експерименту характеристика БСП на основі камери NOVUS NVC-530 лінійна в діапазоні змін освітленості мішені від 0,1 до 3,8 лк, тобто в діапазоні близько 32 дБ.

#### Список літератури / References

1. Markin, M.A. (2013), "Television Pyrometry Improvement", *Nauka i studia*, no.7 (75), pp. 88–93.
2. ГОСТ14008-82. Лампы температурные образцовые. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 8 с.  
GOST 14008 82. (1982), *Lampy temperaturnye obraztsovye* [Lamps Temperature Exemplary], Izdatelstvo Standardov, Moscow, Russia.
3. Гайдукевич Ю.Ч. Системы эффективного тепловизионного контроля высокотемпературных полей в производстве изделий электронной техники: автореф. дис. на соискан. научн. звания канд. техн. наук: спец. 05.27.07 / Ю.Ч. Гайдукевич – Минск, 1991. – 20 с.  
Gaidukevich, Yu.Ch. (1991), "Effective thermal control system of high fields in the manufacture of electronic equipment", *Abstract of Cand. Sci. (Tech) dissertation*, 05.27.07, Radio Engineering, Minsk, Belorussia.
4. Кузнецов А.В. Оценка диапазона измерений телевизионного монохроматического пирометра / А.В. Кузнецов // *Оптический журнал*. – 2008. – Т.75. – №1. – С.39–42.  
Kuznetsov, A.V. (2008), "Rating span television monochromatic pyrometer", *Optical Journal*, vol. 75, no.1, pp. 39–42.

5. Мельничук С.И. Использование гауссового интеграла ошибок при оценивании метрологических характеристик преобразователей информационно-измерительных систем / С.И. Мельничук, И.З. Мануляк // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2013. – №5.

Melnichuk, S.I. and Manuliak, I.Z. (2013), "Implementation of gauss error integral for assessment of the metrological characteristics of information measuring system converter", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no.5.

**Цель.** Главными задачами исследования являются создание лабораторного стенда, методики измерения; программного обеспечения; проведения экспериментальных исследований характеристик биспектральных телевизионных пирометров, обуславливающих точность измерения температуры. Повышение точности измерения температуры может быть достигнуто как за счет улучшения характеристик биспектральных телевизионных пирометров, так и за счет совершенствования методик их применения. Совершенствование характеристик биспектральных телевизионных пирометров, в частности, повышение точности измерения температуры, в первую очередь, требует совершенствования метрологического обеспечения.

**Методы.** Одной из важнейших задач является проведение экспериментальных исследований с целью определения характеристик биспектральных телевизионных средств измерения температуры. К таким характеристикам можно отнести светосигнальную и спектральную характеристики, диапазон линейности.

**Результаты.** Создана методика исследования светосигнальной характеристики биспектральных средств измерения, с целью установления диапазона линейности, путем исследования светосигнальных характеристик отдельных каналов на лабораторном стенде. Создан экспериментальный образец биспектрального пирометра на основе ПЗС-камеры NOVUS NVC-530, лабораторный стенд и программное обеспечение для экспериментального исследования его характеристик. В условиях эксперимента характеристика биспектрального телевизионного пирометра на основе камеры NOVUS NVC-530 линейная в диапазоне изменений освещенности мишени от 0,1 до 3,8 лк, т.е. в диапазоне около 32 дБ.

**Научная новизна.** Научная новизна предложенного в работе метода – адекватное определение светосигнальной характеристики, а именно ее линейной части относительно входных сигналов, на которой обеспечивается концептуальное условие о независимости микропреобразователей.

**Практическая значимость.** Создан лабораторный стенд для экспериментальных исследований характеристик биспектрального телевизионного пирометра. Проведены экспериментальные исследования светосигнальной характеристики биспектральных телевизионных пирометров с целью установления его диапазона линейности.

**Ключевые слова:** диапазон линейности, телевизионная пирометрия, светосигнальная характеристика

**Purpose.** The main objectives of the study are: creation of a laboratory bench, measurement techniques and software; experimental study of bispectral television pyrometers properties affecting the temperature measurement accuracy. The increase of the temperature measurement accuracy can be achieved both by improving the properties of bispectral television pyrometer, and by improving the methods of their application. The bispectral television pyrometers performance improvement, in particular the accuracy of the temperature measurement, requires improvement of metrological provision.

**Methodology.** One of the most important tasks is to conduct experimental research to determine the properties of bispectral television temperature measurement devices. Such properties include light signaling and spectral characteristics and the range of linearity.

**Findings.** Results suggest the research procedure for the light-signal properties of bispectral measurement tools studies intended on determination of the range of linearity by examining light-signal properties of individual channels on a laboratory model. The experimental model of bispectral pyrometer that is based on the CCD camera NOVUS NVC-530, laboratory model and software for experimental studies of its characteristics were created. Under the experimental conditions the characteristic of bispectral television pyrometer based on camera NOVUS NVC-530 ramps up from 0.1 lux to 3.8 lux, i.e. it is in the range of about 32 dB.

**Originality.** The research results allowed adequate determination of the light-signal properties, namely its linear part with respect to the input signals. This provides a conceptual condition of independence of microconverters.

**Practical value.** The laboratory model for experimental studies of bispectral television pyrometer has been created. Experimental studies of the light-signal properties of bispectral television pyrometer to determine its range of linearity were held.

**Keywords:** linearity range, television pyrometer, light-signal properties

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В. П. Масловим. Дата надходження рукопису 12.03.14.*