
МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОФОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

УДК 681.32

Г. Д. ДОРОЩЕНКОВ

ОПТОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ СИНХРОННОСТІ РУХУ

*Вінницький національний технічний університет
95, Хмельницьке шосе, Вінниця, 21021, Україна*

Анотація. В даній статті розглядаються функціональні процеси в оптоелектронній системі контролю синхронності руху частин конструкції та взаємозв'язки її компонентів.

Ключові слова: оптоелектронна система контролю, лазерний випромінювач, лінійка приймачів випромінювання, евтектичний об'єктив.

Аннотация. В данной статье рассматриваются функциональные процессы в оптоэлектронной системе контроля синхронности движения частей конструкции и взаимосвязи ее компонентов.

Ключевые слова: оптоелектронна система контролю, лазерный излучатель, линейка приемников излучения, эвтектический объектив.

Abstract. This article deals with functional processes in optoelectronic system of control synchronal movement construction and interrelation of its components.

Key words: optoelectronic control system, laser emitter, line of receivers of radiation, eutectic lens.

Останнім часом індустрія культурно-масових розваг і відпочинку поповнилась новими засобами, а саме механізмами підйому людей, призначених для вертикального підйому оглядового майданчика, виконаного у вигляді капсули для огляду будь-яких об'єктів з висоти 50-70 метрів [1].

Варіанти положень оглядового майданчика наведено на рис. 1.

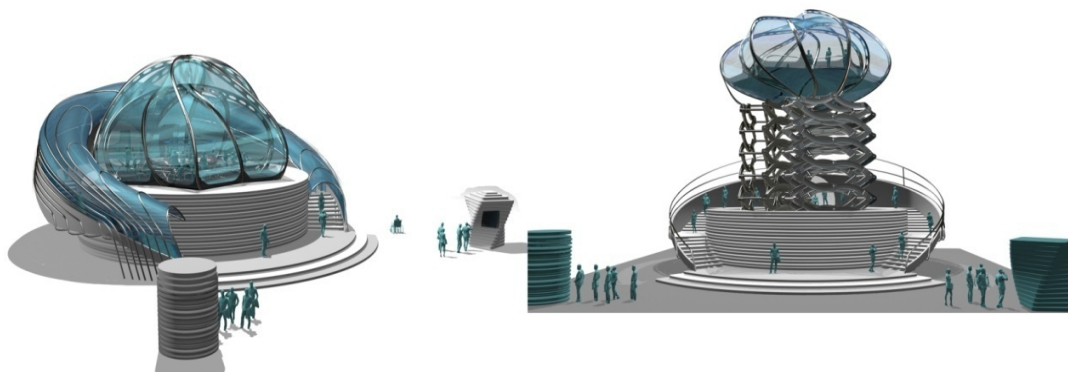


Рис. 1. Вигляд капсули в різних станах

Для підйому капсули використовується підйомний пристрій [2, 3], який містить основу з встановленим на ній просторової форми розсувним механізмом, що має в основі рівносторонній багатокутник і приводним механізмом. Кожна сторона розсувного механізму утворена принаймні трьома рядами структурних елементів, кожен з яких виконаний у вигляді щонайменше трьох решіток, що виконані за типом пантографа, вільні кінці важелів кожної решітки однієї сторони шарнірно зв'язані з однойменними кінцями важелів суміжної сторони розсувного механізму, а кінці важелів першого ряду решіток встановлені на основі з можливістю радіального переміщення до центру багатокутника при зміні довжини розсувного механізму.

На рис. 2 наведено схематично одна з частин механізму у верхньому положенні. В розглянутій конструкції при підйому або спуску в складових частинах з різних причин можливі перекоси, що є абсолютно неприпустимим явищем з точки зору безпеки. Отже виникає необхідність розробки засобу для контролю синхронності руху складових частин конструкції.

Одним з варіантів контролю синхронності руху є вимірювання довжин лінійних переміщень складових частин конструкції та їх порівняння. Такі вимірювання природно виконати відповідними засобами у складі оптоелектронної інформаційно-вимірювальної системи [4-8].

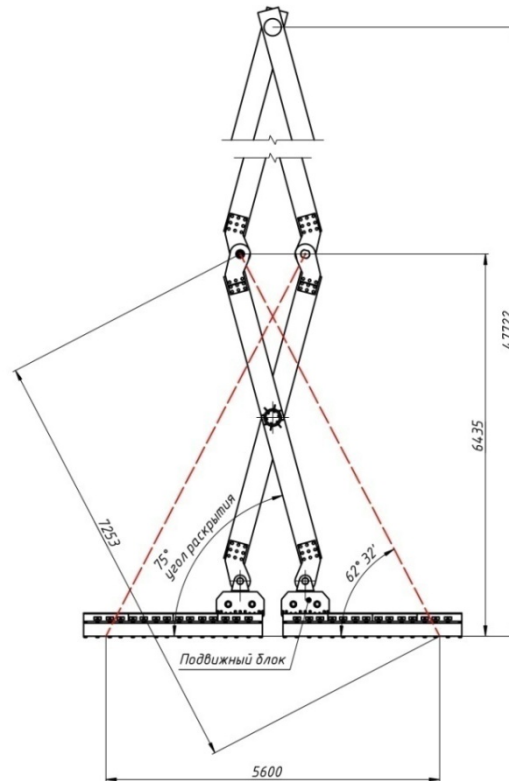


Рис. 2. Видгляд частини механізму у верхньому положенні

Найбільш точними оптоелектронними (лазерними) приладами для вимірювання довжин та лінійних переміщень є інтерферометри. Тому розглянемо елементи теорії вимірювальних інтерферометрів та способи отримання інтерференційної картини [9, 10].

Інтерференція когерентних хвиль. Якщо при взаємодії двох або декількох світлових хвиль відбувається перерозподіл їх сумарної енергії, то виникає явище інтерференції і утворюється характерна інтерференційна картина, яка представляє собою послідовне чередування максимумів і мінімумів інтенсивності у вигляді смуг або кілець.

Необхідною умовою для появи інтерференції є когерентність світлових хвиль, тобто рівність частот цих хвиль та постійна в часі різниця фаз. Ці умови задовольняють тільки монохроматичні світлові хвилі, в основі появи яких лежать гармонійні коливання.

$$U = A \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (1)$$

де A – амплітуда коливань; U – значення коливальної величини в даний момент часу t ; ω – кутова частота коливань; φ_0 – початкова фаза коливань.

Застосування принципу суперпозиції до світлових хвиль означає, що результуюча напруженість електричного поля двох світлових хвиль, які проходять через одну точку, дорівнює векторній сумі напруженостей електричних полів кожної з хвиль окремо. У випадку, коли напруженості складових полів рівні, але протилежно направлені, напруженість результуючого поля дорівнює нулю. Якщо ж напрям векторів напруженості електричних полів взаємодіючих хвиль однаково направлені, то відбувається підвищення інтенсивності світла. Амплітуда результуючого коливання знаходиться шляхом геометричного додавання амплітуд вихідних коливань.

$$A_p^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \delta\varphi, \quad (2)$$

де $\delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

Найважливішою характеристикою при складанні гармонічних коливань є інтенсивність I результуючого коливання. Поняття інтенсивність умовне. Під інтенсивністю коливань мають на увазі величину, пропорційну квадрату амплітуди. Енергія коливання пропорційна інтенсивності. Аналіз виразу (2) з точки зору вимірювання різниці фаз приводить до наступних висновків.

1. При різниці фаз $0; 2\pi; \dots 2\pi n$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) $\cos\delta\varphi = 1$.
2. При різниці фаз $\pi; 3\pi; \dots \pi(2n + 1)$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) $\cos\delta\varphi = -1$.

В першому випадку відбувається підсилення результуючого коливання, в другому – ослаблення. Якщо при цьому $I_1 = I_2$, то $I_{\max} = 4I_1$, а $I_{\min} = 0$ (тобто відбувається повне гасіння світла). Зазвичай ці умови визначаються не через різницю фаз $\varphi_2 - \varphi_1$, а через різницю шляхів ходу хвиль.

Максимуми інтерференційної картини мають місце в тому випадку, коли різниця ходу хвиль, що інтерферують, рівна парному числу півхвиль або цілому числу довжин хвиль. Мінімуми інтерференційної картини виникають при різниці ходу хвиль, що інтерферують, рівному непарному числу півхвиль.

З викладеного виходить, що різниця ходу, що створюється оптичною інтерференційною схемою, складатиме число довжин хвиль, що укладаються на відрізок, який є різницею оптичних довжин шляхів хвиль, що інтерферують.

Важливою кількісною характеристикою якості інтерференційної картини є контраст (водність інтерференційних смуг), для оцінки якого використовують функцію:

$$K = (I_{\max} + I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min}). \quad (3)$$

Ця характеристика може змінюватися від 1 до 0. Причинами, що знижують контраст інтерференційної картини, є нерівність інтенсивностей, фонове засвічення, розмір джерела випромінювання, його монохроматичність.

Для здійснення двопрменевої інтерференції в будь-якій реальній схемі необхідно від одного джерела випромінювання отримати дві когерентні хвилі, а потім звести їх в площину спостереження.

В [11] розглянуті датчики ELOVIS, що використовують спеціальну форму двопрменевої технології лазерного інтерферометра для виміру швидкості об'єкта з дуже високою точністю. Швидкість перераховується за часом для виміру довжини. На вимірюваній поверхні за допомогою двох лазерних променів створюється смугастий візерунок (рис. 3).

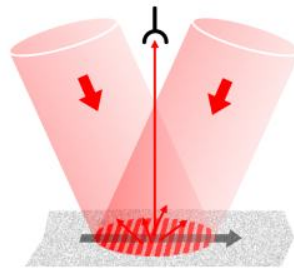


Рис. 3. Смугастий візерунок від двох лазерних променів

Принцип дії даних датчиків заснований на використанні ефекту Доплера, відповідно до якого частота прийнятого сигналу, відбитого від об'єкта, може відрізнитися від частоти випроміненого сигналу й різниця залежить від співвідношення швидкостей випромінюючого й відбиваючого об'єктів відносно один одного. Лазерні промені перетинаються під певним кутом і утворюють структуру, рівномірно розподілених світлих і темних смуг (відстань між смугами є функцією довжини хвилі лазерного випромінювання й кута променя). Через рух поверхні, що розсіює, відбитий і промінь, що попадає в детектор, модулюється по інтенсивності. Причому частота модуляції яскравості променя прямо пропорційна швидкості поверхні, що рухається, тобто доплерівська частота. Використання спеціальних міток або шкал на тест-об'єкті не є необхідним. Розсіяне світло перетворюється фотоприймачем в електричний сигнал і подається через аналогово-цифровий перетворювач у цифровий процесор обробки сигналів (DSP). За допомогою цього високопродуктивного процесора з оцифрованого сигналу вираховується актуальна швидкість і довжина з точністю до 0,01% і краще.

Технологія інтерферометрів ELOVIS не залежить від типу вимірюваної поверхні (структура, колір, ступінь блиску, відбиття, поглинання світла, нерівності). Вимірювальні системи ELOVIS у більш ніж 95% всіх випадків будуть працювати без спеціальної додаткової параметризації. Системи безконтактних вимірів ELOVIS установлюють нові стандарти в довговічності, надійності, мініатюрності, варіабельності й простоти в експлуатації.

Одним з датчиків системи ELOVIS є датчик μ SPEED smartsensor для вимірювання довжини або швидкості з наступними технічними даними:

Діапазон вимірів	1 м/хв – 4,8 м/хв,
Точність	$\pm 0,05$ %.

Датчик μ SPEED-classic складається з компактної голівки датчика (154×94×39мм) і контрольно-процесорного блоку з дисплеєм, які зв'язані між собою кабелем. Квадратурний і імпульсний виходи роблять μ SPEED smartsensor ідеальним датчиком. Обробка вимірювального сигналу відбувається безпосередньо в голівці датчика.

На двохстрічковому дисплеї може відобразитися актуальна довжина, швидкість, а також якість сигналу й інші параметри. Вимірювальна система є унікальною завдяки своїй компактності, надійності, простоті у використанні, терміну служби, різним функціям керування й аксесуарам. З 1999 року вона акредитована в національній німецькій метрологічній службі (PTB), а з 2008 року також відповідно до директиви Євросоюзу для вимірювальних інструментів MID (measurement instruments directive - 2004/22/EG Standard). Система може використовуватися як портативний датчик для калібрування енкадерів машин або, наприклад, для керування різанням при оснащенні старих машинах з ручним приводом ріжучого пристрою. RS232 принтер може бути підключений безпосередньо до процесора для роздрукування етикеток, ярликів або протоколів вимірів. μ SPEED-classic живиться від 230В (110В) і видає прямо дані довжини або швидкості по двох інтерфейсах RS232, в аналоговій формі, або через імпульсний вихід. Крім того система може обробляти або ж видавати сигнали керування через оптоізований вхід і вихід.

На основі розглянутих датчиків можливо розробити оптоелектронну систему контролю синхронності руху, але з точки зору відомого критерію [12] максимум ефекту/мінімум витрат даний підхід не буде оптимальним.

Другим з варіантів контролю синхронності руху є фіксація виникнення перекосів на основі оптико-електронних засобів з лазерного модуля та приймачів випромінювання.

Для підйому або спуску капсули оглядового майданчика використовуються три механічні пристрої (рис. 2), контроль синхронності руху яких одне до одного можуть виконати два оптико-електронні пристрої з лазерного модуля та приймачів випромінювання. Оптична схема лазерного модуля та приймачів випромінювання (одна з двох) наведена далі.

Для розробки оптичної схеми лазерного модуля та приймачів випромінювання скористаємося відомими основами геометричної оптики [13, 14].

Оптична схема лазерного модуля та приймачів випромінювання наведена на рис. 4.

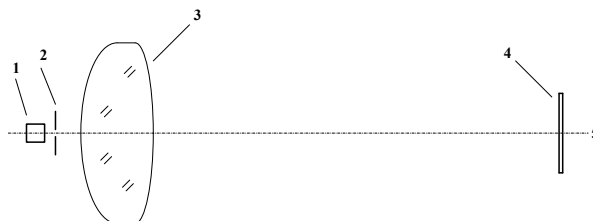


Рис. 4. Оптична схема лазерного модуля та приймачів випромінювання

На рис. 4 позначено: 1 – лазерний випромінювач, 2 – діафрагма, 3 – евтектичний об'єктив, 4 – лінійка приймачів випромінювання, 5 – вісь оптичної системи.

Евтектичний об'єктив 3 на схемі зображений умовно у вигляді однієї лінзи. В реальному пристрої це може бути декілька лінз. Евтектичний об'єктив 3 повинен мати невелику фокусну відстань для розташування в неї діафрагми 2, яка формує розмір плями опромінення лазерного випромінювача 1 та необхідну фокусну відстань (дорівнює відстані між центрами механічних пристроїв ≈ 3 м) для розташування в неї лінійки приймачів випромінювання 4.

При синхронному русі трьох частин конструкції лазерний промінь буде сфокусований на центральному фотоприймачі лінійки 4. Будь-який перекося призведе до опромінення фотоприймачів вище або нижче центрального. Кількість необхідних фотоприймачів в лінійці необхідно визначити експериментально для забезпечення точності виміру перекосів.

Таким чином при не синхронному русі частин конструкції надійде відповідна інформація за рахунок спрацьовування фотоприймачів вище або нижче центрального.

Структурна схема оптоелектронної системи контролю синхронності руху частин конструкції (ОСКСР) наведена на рис. 5.

На рис. 5 наступні позначення: БЛВ – блок лазерних випромінювачів; БПВ – блок приймачів випромінювання; БПДІ – блок прийому даних та інтерфейсу з ПК; ПК – персональний комп’ютер; БУСГ – блок управління системою гідравліки. Крім того, на схемі подвійною стрілкою позначено оптичний або ефірний зв’язок. БЛВ містить три лазерних випромінювачів, три об’єктиви, джерело живлення та схему управління лазерами. БПВ містить три лінійки приймачів випромінювання, джерело живлення та схему формування й передачі даних. БПДІ налаштований на прийом інформації з трьох частин БПВ та передачі її до ПК, який працює за певною програмою. Після обробки отриманої інформації ПК виробляє необхідні сигнали для БУСГ, який виконує необхідні дії для управління пристроями гідравліки, що застосовані для підйому або спуску капсули оглядового майданчика.

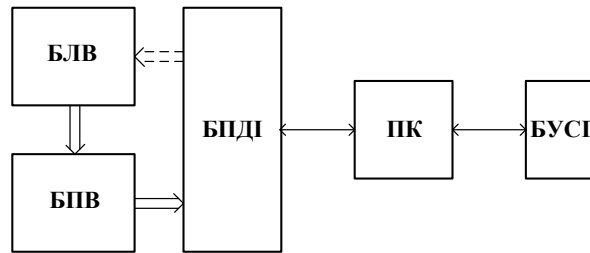


Рис. 5. Структурна схема ОСКСР

Функціональна схема (одної з 3 частин) блоку приймачів випромінювання наведена на рис. 6.

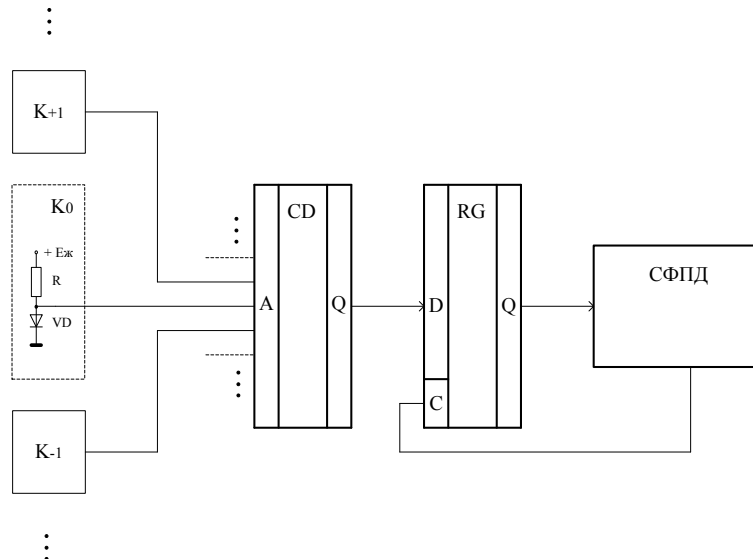


Рис. 6. Функціональна схема блоку приймачів випромінювання

На рис. 6 позначено: К – комірка фотоприймача (фотодіод та резистор), CD – шифратор, RG – регістр, СФПД – схема формування й передачі даних.

Кількість необхідних комірок фотоприймачів К в лінійці, як вже було сказано необхідно визначити експериментально. Реально їх має бути не менше п’яти за наступних міркувань: з початку виникнення перекосу (спрацює наступний за центральним фотоприймач) до реакції системи (спрацювання системи гідравліки) пройде деякий час, перекіс може збільшитися, а за відсутності подальших фотоприймачів зникне визначення перекосу.

Шифратор CD та регістр RG відомі логічні елементи цифрової техніки.

Схема формування й передачі даних СФПД може бути виконана на основі ефірного передатчика або оптичного передатчика, наприклад, за типом інфрачервоного перемикача каналів приймача телебачення.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Побудова ефективної структури оптоелектронної системи контролю синхронності руху частин конструкції має базуватися як на розрахунках вартості розглянутих варіантів вирішення проблеми, так і на впровадженні новітніх досягнень оптико-електронної техніки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пат. 114755 Україна, МПК В66F 3/00. Підйімач / Архіпов В. І. та інші; заявником і патентовласником є Архіпов В. І. – № u201612323; заявл. 05.12.16; опубл. 10.03.2017. Бюл. № 5.
2. Пат. Росії 2038280, МПК В66F 3/00. Підйомний пристрій; опубл. 27.06.1995.
3. Пат. Росії 2313482, МПК В66F 3/00. Підйімач; опубл. 27.12.2007.
4. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: У 2 т. / [Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б. та ін.]; під ред. Б.Стадника. – Львів: Вид-во «Львівська політехніка», 2005. – Т. 1. Основи метрології. – 532 с.
5. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / [Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т., Грабко В. В.] – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 522 с.
6. Кирилловский В. К. Оптические измерения. Ч.1. Введение и общие вопросы. Точность оптических измерений. Учебное пособие / В. К. Кирилловский – СПб: ГИТМО(ТУ), 2003. – 47 с.
7. Кирилловский В. К. Оптические измерения. Ч.3. Функциональная схема прибора оптических измерений. Типовые узлы. Оптические измерения геометрических параметров. Учебное пособие. / В. К. Кирилловский – СПб: ГУ ИТМО, 2005. – 67 с.
8. Оптоелектронні системи та пристрої. Навчальний посібник / В. П. Кожем'яко, В. С. Гаркушевський, В. Г. Петрук. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 100с.
9. Міхєєнко Л. А. Хвильові вимірювання. Навчальний посібник з дисципліни «Оптичні вимірювання», ч. 3. – Київ: НТУ КПІ. – 2011. – 64 с.
10. Основы лазерной техники / Байбородин Ю. В. – Киев : Вища школа. Головное изд-во. 1981. – 408 с.
11. Бесконтактный измеритель длины и скорости. Электронный ресурс / <http://www.alfa-sensor.ru/ru/non-contact-speed-measurement-ru>
12. Кузьмин И. В. Оценка эффективности и оптимизации АСКУ / Кузьмин И. В. – М. : Сов. радио, 1971. – 296 с.
13. Прикладная оптика / М. И. Апенко, А. С. Дубовик. – М. : Наука. 1971. – 392 с.
14. Огурцов А. Н. Физика для студентов. Оптика / Электронный ресурс / <http://sites.google.com/sites/anogurtsov/lectures/phys>

REFERENCES

1. Pat. 114755 Ukrayina, MPK B66F 3/00. Pidiymach / Arkhipov V. I. ta inshi; zayavnykom i patentov-lasnykom ye Arkhipov V. I. – № u201612323; zayavl. 05.12.16; opubl. 10.03.2017. Byul. № 5.
2. Pat. Rosiyi 2038280, MPK B66F 3/00. Pidyomnyy prystryi; opubl. 27.06.1995.
3. Pat. Rosiyi 2313482, MPK B66F 3/00. Pidiymach; opubl. 27.12.2007.
4. Osnovy metrolohiyi ta vymiryuval'noyi tekhniki: Pidruchnyk: U 2 t. / [Dorozhovets' M., Motalo V., Stadnyk B. ta in.]; pid red. B.Stadnyka. – L'viv: Vyd-vo «L'vivs'ka politekhnika», 2005. – T. 1. Osnovy metrolohiyi. – 532 s.
5. Osnovy metrolohiyi ta elektrychnykh vymiryuvan' : pidruchnyk / [Kukharchuk V. V., Kucheruk V. YU., Volodars'kyu YE. T., Hrabko V. V.] – Vinnytsya : VNTU, 2012. – 522 s.
6. Kyryllovskyy V. K. Optycheskiye yzmerenyya. CH.1. Vvedenye y obshchye voprosy. Tochnost' opty-cheskykh yzmerenyy. Uchebnoe posobyе / V. K. Kyryllovskyy – SPb: NYTMO(TU), 2003. – 47 s.
7. Kyryllovskyy V. K. Optycheskiye yzmerenyya. CH.3. Funktsyonal'naya skhema prybora optycheskykh yzmerenyy. Typovye uzly. Optycheskiye yzmerenyya heometrycheskykh parametrov. Uchebnoe posobyе. / V. K. Kyryllovskyy – SPb: HU YTMO, 2005. – 67 s.
8. Optoelektronni systemy ta prystroyi. Navchal'nyy posibnyk / V. P. Kozhem'yako, V. S. Harku-shevs'kyu, V. H. Petruk. – Vynnytsya: VNTU, 2005. – 100s.
9. Mikheyenko L. A. Khvylovi vymiryuvannya. Navchal'nyy posibnyk z dystsypliny «Optychni vymiryu-vannya», ch. 3. – Kyviv: NTU KPI. – 2011. – 64 s.
10. Osnovy lazernoy tekhniky / Bayborodyn YU. V. – Kyev : Vyshcha shkola. Holovnoe yzd-vo. 1981. – 408 s.
11. Bесkontaktnyy yzmeritel' dlyny y skorosty. Élektronnyy resurs / <http://www.alfa->

sensor.ru/ru/non-contact-speed-measurement-ru

12. Kuz'myn Y. V. Otsenka éffektyvnosti y optymyzatsyy ASKU / Kuz'myn Y. V. – M. : Sov. radyo, 1971. – 296 s.
13. Pryingladnaya optyka / M. Y. Apenko, A. S. Dubovyk. – M. : Nauka. 1971. – 392 s.
14. Ohurtsov A. N. Fyzyka dlya studentov. Optyka / Élektronnyy resurs / <http://sites.google.com/sites/anogurtsov/lectures/phys>

Надійшла до редакції 21.09.2017 р.

ДОРОЩЕНКОВ ГЕННАДІЙ ДМИТРОВИЧ. – к.т.н., доцент кафедри лазерної та оптикоелектронної техніки, Вінницького національного технічного університету.