

УДК 551.510.534:621.383.52

МЕТРОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОВІРКИ І ГРАДУЮВАННЯ ОПТОЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ У ВИДИМОМУ ДІАПАЗОНІ СПЕКТРА

Б. Шабашкевич, кандидат технічних наук, директор,

Ю. Добровольський, кандидат технічних наук, заступник директора,
ТОВ «Науково-виробнича фірма «Тензор» («НВФ «Тензор»», м. Чернівці,

В. Юр'єв, начальник СКБ ВАТ «ЦКБ Ритм», м. Чернівці

Розроблено комплекс метрологічного обладнання для забезпечення метрологічних досліджень засобів вимірювальної техніки для контролювання світлотехнічних величин (ЗВТСВ), призначених для вимірювання таких світлотехнічних параметрів як сила світла, освітленість та коефіцієнт пульсації джерел світла, який має розширений діапазон вимірювання світлотехнічних одиниць та мінімальні похибки їх вимірювання.

The complex of metrology equipment for metrological studies of measuring instruments light environment parameters for measuring parameters such as the lighting intensity, lighting and ripple of light sources, which has an extended measurement range of lighting units and minimal error of measurement.

Ключові слова: метрологічне обладнання, світлотехнічні одиниці, градуювання, похибка, спектр.
Keywords: metrology equipment, lighting units, calibration, error, spectrum.

Метрологічне забезпечення ЗВТ передбачає наявність на виробництві відповідного комплексу обладнання. У випадку світлотехнічних вимірювань потрібно не лише передати ЗВТ одиницю сили світла, освітленості та яскравості з певною похибкою вимірювання, а і визначити його динамічний діапазон (діапазон вимірювання світлотехнічних одиниць та лінійність ЗВТСВ у цьому діапазоні) та здатність контролювати коефіцієнт пульсації джерел світла згідно з [1].

Наявне метрологічне обладнання для калібрування, атестації та повірки ЗВТСВ, яке використовують у метрологічних центрах та на підприємствах — виробниках, не повною мірою забезпечує вимоги ринку, що постійно зростають [2—6].

У зв'язку з цим *мета статті* — розроблення низки новітнього метрологічного обладнання для вирішення зазначеної проблеми.

Основні вимоги, які сьогодні висувають до ЗВТСВ в Україні, країнах СНД та у світі — це розширення діапазону вимірювання світлотехнічних одиниць за мінімізації відповідних похибок.

Зокрема, згідно з [1] діапазон вимірювання освітленості повинен бути від 10^{-2} до 2×10^5 лк, яскравості $(1-2 \times 10^5)$ Кд/м², коефіцієнта пульсації $(1-100)\%$. Відповідно межі допустимої основної відносної похибки вимірювання освітленості повинні бути $\pm 5\%$, яскравості $\pm 8\%$, коефіцієнта пульсації $\pm 8\%$ [7].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для вирішення зазначених завдань у ТОВ «НВФ «Тензор» розроблено низку новітнього метрологічного обладнання, зокрема, комплекс для повірки і градуювання



Б. Шабашкевич



Ю. Добровольський



В. Юр'єв

оптоелектронних приладів у видимому діапазоні спектра, до складу якого входять:

- установка для вимірювання світлових параметрів оптоелектронних приладів ИДНМ4.003.00.00;
- стенд для створення стабільних потоків випромінювання ИДНМ4.004.00.00;
- установка для перевірки оптоелектронних приладів, призначених для вимірювання коефіцієнта пульсації, ИДНМ4.024.00.00.

Установка ИДНМ4.003.00.00 складається з освітлювача, світлоізолюваної робочої камери, робочого еталона — головки вимірювальної фотометричної (ГВФ), перетворювача струм-напруга ППТН-02, вольтметра цифрового В7-34А, рейки для кріплення екранів та робочого еталона, рейтера зі стійкою та кільцем для кріплення робочого еталона на рейці, екрана та екрана-розсіювача, блока живлення освітлювача та амперметра.

Зовнішній вид установки подано на рис. 1, структурну схему установки — на рис. 2.

За знятого екрана з розсіювачем освітлювач створює в площині головки фотометричної (ГФ) вимірюваного електронно-оптичного приладу освітленість від 10 до 200 лк. Зміна освітленості здійснюється за допомогою зміни відстані між джерелом випромінювання та ГФ. Точне значення освітленості визначається за допомогою робочого еталона.

Величину освітленості (E) в площині фоточутливого елемента (ФЧЕ) ГФ обчислюють за формулою:

$$E = U_{\text{ГФ}} / K_{\text{пр}} \cdot S_{\text{инт}}, \quad (1)$$

де E — освітленість в площині ФЧЕ ГВФ, лк; $U_{\text{ГФ}}$ — фотосигнал, зчитаний з вольтметра В7-34А, В; $K_{\text{пр}}$ — коефіцієнт перетворення ППТН-02 згідно з положенням перемикача К, В/А; $S_{\text{инт}}$ — інтегральна чутливість ГВФ згідно з її паспортом, А/лк.

У випадку, якщо інтегральну чутливість ГВФ визначено до світлового потоку (А/лм), освітленість



Рис. 1. Зовнішній вид установки ИДНМ4.003.00.00

Fig. 1. Appearance settings IDNM4.003.00.00

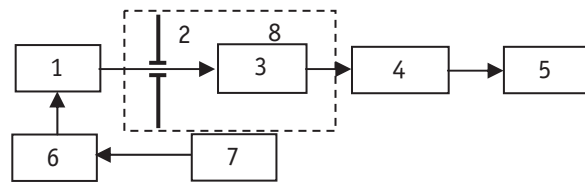


Рис. 2. Структурна схема установки ИДНМ4.003.00.00:

1 — лампа розжарювання, джерело з кольоровою температурою $T_k = (2856 \pm 100) \text{ K}$; 2 — екран (або екран з розсіювачем); 3 — робочий еталон — головка вимірювальна фотометрична; 4 — перетворювач струм-напруга ППТН-02; 5 — вольтметр В7-34А; 6 — ампервольтметр М2015; 7 — блок живлення освітлювача Б5-21; 8 — світлоізолювана робоча камера.

Fig. 2. Block diagram of the installation IDNM4.003.00.00

обчислюють за формулою:

$$E = U_{\text{ГФ}} / K_{\text{пр}} \cdot S_{\text{инт}} \cdot A_{\text{ФЧЕ}}, \quad (2)$$

де $A_{\text{ФЧЕ}}$ — площа фоточутливого елемента ГФ, рівна $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

За калібрування електронно-оптичних приладів за яскравістю використовують екран з розсіювачем, який є вторинним джерелом з визначеною в процесі роботи яскравістю.

Яскравість розсіювача (L) розраховують за формулою:

$$L = E \cdot l^2 / A_{\text{діафр}}, \quad (3)$$

де L — яскравість розсіювача, кд/м²; E — освітленість, визначена за формулою 1 (2), лк; l — відстань між розсіювачем та ФЧЕ, м; $A_{\text{діафр}}$ — площа діафрагми екрана з розсіювачем, $1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Для передавання електронно-оптичним приладам одиниці сили світла використовують джерело з відомою силою світла або, в процесі роботи, за допомогою робочого еталона, визначають силу світла джерела випромінювання, що входить до складу освітлювача установки.

Силу світла джерела випромінювання ($I_{\text{дж}}$) розраховують за формулою:

$$I_{\text{дж}} = E \cdot l^2, \quad (4)$$

де $I_{\text{дж}}$ — сила світла джерела випромінювання, кд; E — освітленість, визначена за формулою 1 (2), лк; l — відстань між ФЧЕ та площиною тіла розжарювання джерела випромінювання, м, яка повинна бути визначена з похибкою $\pm 0,005 \text{ м}$.

Основні технічні характеристики установки ИДНМ4.003.00.00 за передавання ЗВТСВ такі:

- діапазон створюваних (установлених) освітленостей — від 10 до 200 лк;
- допустима основна відносна похибка установлення освітленості міститься в межах $\pm 2,0\%$;
- діапазон установлення яскравості — від 30 до 100 кд/м²;

- допустима основна відносна похибка установлення яскравості міститься в межах $\pm 3\%$;
- діапазон вимірювання сили світла джерел випромінювання від 1 до 100 000 кд;
- допустима основна відносна похибка вимірювання сили світла міститься в межах $\pm 3\%$;
- освітлювач установки є джерелом з кольоровою температурою $T_k = (2856 \pm 100)$ К.

Відносні спектральні характеристики чутливості $S_{\text{отн.}}(\lambda)$ робочих еталонів — ГВФ відновлюють відносну спектральну світлову ефективність монохроматичного випромінювання для денного зору $V(\lambda)$ з відхиленнями:

- ♦ в області довжин хвиль від 0,4 до 0,75 мкм ($|\Delta_{\text{max}}|$), не більшими 3%;
- ♦ в області довжин хвиль від 0,3 до 0,4 мкм (α_{yf}) і від 0,75 до 1,2 мкм ($\alpha_{\text{нк}}$), не більшими 0,5%.

Стенд для створення стабільних потоків випромінювання ИДНМ4.004.00.00 призначений для вимірювання енергетичних характеристик; визначення нелінійності перетворення вхідного оптичного сигналу на вихідний електричний та динамічного діапазону фотоприймачів і електронно-оптичних приладів. Складається він з освітлювача та блока живлення.

Структурну схему освітлювача стенда наведено на рис. 3. Зовнішній вид стенда ИДНМ4.004.00.00 подано на рис. 4.

На лицевій стінці освітлювача розміщено: вихідне вікно 9, яке має різьбове з'єднання М42; ручки механізмів зміни положення послаблювальних елементів 1, 2, 3, 4 і перемикачі, за допомогою яких перекиваються потоки випромінювання — в положенні 3 потік перекритий, в положенні В — відкритий.

Оптична схема — це два канали, в кожному з яких розміщено: джерело випромінювання — лам-

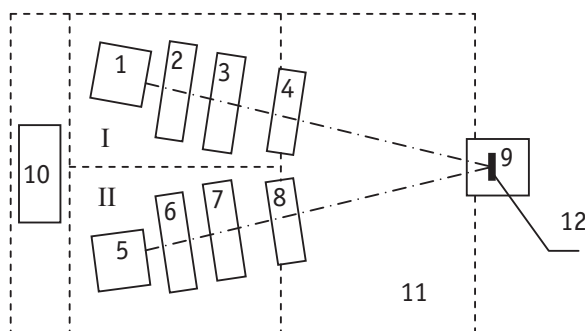


Рис. 3. Структурна схема освітлювача стенда ИДНМ4.004.00.00:

- 1, 5 — лампа розжарювання КГМ12-100;
- 2, 6 — об'єктив «Юпитер-3»; 3, 7 — турель зі світлофільтрами; 4, 8 — світлонепроникний екран;
- 9 — вихідне вікно освітлювача; 10 — вентилятор;
- 11 — корпус освітлювача; 12 — площа установлення фоточутливого елемента

Fig. 3. Block diagram illuminator stand IDNM4.004.00.00

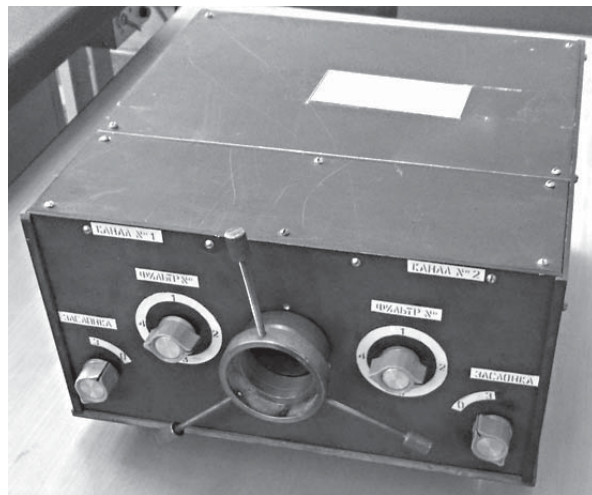


Рис. 4. Зовнішній вид стенда ИДНМ4.004.00.00

Fig. 4. Appearance stand IDNM4.004.00.00

пу розжарювання; оптичну систему — світлосильний фотооб'єктив; ослаблювач оптичного потоку — турель зі світлофільтрами та непрозорий екран. Конструкція освітлювача, за допомогою різьбового з'єднання, забезпечує кріплення вимірюваного фотоприймача на вихідному вікні освітлювача так, що його фоточутливий елемент міститься у площині формування світлових зондів 12 та виключає вплив розсіяного світла і сторонніх джерел випромінювання.

Основні технічні характеристики стенда ИДНМ4.004.00.00 за дослідження ЗВТСВ такі:

- ▲ максимальний рівень створюваної освітленості — не менший 100 000 лк;
- ▲ мінімальний рівень освітленості — не менший 0,001 лк;
- ▲ нестабільність потоку випромінювання — не більший $\pm 1,0\%$;
- ▲ коефіцієнт дискретного ослаблення потоку випромінювання ($K_{\text{осл}}$) в кожному оптичному каналі за положення перемикача: 1 — без ослаблення; 2 — $10 \pm 30\%$; 3 — $100 \pm 30\%$; 4 — $1000 \pm 30\%$.

Загалом, комплекс для перевірки і градування оптоелектронних приладів у видимому діапазоні спектра в складі установки ИДНМ4.003.00.00 та стенда ИДНМ4.004.00.00 дозволяє виконувати вимірювання з похибкою, не більшою $\pm 3\%$:

- ▼ у діапазоні вимірювання освітленості від $1 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^5$ лк;
- ▼ у діапазоні вимірювання сили світла від 1 до $2 \cdot 10^5$ кд;
- ▼ у діапазоні вимірювання яскравості від 7 до $1,2 \cdot 10^5$ кд/м².

Установку ИДНМ4.024.00.00 розроблено для створення та вимірювання потоків, що пульсують, оптичного випромінювання видимого діапазону

спектра для перевірки фотоприймачів і електронно-оптичних приладів та дослідження особливостей вимірювання коефіцієнта пульсації світла. Її зовнішній вид наведено на рис. 5. Структурну схему освітлювача подано на рис. 6, установки в цілому — на рис. 7.

В установці використано два джерела випромінювання, що пульсує: джерело типу А з модуляцією потоку випромінювання за допомогою механічного модулятора або набір світлодіодів білого світла, живлення яких включено через генератор імпульсів відповідної нормованої тривалості. Обидва джерела можна застосувати під час калібрування фотометрів за коефіцієнтом пульсації світла.

Установка складається із освітлювача, двох блоків живлення, генератора низькочастотного, осцилографа та комп'ютера.

На лицевій стінці освітлювача розміщено: вихідне вікно джерела модульованого випромінювання, яке має різьбове з'єднання М42; ручки механізмів зміни положення послаблювальних елементів 5, 6; перемикачі, за допомогою яких перекриваються потоки випромінювання.

Оптична схема — це два канали: один забезпечує створення модульованого потоку випромінювання за допомогою механічного модулятора 4; другий — немодульованого потоку за допомогою світ-

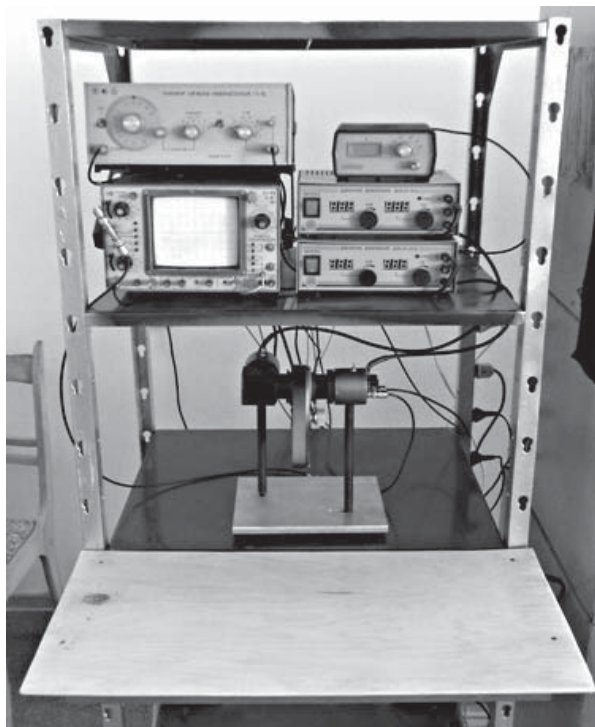


Рис. 5. Зовнішній вид конструкції установки для вимірювання параметрів фотометрів-пульсметрів ІДНМ4.024.00.00

Fig. 5. Exterior construction installation photometers to measure-pulsimeters IDNM4.024.00.00

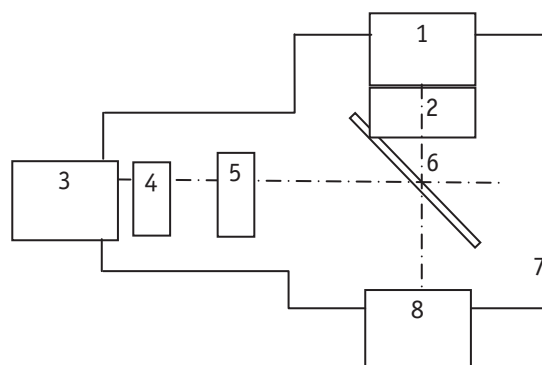


Рис. 6. Структурна схема освітлювача:

- 1 — джерело немодульованого випромінювання;
2 — набір світлофільтрів; 3 — джерело модульованого випромінювання; 4 — механічний модулятор або світлодіоди; 5 — набір світлофільтрів; 6 — напівпрозоре дзеркало (світлоподільний кубик); 7 — прозорий корпус; 8 — непрозорий тубус

Fig. 6. Block diagram lightbox

лодіодного джерела, живлення якого здійснюється за допомогою блока постійного струму.

Конструкція освітлювача, за допомогою різьбового з'єднання, забезпечує кріплення вимірюваного фотоприймача на вихідному вікні освітлювача так, що його фоточутливий елемент міститься у площині формування світлового зонда та виключає вплив розсіяного світла і сторонніх джерел випромінювання.

Процедура вимірювання здійснюється у такий спосіб: за допомогою блока живлення освітлювача встановлюється робочий режим джерела немодульованого випромінювання. Зміна світлового потоку здійснюється за допомогою послаблювальних елементів та зміни струму джерела випромінювання. Максимальна освітленість фоточутливого елемента забезпечується за встановлення турелі з нульовим послабленням (без світлофільтрів у положенні 1) та максимального струму.

Модуляція створюваного потоку випромінювання у першому випадку здійснюється за допомогою механічного модулятора. Частоту модуляції світлового потоку контролюють за допомогою осцилографа 15. Модуляція у другому випадку здійснюється за допомогою освітлювача на основі білих світлодіодів. Створюваний ними світловий потік модулюється за допомогою джерела їх живлення або генератора ГЗ-112.

За допомогою контрольного фотоприймача отримують значення максимальної (E_{\max}), мінімальної (E_{\min}) та середньої (E_{cp}) освітленостей та розраховують коефіцієнт пульсації (K_n):

$$K_n = [(E_{\max} - E_{\min}) / E_{\text{cp}}] \cdot 100 \% \quad (5)$$

Замість контрольного ФП установлюють досліджуваний фотометр і, в режимі вимірювань коефіцієнта

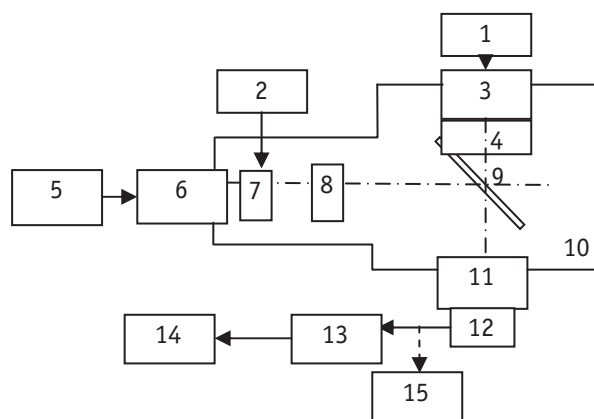


Рис. 7. Структурна схема установки
ИДНМ4.024.00.00:

1 — блок живлення джерела немодульованого випромінювання (Б5-43); 2 — блок живлення модулятора (Б5-43) або генератор ГЗ-112; 3 — джерело немодульованого випромінювання; 4 — набір світлофільтрів; 5 — блок живлення модульованого випромінювання (Б5-43); 6 — джерело модульованого випромінювання; 7 — механічний модулятор або світлодіоди; 8 — набір світло-фільтрів; 9 — напівпрозоре дзеркало (світло-подільний кубик); 10 — непрозорий корпус; 11 — непрозорий тубус; 12 — фотометрична головка пульсметра-люксметра; 13 — електронний блок пульсметра-люксметра; 14 — комп'ютер; 15 — осцилограф С1-83

Fig. 7. Block diagram of the installation IDNM4.024.00.00

пульсацій, вимірюють коефіцієнт та визначають похибку вимірювань.

Технічні характеристики установки такі:

► джерело модульованого (І-й канал) потоку випромінювання забезпечує зміну частоти модуляції випромінювання в межах від 50 до 200 Гц;

► середнє значення освітленості, створюваної джерелами в площині фоточутливого елемента пульсметра має фіксоване значення в межах (10—1000) лк;

► в установці забезпечується дискретна зміна рівнів освітленостей. Зміна рівнів забезпечує такий ряд коефіцієнтів пульсацій (в межах): (1—2); (5—10); (40—50) та (90—100) %;

► основна відносна похибка визначення фактичного значення коефіцієнта пульсацій (δ_K) не виходить за межі ± 10 %;

► діаметр світлової плями в площині фоточутливого елемента пульсметра — не менший 30 мм;

► нерівномірність світлового поля в діаметрі 25 мм не перевищує 5 %;

► нестабільність освітленості — не більша ± 2 %.

Метрологічні параметри установки для створення максимальної освітленості оцінюють у такий спосіб: вимірювання максимального рівня створюваної

освітленості (E_{\max}) виконують на установці, структурну схему якої наведено на рис. 8.

Робочий еталон (або ГВФ) розміщують на вихідному вікні освітлювача та під'єднують до ППТН-02. Перемикачі (обох каналів) з ослаблювальними світлофільтрами встановлюють у положення 1, перемикачі (обох каналів) — у положення 0. Вимірюють за допомогою вольтметра напругу фотосигнала U_c та визначають освітленість за формулою:

$$E_{\max} = U_c / S_{\text{инт}} \cdot K_{\text{пр}}, \quad (6)$$

де E_{\max} — величина освітленості, лк; U_c — напруга фотосигналу, В; $S_{\text{инт}}$ — інтегральна струмова чутливість фотометричної головки згідно з її паспортом, А/лк; $K_{\text{пр}}$ — коефіцієнт перетворення ППТН-02 згідно з його паспортом, В/А.

Вимірювання коефіцієнтів дискретного ослаблення потоку випромінювання виконують на установці, структурну схему якої наведено на рис. 7.

Для цього встановлюють перемикачі: першого каналу (І) — у положення 0, другого (ІІ) — у положення 3.

За чергою встановлюють перемикач першого каналу з послаблювальними світлофільтрами у положення 5 та 6 і, за допомогою вольтметра, виконують вимірювання напруг фотосигналів відповідно U_1^I та U_4^I .

Величину фотоструму визначають за формулою:

$$I_{1(2)}^I = U_{1(2)}^I / K_{\text{пр}}, \quad (7)$$

де $I_{1(2)}^I$ — фотострум за встановлення перемикача відповідно у положення 5, 6, А; $K_{\text{пр}}$ — коефіцієнт перетворення ППТН-02 згідно з його паспортом, В/А.

Визначають коефіцієнти ослаблення світлофільтрів ($K_{2(3,4)}^I$) першого каналу за формулою:

$$K_2^I = I_1^I / I_2^I. \quad (8)$$

Далі встановлюють перемикач 5: першого каналу (І) — у положення 3, другого (ІІ) — у положення 0 і, аналогічно з наведеною вище методикою, визначають коефіцієнти ослаблення світлофільтрів (K_2^{II}) другого каналу за формулою 8, попередньо вимірювши фотосигнали U_1^{II} та U_2^{II} та обчисливши фотоструми.

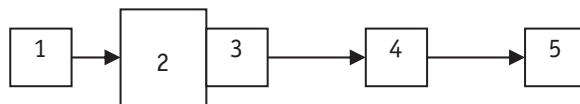


Рис. 8. Структурна схема установки для вимірювання максимального рівня створюваної освітленості:

1 — блок живлення Б5-21; 2 — освітлювач ИДНМ4.004.00.00; 3 — еталонна фотометрична головка ИДНМ4.002.00; 4 — перетворювач струм-напруга ППТН-02; 5 — вольтметр цифровий універсальний В7-34А

Fig. 8. The block diagram of the installation to measure the maximum level of illumination created


Результати повірки вважають задовільними, якщо значення коефіцієнтів ослаблення світлофільтрів $K_2^{I,II} = 10 \pm 20\%$.

ВИСНОВКИ

Розроблено комплекс метрологічного обладнання

для забезпечення метрологічних досліджень ЗВТСВ, призначених для вимірювання таких світлотехнічних параметрів, як сила світла, освітленість, яскравість та коефіцієнт пульсації джерел світла, що має розширений діапазон вимірювання світлотехнічних одиниць та мінімальні похибки їх вимірювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28-2006. — [чинний від 2007-01-01]. К: ИСС «Зодчий»: «ИМЦ» (Natural and artificial lighting : DBN V.2.5-28-2006. — [Incumbent on 2007-01-01]. К: ISS «Architect», «IMTS»), 2006. — 76 с/р. (Державний стандарт України (State Standard of Ukraine)).
2. Добровольский Ю.Г. Прилади НВФ «Тензор» для метрологічних досліджень параметрів світлового середовища / Ю.Г. Добровольский, Б.Г. Шабашкевич // Світлотехніка та електроенергетика (Dobrovolsky Yu.G. Devices of SPC «Tensor» for metrological research parameters light environment / Yu.G. Dobrovolsky, B.G. Shabashkevych // Lighting and electricity). — 2009. — № 3. — С/Р. 25—29.
3. Державна повірочна схема для засобів вимірювань світлових величин: ДСТУ 3394-96. — [чинний від 1996-01-01]. К: Держстандарт України (State verification scheme for means of measuring light values: DSTU 3394-96. — [valid from 01.01.1996]. К.: State Standard of Ukraine), 1996. 5 с/р.
4. Купко А.Д. Основные задачи в области световых измерений / А.Д. Купко // Світлолюкс (Kupko A.D. The main tasks in the field of light measurement / A.D. Kupko // Svitlolyuks). — 2009. — № 4. — С/Р. 40—44.
5. Справочная книга по светотехнике. / под ред. Ю.Б.Айзенберга. — М.: Энергоатомиздат (Handbook of Illumination. / Ed. Yu.B.Ayzenberga. — М.: Energoatomizdat), — 1983. — 469 с/р.
6. Купко А.Д. Совершенствование методики передачи световых единиц / А.Д. Купко // Український метрологічний журнал (Kupko A.D. Improving methods of transmission of light units / A.D. Kupko // Ukraine metrological journal). — № 1. — 2001. — С/Р. 45—47.
7. Боднар Л.М. Дослідження параметрів вимірювачів освітленості з точки зору придатності для атестації робочих місць / Л.М. Боднар, Ю.Г. Добровольський, Б.Г. Шабашкевич, Л.А. Назаренко // Метрологія та прилади (Bodnar L.M. Research of the parameters meters illumination in terms of suitability for the job evaluation / L.M. Bodnar, Yu.G. Dobrovolsky, B.G. Shabashkevych, L.A. Nazarenko // Metrology and instruments). — № 4. — 2009. — С/Р. 19—23. 

Отримано / received: 10.06.2015.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л.А. Назаренком (Україна).
Prof. L.A. Nazarenko, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.