

Рекомендація щодо фотометрії світлових сигналів морських навігаційних засобів

Рекомендація AISM E-122
Червень 2001

Рекомендація щодо фотометрії світлових сигналів засобів морської навігації

Рекомендація AISM E-122
Червень 2001



20ter, rue Schnapper – 78100 Saint Germain en Laye – France
Telephone: +33 1 34 51 70 01 Telefax: +33 1 34 51 82 05

Електронна пошта: iala-aism@wanadoo.fr Веб-сторінка: <http://www.iala-aism.org>

Рекомендація IALA щодо фотометрії світлових сигналів морських навігаційних засобів (Рекомендація E-122)

РАДА

ВРАХОВУЮЧИ функції IALA щодо забезпечення безпеки мореплавства, ефективності морських перевезень і захисту навколишнього середовища,

ВИЗНАЮЧИ, що вимірювання світлових сигналів морських навігаційних засобів раніше проводилося різними Маяковими Службами, виробниками обладнання, і незалежними лабораторіями, використовуючи методики, розроблені для обладнання подібного типу.

ВИЗНАЮЧИ ТАКОЖ, що процедури та процеси, які спочатку вибиралися для різних вимірювальних засобів не були тотожними. Отже, результати вимірювань оптичних режимів світлових сигналів морських навігаційних засобів може змінюватися.

ВИЗНАЮЧИ НАДАЛІ, що по мірі того, як ринки збуту поширюються за межі національних кордонів, все більш важливим стає те, щоб вимірювання й отримання результатів вимірювань оптичних режимів світлових сигналів морських навігаційних засобів робилися у стандартний спосіб.

ВРАХОВУЮЧИ, ЩО додаток до цієї рекомендації був підготовлений з метою сприяти впровадженню стандартизації вимірювальних методик.

ВРАХОВУЮЧИ ТАКОЖ, що додаток до цієї рекомендації доповнює більш ранні рекомендації, що надавалися IALA, а саме "Рекомендації щодо визначення сили світла світлових сигналів морських навігаційних засобів", грудень, 1977 рік, і "Рекомендації стосовно обчислення ефективної інтенсивності ритмічно-пульсуючого світла", листопад, 1980 рік.

УХВАЛЮЄ Стандарти фотометрії світлових сигналів морських навігаційних засобів, що містяться у додатку до цієї рекомендації; і

РЕКОМЕНДУЄ національним членам й іншим відповідним урядовим структурам, що постачають, або бажають постачати світлові сигнальні знаки морських навігаційних засобів, використовувати мінімальні стандарти фотометрії, що містяться у додатку до даної рекомендації.

* * *

Зміст

1. Вступ	6
1.1/Мета	6
1.2. Сфера застосування	6
1.3. Кольори світлових сигналів морських навігаційних засобів	7
1.3.1. Прийнятні Кольори	7
1.3.2. Области хроматичності	8
1.3.3. Методика вимірювання кольорів	9
1.4. Ефективна інтенсивність ритмічно-пульсуючого світла	9
1.5. Обчислення номінальної ємності	11
2. ЗАГАЛЬНІ ПРОЦЕДУРИ	11
2.1. Приведення до національних стандартів	12
2.2. Фотопічні відповіді CIE, $V(\lambda)$ і f_1	12
2.3. Колірна корекція	12
2.4. Мінімальна фотометрична відстань	13
2.5. Вимоги щодо оточення	14
2.6. Мінливість і стабільність	14
2.6.1. Сукупна середня мінливість	15
2.6.2. Розширена мінливість	15
2.6.3. Систематичні похибки	15
2.6.4. Загальні принципи вибіркового аналізу	15
2.7. Запис і збереження даних	15
3. Методи вимірювання	16
3.1. Вступ	16
3.1.1. Основний метод — стандартна лабораторна фотометрія	16
3.1.2. Альтернативні методи вимірювання	16
3.2. Загальні вимоги до обладнання	17
3.2.1. Фотометр	17
3.2.2. Калібровані джерела світла	17
3.2.3. Гоніометр	17
3.2.4. Силове обладнання	18
3.2.5. Дзеркало для спрямування пучка ламаною траєкторією	18
3.2.6. Система запису	19
3.3. Стандартні лабораторні фотометричні процедури	19
3.3.1. Об'єкти, що перевіряються	19
3.3.2. Позиціонування	19
3.3.3. Прогрівання обладнання	20
3.3.4. Контролювання розсіяного і загального світла	20
3.3.5. Вимірювання кутової залежності сили світла	20
3.3.6. Вимірювання часової залежності сили світла проблискових джерел випромінювання	21
3.4. Альтернативна процедура 1 — фотометрія нульової довжини	21
3.4.1. Додаткове обладнання, необхідне для фотометрії нульової довжини	22
3.4.2. Визначення мінливості системи нульової довжини	22
3.5. Альтернативна процедура 2 — телефотометрія на відкритому просторі	23
3.5.1. Додаткове обладнання, необхідне для телефотометрії на відкритому просторі	24
3.5.2. Процедури калібрування	26
3.5.3. Атмосферні умови і загальне світло	26
3.5.3.1. Запис даних про природні умови	26
3.5.4. Позиціонування телефотометра	26
3.5.5. Процедури вимірювання у телефотометрії на відкритому просторі	27
3.5.6. Додаткові процедури для вимірювання "на місці"	27
4. Збирання даних	29
4.1. Вихідні дані/ідентифікація позицій на етапі тестування	29
4.2. Ідентифікація обладнання, що перевіряється	29
4.3. Програмне забезпечення	29
4.4. Контроль енергоспоживання об'єкта що перевіряється	29
4.5. Примітки/коментарі	30
4.6. Ім'я і підпис контролера та дата	30
5. ПРЕДСТАВЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	30
5.1. Залежність сили світла від кута	30
5.1.1. Маяки кругової спрямованості (віялоподібні промені)	30
5.1.2. Поворотні маяки (голкоподібні промені)	30
5.1.3. Спрямовані маяки	31
5.2. Залежність сили світла від часу	31
5.3. Тривалість проблиску	31
5.4. Ефективна інтенсивність	32
5.5. Мінливість і стабільність	32
6. ВИСНОВКИ	32
7. ДЖЕРЕЛА	33
Додаток А. Приклад протоколу випробовувань	
Додаток В. Приклад закладеної можливості мінливості	

Стандарти фотометрії світлових сигналів морських навігаційних засобів

1. Вступ

1.1 Мета

Мета цього стандарту — забезпечити ухвалення методології запровадження універсальних процедур визначення й отримання результатів вимірювань оптичних режимів світлових сигналів чималої групи морських навігаційних засобів. Світлові сигнали морських навігаційних засобів складаються із проєкційного обладнання, у якому використовуються різні джерела світла, лінзи і дзеркала, окремо або у поєднанні, а також барабанні лінзи Френеля.

1.2 Сфера застосування

Цей стандарт стосується фотометричного вимірювання і характеризування усіх видів світлових сигналів морських навігаційних засобів. Взагалі, випромінювання від цих світлових сигналів може бути класифіковане як "голкоподібні" та "віялоподібні" промені.

Обладнання, що використовується для генерації голкоподібних променів складається із прожекторних маяків, одного або декількох оптичних елементів, а також збірки "окоподібних" лінз, створених шляхом обертання профілю Френеля навколо горизонтальної осі, обертання навколо фокальної точки. Пікова фіксована інтенсивність, притаманна цим маякам, коливається від кількох тисяч до кількох мільйонів кандел, з кутом розмикання променя (за результатами вимірів у межах 50% точок інтенсивності), за звичай, менше десяти градусів у будь-якому поперечному перетині. Маяки прожекторного типу можуть бути зафіксовані в одному положенні для *позначення своїм світлом* навігаційного каналу, або можуть обертатися навколо вертикальної осі, щоби окреслювати лінію горизонту і створювати проблесковий ефект для забезпечення кращої видимості на відстані.

Барабанні лінзи Френеля за звичай генерують віялоподібні промені. Ці оптичні елементи можуть використовуватися для генерації універсального світлового сигналу на горизонтальній площині (сигнал кругової спрямованості). Сигнал може бути знебарвленим або кольоровим в одному або більше сегментах навколо горизонту, або може вирізняти одну чи більше областей підвищеної інтенсивності шляхом використання конденсуючих панелей. Фіксовані пікові значення інтенсивності, режимні для цих маяків, коливаються від декількох десятків кандел до десятків тисяч кандел.

Джерела світла, що використовуються для генерації світлових сигналів морських навігаційних засобів — це, як правило, лампи накалювання або газорозрядні лампи. Світловипромінюючі діоди (СВД) все частіше використовуються у маяках низької інтенсивності, тоді як використання ацетиленового відкритого полум'я або газонакалювальної сітки у якості джерела світла трапляється все рідше.

1.3. Кольори світлових сигналів морських навігаційних засобів

1.3.1 Прийнятні кольори

Опис прийнятних кольорів для світлових сигналів морських навігаційних засобів міститься у Рекомендаціях IALA “щодо кольорів світлових сигналів навігаційних засобів”, грудень 1977 року (див. п. [1]). Див. також Мал. 1, наведений нижче.



Мал. 1.

Області хроматичності рекомендованих кольорів для світлових сигналів морських навігаційних засобів згідно колориметричної системи Міжнародної світлотехнічної комісії (CIE) 1931 року.

1.3.2. Області хроматичності

IALA рекомендовано, щоби хроматичність кольорів морських світлових сигналів AtoN знаходилася у межах рекомендованих областей зображених на Мал. 1. Однак, використання інших основних областей, зображених на Мал. 1, також вважається прийнятним. Області, яким надається перевага, розраховані на людей із порушеннями зору щодо сприйняття кольорів, а тому ймовірність їхнього сприйняття є вищою.

1.3.2.1 Кутові координати для основних областей

Колір	1		2		3		4		5		6	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
Червоний	0.735	0.265	0.721	0.259	0.645	0.335	0.665	0.335				
Жовтий	0.600	0.400	0.596	0.396	0.555	0.435	0.560	0.440				
Зелений	0.305	0.689	0.321	0.494	0.228	0.351	0.028	0.385				
Білий	0.500	0.382	0.440	0.382	0.285	0.264	0.285	0.332	0.453	0.440	0.500	0.440

1.3.2.2 Кутові координати для рекомендованих областей

Колір	1		2		3		4	
	x	y	x	y	x	y	x	y
Червоний	0.710	0.290	0.700	0.290	0.670	0.320	0.680	0.320
Жовтий	0.585	0.415	0.581	0.411	0.555	0.435	0.560	0.440
Зелений	0.022	0.778	0.282	0.518	0.207	0.397	0.013	0.494
Білий	0.440	0.382	0.285	0.264	0.285	0.332	0.440	0.432

1.3.3. Методика вимірювання кольорів

Для вимірювання кольорів світлових сигналів необхідно виконати відповідні колориметричні або спектрорадіометричні вимірювання. Трифільтрові (триколірні) колориметри можна використовувати для широкополосних кольорових світлових сигналів, наприклад, тих, що отримуються шляхом використання кольорового фільтра у поєднанні із світлом білого сигналу. Втім, їхнє використання, як правило, не рекомендується для вимірювання джерел світла з вузьким спектральним розподілом, як наприклад, СВД. Спектрометр може використовуватися для вимірювання кольорів усіх джерел світла [15].

1.4 Ефективна інтенсивність ритмічно-пульсуючого світла

Щоби полегшити мореплавцям розпізнання світлових сигналів навігаційних засобів, світлові сигнали пов'язуються із певним періодом часу. Ефективна інтенсивність світлового сигналу визначається еквівалентністю порогу сприйняття фіксованого світлового сигналу. Повне обговорення цієї концепції можна знайти в Рекомендаціях IALA "щодо визначення сили світла морських навігаційних засобів," грудень, 1977 рік [2]. Обчислення ефективної інтенсивності вимагає знання відношення сили світла до часового інтервалу. Для поворотних систем із голкоподібними променями, цього можна досягти шляхом вимірювання профілю інтенсивності променя на площині, що описується оптичною віссю сигналу і що є нормаллю по відношенню до осі обертання. Кутова залежність сили світла може бути виражена як часова залежність номінальних розрахункових показників обертання. Що стосується світлових сигналів, проблісковий режим котрих задається за допомогою вимкнення або вмикання джерела світла, співвідношення сили світла та часового інтервалу необхідно вимірювати безпосередньо.

Вираження часової залежності сили світла, $I(t)$, через номінальну ефективну інтенсивність світла виконується за допомогою методу Шмідта-Клаузена [3], що застосовується по відношенню до діапазону значень, рекомендованих IALA [16]:

$$I_e = \frac{J}{C + \frac{J}{I_o}} \quad \text{Рівняння 1.}$$

де: I_e = ефективна інтенсивність (у канделах)
 J = інтегральна інтенсивність пробліску (у кандело-секундах)

$$J = C_{\text{пробліску}} I(t) dt \quad \text{Рівняння 2.}$$

I_o = максимальна інтенсивність протягом інтервалу пробліску (у канделах)

C = візуальна константа часу, 0.2 сек. при спостереженні протягом нічного часу та 0.1 сек. при спостереженні удень.

Рівняння 1 може бути записане як:

$$I_e = \frac{I_o t}{\frac{C}{F} + t} \quad \text{Рівняння 3.}$$

де: $_$ = сумарна тривалість проблиску (у секундах)
 F = фактор форми Шмідта-Клаузена, що визначається за допомогою:

$$F_e = \frac{C_{t_1}^{t_2} I(t) dt}{I_o + (t_2 - t_1)} \quad \text{Рівняння 4.}$$

де: t_1 = час початку проблиску (у секундах)
 t_2 = час припинення проблиску (у секундах)

а отже:

$$_ = t_2 - t_1$$

Для випадків, коли залежна сила світла часу світлового сигналу не падає до нуля, як правило, буде достатньо вибрати моменти, у яких миттєва інтенсивність досягає відносно низьких значень. Моменти, коли значення інтенсивності складає 5% від пікового значення сили світла повинні використовуватися як початок і припинення проблиску, коли сигнал не падає до нуля.

Закон Тальбо-Плато визначає, що, якщо джерело світла спалахує або пульсує при значеннях, вищих за критичну проблискову частоту або частоту злиття проблисків (приблизно 20Hz), таким чином, що світловий сигнал здається суцільним, інтенсивність світла, що генерується джерелом, буде дорівнювати середній за часом інтенсивності світла, що генерується безперервно [4]. Це може бути виражене як:

$$L_m = \frac{1}{t_p} C_{t_2}^{t_1} L(t) dt \quad \text{Рівняння 5.}$$

де: L_m = інтенсивність, еквівалентна інтенсивності світла, що генерується безперервно
 t_p = сумарна тривалість (фаз вмикання та вимикання) одного імпульсу світла
 L = залежна від часу інтенсивність світла, що генерується джерелом у пульсуючому режимі

Закон Тальбо-Плато слід використовувати для визначення інтенсивності швидко пульсуючого світла (що перевищує критичну проблискову частоту), призначення якої — забезпечити стабільність світлового сигналу. Метод Шмідта-Клаузена застосовується у випадках, коли зменшена інтенсивність джерела пульсуючого світла переривається з метою генерації проблискового сигналу, шляхом заміщення залежної від часу інтенсивності на стабільність. Детектор, що використовується, повинен бути достатньо швидким для забезпечення точності вимірювання послідовності швидких імпульсів, яка складається з окремих "проблисків" світлового сигналу. У якості альтернативи, замість математичного застосування закону Тальбо-Плато, може використовуватися відповідний (наприклад, електронний) метод осереднення.

Зростання яскравості світлових сигналів при пульсації із інтенсивністю, меншою за частоту злиття проблисків, спершу було повідомлене Брюке (у 1864 році). У той час, як збільшення яскравості було перевірене у ході декількох досліджень, ступінь збільшення і оптимальна частота залежать від рівня інтенсивності. Деякі дослідження вказали на відсутність збільшення рівня інтенсивності при наближенні до порогу виявлення [4].

1.5 Обчислення номінальної ємності

Ємність світла визначається як максимальна відстань, на якій світло може бути побачене, що зумовлюється силою світла, метеорологічної видимістю та порогом освітленості ока спостерігача. У рекомендації IALA щодо визначення сили світла і ємності світлових сигналів, листопад, 1966 рік, зазначається, що "номінальна" ємність є світловою ємністю сигналу, коли метеорологічна видимість дорівнює 10 морським милям, а поріг освітленості у 0.2 мікролюкса використовується для нічного спостереження. Обчислення "номінального" діапазону робиться за допомогою закону Алара [14]:

$$E = \frac{I * T^D}{D^2} \quad \text{Рівняння 6.}$$

де: E = освітленість ока спостерігача (у люксах)

I = сила світла (у канделах)

T = провідність атмосфери, яка визначається як коефіцієнт кількості світла, що існує як одиниця довжини атмосфери по відношенню до кількості світла, що ввійшло в одиницю довжини атмосфери

D = відстань між спостерігачем та світлом (у метрах)

Метеорологічна видимість визначається як відстань, необхідна для атмосфери, щоби зменшити контраст чорного тіла на фоні 5% первинного значення контрасту на нульовій відстані. Співвідношення провідності і метеорологічної видимості задане як:

$$T^V = 0.05 \quad \text{Рівняння 7.}$$

де: V = метеорологічна видимість (у метрах).

Закон Алара може бути пристосований для вирішення проблеми обчислення необхідної інтенсивності світлового сигналу при заданій освітленості на певній відстані у специфічних умовах видимості наступним чином:

$$I = \frac{E * D^2}{(0.05)^{\frac{D}{V}}} \quad \text{Рівняння 8.}$$

Отримана номінальна ємність рівнодіючої сили повинна обчислюватися в метрах, переводитись у морські милі і округляється до найближчого значення морської милі [14].

2. ЗАГАЛЬНІ ПРОЦЕДУРИ

За допомогою випробувальної апаратури необхідно встановити і підтримувати систему контролю якості, відповідно до типу, діапазону та обсягу калібрування і виконання випробувань. Усі процедури для проведення калібрування і фотометричних вимірювань повинні документуватися, як частина системи контролю якості.

2.1 Приведення до національних стандартів

Усе випробувальне обладнання повинне перевірятись в акредитованому випробувальному центрі і приводитись у відповідність із національними стандартами. Випробувальне обладнання повинне перевірятись із регулярними проміжками і, якщо перевірка виконувалася у центрі, необхідно також приводити обладнання у відповідність із національними стандартами. Підчас видачі посвідчення про нову перевірку і калібрування, необхідно перевірити щоби записи співпадали із записами у попередньому сертифікаті. Значні відмінності значень можуть поставити під сумнів результати попередніх вимірювань.

Всі одиниці випробувального обладнання повинні мати унікальні ідентифікаційні позначки. Інформація стосовно всього випробувального обладнання повинна бути записана в окремому журналі, а саме — назва виробника, модель та серійний номер. У цей журнал необхідно також заносити дати запланованих перевірок для забезпечення регулярності цього процесу. Етикетки із зазначенням серійного номеру посвідчення про перевірку, серійного номеру обладнання і наступної дати перевірки, повинні бути міцно прикріплені до випробувального обладнання у випробувальному центрі наприкінці перевірки. Працівники випробувального центру повинні знімати старі етикетки, що залишилися від попередніх перевірок.

Все обладнання повинне утримуватись у чистоті і бути готовим до роботи. Будь-які несправності у роботі випробувального обладнання необхідно швидко усувати. Після усунення несправностей, обладнання повинне знову пройти процедуру перевірки перш, ніж знову бути введеним в експлуатацію. Якщо пломби, які були поставлені на випробувальне обладнання після перевірки, були видалені без будь-якої причини, необхідно припинити експлуатацію такого обладнання і віддати його на повторну перевірку.

2.2 Фотопічні відповіді CIE; $V(\lambda)$ і f_1 -

Загальна спектральна відповідь фотометричної системи, що використовується, повинна близько наближатися до спектральної кривої світлової віддачі $V(\lambda)$ для спостерігача стандартної фотометрії CIE у фотопічному баченні [5][17]. Для широкополосних випромінювачів, як наприклад, ламп накаливання, однозначне вимірювання спектральної відповіді, найближче апроксимаційне число системи (f_1 -), може бути використане для визначення невпевненості вимірювання. f_1 - є терміном, що рекомендується CIE [6]. Для альтернативних випромінювачів, як, наприклад, СВД або металогалогенних ламп, відхилення відповіді фотометричної системи від $V(\lambda)$ для хвиль специфічної певної довжини можна пояснюватися за допомогою колірної корекції.

2.3 Колірна корекція

Навіть фотометричні системи із низькими значеннями f_1 - можуть мати значну невпевненість екстрем видимого спектра. Якщо для спектрального відбитка вимірюваного джерела світла притаманні стрімкі зміни інтенсивності променів в залежності від довжини хвилі, як, наприклад, у СВД джерел, необхідно застосувати колірну корекцію [2]. Прийнятий метод корекції полягає у використанні спектрального поправочного коефіцієнта, $СПК$ [18], як зазначено нижче

$$СПК = \frac{CS_A(\lambda)S_{rel}(\lambda)dICS_t(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{CS_A(\lambda)V(\lambda)dICS_t(\lambda)S_{rel}(\lambda)d\lambda} \quad \text{Рівняння 9.}$$

де $S_t(\lambda)$ — спектральний енергетичний розподіл випробувального світильника, $S_A(\lambda)$ — спектральні дані CIE щодо освітлювача А, а $S_{rel}(\lambda)$ — відносна спектральна чутливість фотометра [7]. Використовуючи це рівняння, поправочний коефіцієнт можна знайти для будь-якого джерела світла із відомим спектральним розподілом енергії (див. 1.3.3.). Якщо каліброване джерело світла використовується як еталон, його спектральний розподіл енергії $S_R(\lambda)$ може бути замінений на $S_A(\lambda)$.

Поправочний коефіцієнт буде мати супутню невпевненість завдяки процесу спектрального вимірювання і відповідним даним про калібрування обладнання, що використовується у вимірюванні.

Другий метод колірної корекції полягає у використанні каліброваного джерела світла з однаковим спектральним енергетичним розподілом, як у випробувальній лампи. Вимірювання каліброваного джерела світла дозволить встановити масштабний коефіцієнт, який може використовуватися, щоби виправити виміряну освітленість елемента, що перевіряється.

2.4. Мінімальна фотометрична відстань

Перш, ніж починати вимірювання, необхідно визначити мінімальну фотометричну відстань до елемента, що перевіряється. Це включає в себе обчислення відстані до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль для проекційного апарату, як, наприклад, світла морських навігаційних засобів. Джон В. Т. Уолш описав метод визначення відстані до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль у своїй книзі з Фотометрії [8] наступним чином:

$$d = \frac{R^2}{4f} + \frac{R}{r} \left(f + \frac{R^2}{4f} \right) \quad \text{Рівняння 10.}$$

де: d = відстань до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль
 f = фокусна відстань оптичної системи
 R = радіус видошукача
 r = радіус джерела світла

Апроксимація відстані до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль може бути виконана за формулою:

$$d = 2 \frac{fR}{r} \quad \text{Рівняння 11.}$$

Апроксимація підходить лише для оптичної системи лінз із кутом збору, що приблизно дорівнює 63° . Якщо кут збору значно відрізняється, необхідно використовувати повну формула, як запропоновано Уолшем.

Рівняння 8 підходить для оптичного апарату кругової спрямованості, із специфічним джерелом світла, але, коли один із параметрів оптичної система більший за інший, наприклад, у випадку прямокутної лінзи із циліндричним джерелом світла, вертикальна і горизонтальна відстань до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль буде різною. У цьому випадку формула може бути виражена як зазначено нижче:

$$d = 2 \frac{fH}{h} \quad \text{Рівняння 12.}$$

де: d = відстань до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль
 f = фокусна відстань оптичної системи
 H = висота оптичної апертури
 h = висота джерела світла

або:

$$d = 2 \frac{fW}{w} \quad \text{Рівняння 13.}$$

де: d = відстань до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль
 f = фокусна відстань оптичної системи
 W = ширина оптичної апертури
 w = ширина джерела світла

Необхідно обчислювати як відстані по висоті до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль, так і ширини, і використовувати те із двох значень, яке є більшим. Для маяка кругової спрямованості, можна використовувати лише вертикальну відстань до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль, а відтак застосовувати лише рівняння 9.

Для проєктора із точним сектором, відстань до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль може бути виражена як зазначено нижче:

Рівняння 14.

де: d = відстань до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль
 f = фокусна відстань оптичної системи
 R = радіус оптичної апертури
 $_$ = заданий кутовий дозвіл

Мінімальна фотометрична відстань може братися, як подвійна розрахована відстань до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль.

У випадках, коли розміри оптичних компонентів невідомі, мінімальна фотометрична відстань може бути визначена за допомогою вимірювання інтенсивності на декількох різних відстанях від маяка, завжди на однаковій радіальній координаті, а також оцінки відстані, на якій отримана виміряна інтенсивність є послідовною [20]. На практиці це буде обмежене до невеликих герметизованих маяків, складові частини яких не піддаються вимірюванню.

2.5. Вимоги щодо оточення

Оточення при проведенні вимірювань у закритих приміщеннях необхідно стабілізувати до $25(+5/-10)$ °C та $60(\pm 10)\%$ відносній вологості. Підчас проведення вимірювань на відкритому повітрі необхідно записати температуру і відносну вологість, що існували на момент вимірювання. Будь-які значні зміни оточення підчас вимірювання також повинні записуватись.

2.6. Мінливість і стабільність

Звіт про результати вимірювань вважається неповним, якщо він не містить вказівку на супутню мінливість. Результати всіх вимірювань повинні вказувати на діапазон, у межах якого отримане значення може коливатись, для зазначеного рівня стабільності. Усі варіанти мінливості, притаманні типу А і типу В, що можуть супроводжувати процес вимірювання, повинні оцінюватись у відповідності із Публікацією ISO № 2 "Посібник з виразу мінливості підчас вимірювань, 1993 рік [9]. Оцінка мінливості типу А виконується за допомогою статистичного аналізу серії спостережень, а типу В — за допомогою інших засобів, ніж статистичний аналіз спостережень.

2.6.1. Сукупна середня мінливість

Сукупна стандартна невпевненість обчислюється за допомогою поєднання окремих випадків мінливості, що охоплюють також і закладену можливість мінливості, шляхом використання квадратного кореня суми квадратів окремих випадків мінливості.

2.6.2. Розширена мінливість

Розширена мінливість отримується за допомогою помноження сукупної стандартної мінливості на коефіцієнт запасу, k . Якщо не визначено інакше, може припускатися, що розподіл ймовірності результату вимірювання і сукупної стандартної мінливості приблизно нормальний. Сукупна стандартна мінливість рівноцінна середньоквадратичному відхиленню розподілу Гауса. Відповідний коефіцієнт запасу повинен бути визначений для того, щоби забезпечити рівень стабільності у 95%.

2.6.3. Систематичні похибки

Будь-які систематичні похибки всередині вимірювальної системи повинні враховуватись і, по можливості, виправлятися шляхом використання відповідного коефіцієнту. Ці похибки і поправки повинні бути задані згідно результатів вимірювань. Відповідні показники мінливості і стабільності, які використовуються для виправлення помилок, повинні закладатися в можливість мінливості.

2.6.4. Загальні принципи вибіркового аналізу

Вибірковий аналіз полягає у здійсненні достатньої кількості вимірювань у певних умовах з метою мінімізувати вплив незначних випадкових коливань у процесі вимірювання. Необхідно досягти коефіцієнту запасу від 2 до 3, сумісного з оцінкою показників мінливості і рівнями стабільності [9] (див. Додаток В — Уелч-Сетертвейт). Процедура вибіркового аналізу повинна документуватися як частина стандартних лабораторних процедур. Винятки стосовно стандартних процедур вибіркового аналізу повинні обговорюватися після отримання результатів будь-яких випробувань.

2.7. Запис і збереження даних

Всі вихідні дані, записані у ході вимірювання і отримання результатів, незалежно від метода запису, повинні зберігатися у безпечному місці щонайменше 36 календарних місяців. Копії усіх публікацій результатів проведених вимірювань також повинні зберігатися у безпечному місці упродовж зазначеного періоду, або довше, залежно від прогнозованого терміну експлуатаційної придатності.

3. Методи вимірювання

3.1 Вступ

Методології, які описуються у даному керівництві, були переглянуті і прийняті як такі, що дозволяють досягти рівноцінних результатів, у межах зазначених значень мінливості. Первинний метод вимірювання сили світла, що описується у даному посібнику, буде названо "Стандартна лабораторна фотометрія." Інші методи вимірювання не виключаються, але вони повинні відповідати тим самим критеріям щодо єдності вимірів і оцінки мінливості, що описується у цьому стандарті. Альтернативні методології, котрі можуть вважатися перспективними, повинні подаватися на розгляд до Технічному Комітету IALA, котрий буде приймати рішення стосовно їхнього включення до даного документа.

3.1.1 Основний метод — стандартна лабораторна фотометрія

Вимірювання сили джерела світла у лабораторії, за звичай, виконується шляхом отримання даних про освітленість, у люксах, джерела світла на певній вимірній відстані, у метрах. Сила світла у канделах може потім бути обчислена шляхом помноження освітленості на квадрат відстані, що відомо як Закон фотометричної відстані [19] (див. Закон Алара у п. 1.5). Провідність атмосфери на невеликій відстані у лабораторії бути прийнята як єдність. Джерело світла і фотометричні рецептори, як правило, монтується на оптичній лаві або столі, щоби зменшити мінливість результатів вимірювання відстані. Для визначення сили джерела світла у більш, ніж одному напрямку, джерело світла може обертатися навколо свого центра і вимірювання освітленості виконується у різних напрямках. Для визначення загального світлового потоку, який генерується джерелом світла, може використовуватися інтеграційна сфера. Фотометри, що використовуються для освітленості вимірювання, мають фотопічну спектральну відповідь, що наближається до можливостей людини-спостерігача, $V(\lambda)$ [17].

За умови, що відстань вимірювання є відносно великою, порівняно із розміром джерела світла (більше, ніж п'ятнадцять разів, за приблизним підрахунком), цей метод є простим і точним для несфокусованого джерела світла. Однак, у разі вимірювання легким променевим проекційним апаратом, як наприклад, джерелом світла і системою лінз або дзеркал, необхідно, щоби відстань вимірювання була набагато більшою, щоби гарантувати точність результатів вимірювань із застосуванням цього метода (див. 2.4). На цих більших відстанях з'являються декілька проблем, таких, як наприклад, вплив провідності і збурення атмосфери, а також складність вимірювання набагато нижчих рівнів освітленості. Проекційний апарат можна обертати під різними кутами і, таким чином, отримати дані, необхідні для визначення форми проєктованого променя.

Додаткову інформацію з загальної фотометрії дивіться у публікаціях CIE № 18.2, Основи фізичної фотометрії, 1983 рік; № 70 "Вимірювання розподілів абсолютної сили світла", 1987 рік; і № 121 "Фотометрія і гоніофотометрія освітлювальних засобів", 1996 р.

3.1.2. Альтернативні методи вимірювання

Окрім стандартної лабораторної фотометрії, ще два альтернативних метода фотометрії проекційних апаратів, таких, як наприклад, світлових сигнальних навігаційних засобів, було розглянуто і схвалено для включення у даний документ; фотометрія нульової довжини (розділ 3.4) та телефотометрія на відкритому просторі (розділ 3.5). Багато що з обладнання і процедур вимірювання, описаних у розділах 3.2 і 3.3 залишається спільним для всіх трьох методів. Унікальні вимоги для двох альтернативних методів обговорюються у їхніх відповідних розділах.

3.2. Загальні вимоги до обладнання

3.2.1. Фотометр

Рекомендується використовувати відкалібрований фотометр. Стандартні фотометри показують високий ступінь нелінійності через декілька разів надходження вихідного току. Вони, за звичай, складаються із кремнієвого фотодіода, корегуючого фільтра $V(_)$, а також високоточного об'єктива. Використання відкаліброваного детектора, у межах номінальної потужності робить необов'язковим використання відкаліброваних джерел. Для вимірювання світлових сигналів пробліскового режиму тривалість відповіді фотометра повинна бути менше однієї десятої розрахованого інтервалу часу між 50% точок інтенсивності вимірюваного пробліску. Для швидкопульсуючих світлових сигналів тривалість відповіді фотометра повинна бути менше однієї десятої активного періоду імпульсного циклу.

Спектральна відповідь фотометричної системи повинна близько наближатися до кривої спектральної світлової віддачі $V(_)$ для стандартного фотометричного спостерігача СІЕ у фотопічному баченні (див. 2.2). Документація на підтвердження калібрування фотометричної системи повинна містити значення спектральної відповіді детектора від 380 до 780 нм, у приростах не більше, ніж 5 нм. По можливості, документація повинна містити значення спектральної відповіді від 360 до 830 нм у приростах в 1 нм. Документація на підтвердження калібрування повинна також містити значення f_l . Бажано, щоби значення було $f_l < 1.5\%$, хоча типові значення можуть коливатися від 2,5 до 5,0%.

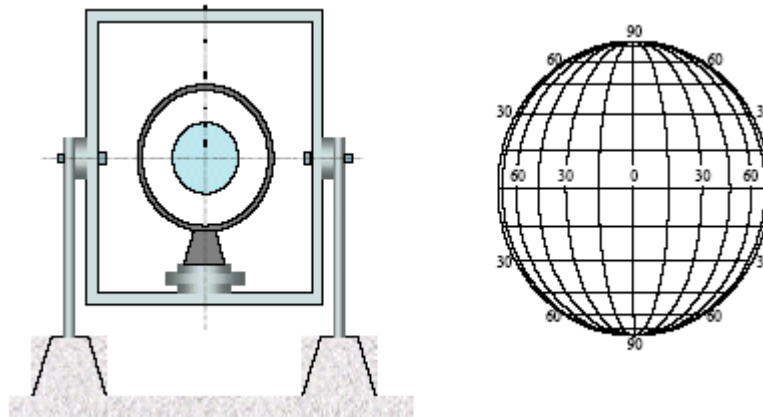
3.2.2. Калібровані джерела світла

Калібровка джерел, хоч і не є обов'язковою, коли використовується відкалібрований фотометр, проте необхідна для виконання порівняльних вимірювань. Відкалібрований випромінювач іншого типу, наприклад, джерело СВД, може також використовуватися як альтернатива колірній корекції, коли відносна спектральна чутливість фотометра відсутня.

3.2.3. Гоніометр

Гоніометр типу А, коли джерело нахиляється відносно фіксованої горизонтальної осі, а також обертається відносно осі, яка, в положенні спокою, є вертикальною, а після обертання слідує рух горизонтальної осі, повинен використовуватися у фотометрії світлових сигналів морських навігаційних засобів. На Мал. 2 показано типовий гоніометр типу А, а також локуси, що визначаються гоніометром по відношенню до фотоелемента. Відповідна система координат, яка повинна використовуватися із гоніометром типу А, описується у Рекомендації СІЕ № 43, 1979 рік, Додаток С.2. [10].

Малюнок 2. Гоніометр типу А і система координат.



Метод визначення мінливості у позиціонуванні механізмів гоніометра повинен бути задокументований, а зазначена мінливість повинна бути оцінена в кутовому зміщенні. Ці випадки мінливості повинні повторно оцінюватись кожного разу, коли будь-який компонент системи, включно із комп'ютерними драйверами, приводами від двигуна, а також платформи для обертання обслуговуються або замінюються. Необхідно зазначити, що, коли стіл гоніометра нахилений, відстань вимірювання від вершини до основи об'єкта вимірювання змінюється і це може призвести до неточності вимірювання. Ця неточність може бути або скоригована, або розглядатися як додаткова мінливість (див. п. 2.6).

3.2.4. Силове обладнання

Для випробувань із застосуванням обладнання, що працює від мережі постійного струму, вихідна напруга і/або струм повинні утримуватись у межах $\pm 0.1\%$ або менше. Коли вихідна напруга контролюється, спостереження за напругою необхідно вести якомога ближче до джерела світла. Пульсуюча напруга не повинна перевищувати 0.4% вихідної напруги у мережі постійного струму.

Для випробувань із застосуванням обладнання, що працює від зовнішньої мережі перемінного струму, напруга або струм повинні утримуватись у межах $\pm 0.5\%$. Середньоквадратична сума гармонійних компонентів, зумовлених відхиленнями від правильної синусоїдної форми хвилі, не повинна перевищувати 3% середньоквадратичного значення основної частоти. Переналаштування вихідної напруги може вимагатися протягом вимірювань, якщо не було досягнуто відповідного рівня стабілізації.

3.2.5. Дзеркало для спрямування пучка ламаною траєкторією

Коли відстань до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль (див. п. 2.4) перевищує довжину вимірюваного шляху світла, плоске дзеркало, достатньо велике для того, щоб генерувати повне зображення об'єкта, що перевіряється, може розміщатися в кінці світлового тунелю. Фотометр вимірює світловий сигнал, який відбивається від дзеркала. Для мінімізації втрат рекомендується використовувати дзеркало із передньою відбиваючою поверхнею. Використання дзеркала може призвести до зміни спектрального поправочного коефіцієнта, СПК (див. п. 2.3.). Вимірювання опорного джерела, безпосередньо або за допомогою ламаного шляху, із подібною спектральною ємністю по відношенню до елемента, що перевіряється, може використовуватися для визначення загального обсягу втрат і змін кольорів, спричинених дзеркалом. Коли відстань до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль все ще перевищує вимірювану довжину, вимірювання необхідно виконувати за допомогою одного або двох альтернативних методів.

3.2.6. Системи запису

Уся інформація стосовно вимірювання дальності світлового сигналу повинна записуватись. Це можна робити в ручному режимі за допомогою ручки та паперу, або в автоматичному режимі за допомогою координатного самописця або електронної системи зберігання даних, наприклад, комп'ютера. Використовувана система запису повинна мати достатньо швидку тривалості відповіді, щоби забезпечити точність запису даних, які надходять від вимірювальної системи.

3.3. Стандартні лабораторні фотометричні процедури

3.3.1 Об'єкти, що перевіряються

Необхідно перевірити об'єкт і переконатися, що він знаходиться у нормальному робочому стані. Оптична система повинна бути укомплектована відповідним джерелом світла, таким, що було поставлено певним виробником, або стандартною лабораторною тестовою лампою, і сфокусованим (якщо необхідно) у відповідності з інструкціями виробника або із стандартною лабораторною процедурою.

Лабораторні тестові лампи повинні обиратись із міркувань відповідності проектним розмірам, питомій потужності та кількості люменів у випромінюваному світловому потоці. Заводські допуски між окремими лампами з однаковою специфікацією від виробника можуть бути дуже великими і спричинити, таким чином, відповідно великі зміни в інтенсивності світла маяка. Такі параметри, як наприклад, довжина та розмір нитки накалювання також істотно впливають на розподіл інтенсивності, тому рекомендується проводити старанний огляд і вибір. Процедура випробування повинна бути записана, щоби забезпечити відповідність режимів лабораторної тестової лампи, у межах 3%, специфікації виробника [10].

Коли пристрій зміни ламп додається як частина об'єкта випробування, лампи повинні бути встановлені у всі позиції пристрою зміни ламп, де вони могли б впливати на фотометричну ємність об'єкта, що перевіряється. Перед використанням, лампи необхідно загартувати, для чого їх слід залишити включеними упродовж декількох десятків годин [11].

Світлові сигнали морських навігаційних засобів повинні бути випробувані переважно щодо номінальної напруги, а не струму або потужності. Напруга повинна контролюватися за допомогою сенсорних відводів, приєднаних якомога ближче до входів лампи або виходів схематики контролю, і підтримуватись на одному рівні упродовж усього процесу вимірювання. Струм повинен також контролюватися і записуватись, щоби можна було виявити будь-які зміни вхідної потужності протягом вимірювань і дати змогу корегувати вимірювану фотометричну ємність (бачать 3.2.4).

У випадку СВД джерел із захисною схематикою, як напруга, так і струм на вході цієї схематики повинні контролюватися. Самі СВД мають нормальні показники скоріше відносно струму, ніж напруги, адже dI/dV дуже велике у робочій точці, а відтак, за відсутності захисної схематики, струм повинен контролюватися і контролюватися більше, ніж напруга.

3.3.2. Вирівнювання

Точка приведення повинна бути визначена на периметрі об'єкта, що перевіряється, таким чином, щоби вона чітко вказувала напрямок випромінювання убік горизонту. Це може бути мітка виробника або випробувальної лабораторії. Об'єкти, що перевіряються, повинні встановлюватися на гоніометрі і виставлятися по лінії вимірювальної системи таким чином, щоби точка приведення співпадала із напрямом вимірювання. Де можливо, висота столу гоніометра повинна бути регульованою, щоби як горизонтальні, так і вертикальні осі оптичного приладу могли бути виставлені по осях обертання гоніометра. Якщо це неможливо через обмеження, властиві конструкції столу гоніометра,

похибки у вимірюванні відстані, викликані нахилом столу, повинні бути виправлені або закладені у межі можливої мінливості. Центр діафрагми фотодетектора повинен лежати на лінії, що є нормаллю по відношенню до осей обертання гоніометра. Процес вирівнювання і пов'язана із ним мінливість повинні бути частиною задокументованої лабораторної процедури. Коли використовується пласке дзеркало, що спрямовує пучок по ламаній траєкторії, відстань між об'єктом, що перевіряється, повинна бути якомога ближчою до відстані від дзеркала до фотометра. Кут відбитку світлового шляху повинен бути мінімально можливим. Нормаль поверхні дзеркала повинна лежати на площині, описаній оптичною віссю об'єкта, що перевіряється, та основним напрямком гоніометра [10].

3.3.3. Прогрівання обладнання

Перед початком будь-яких випробувань або вимірювань, усе електричне випробувальне обладнання, необхідно включити і залишити прогріватися на певний час у відповідності з інструкціями по експлуатації виробника або посвідчення про перевірку. За відсутності таких інструкцій, за допомогою вимірювального обладнання необхідно оцінити робочі режими випробувального обладнання, щоби визначити період, необхідний для прогрівання, запобігти стрибкам напруги у кожній одиниці обладнання.

Об'єкти, що перевіряються, повинні бути включені на номінальній потужності протягом часу, достатнього для забезпечення стабільності. Час прогрівання, що вибирається для будь-якого типу джерела світла, повинен бути задокументований у лабораторних процедурах, і використовуватися відповідним чином.

3.3.4 Контролювання розсіяного і загального світла

Контролювання розсіяного світла включає утримання світла об'єкта, що перевіряється, від відбивання від стін, підлоги та інших поверхонь і потрапляння на фотодетектор. Контролювання загального світла включає виключення можливості потрапляння або зменшення кількості світла від джерел, інших, ніж об'єкт, що перевіряється. Вплив загального світла може бути легко визначений шляхом знеструмлення об'єкта, що перевіряється, і запису показань фотодетектора. Вплив обох елементів може бути визначений шляхом здійснення вимірювань ввімкненого об'єкта, що перевіряється, але із оклюдованим шляхом прямого світла.

3.3.5 Вимірювання кутової залежності сили світла

Для того, щоб виконати кутові вимірювання за допомогою гоніометра необхідно змусити об'єкт, що перевіряється, випромінювати постійне світло. Для поворотних маяків це може бути досягнуте шляхом зупинки механізму обертання і фіксації механізму в одному положенні. Якщо об'єкт, що перевіряється, випромінює більш одного променя, вісь або поверхня кожного променя повинна бути визначена за допомогою чітко визначеного рівня приведення. Окремі вертикальні і горизонтальні графіки повинні бути складені для осі кожного променя.

Якщо джерело світла маяка, що обертається, є нестандартним, а вимірювання необхідно виконувати шляхом обертання усього маяка, включно із джерелом світла, на гоніометрі, необхідно отримати додаткові вихідні дані джерела відкритого світла, наприклад, полярний графік лампи. Якщо необхідно виконати вимірювання лампи, що знаходиться у фіксованому положенні і не обертається разом із гоніометром, вимірювання усіх проєктованих променів повинне виконуватися у двох різних положеннях джерела світла, у яких можна отримати максимальну та мінімальну інтенсивність.

Для маяків кругової спрямованості, із джерелом світла пробліскового типу, необхідно досягти безперервної роботи джерела світла, слідує інструкціям керівництва від виробника. За відсутності інструкцій, необхідно звернутися за порадою до виробника або постачальника. Необхідно зазначити, що безперервна інтенсивність постійного світла маяка може відрізнитися від пікової інтенсивності того ж маяка, коли він випромінює світло у проблісковому режимі (див. п. 3.3.6.).

3.3.5.1. Вимірювання кутової залежності сили світла

Далі наводимо мінімальні вимоги для двох основних типів морських навігаційних оптичних систем:

- Ліхтар кругової спрямованості — (віялоподібні промені)
горизонтальний профіль, 360° графік, зчитування через кожних 1.0 градусів; і
вертикальний профіль до 5% точок інтенсивності, зчитування через кожних 0.1 градусів.

Мінімум три рівновіддалених вертикальних профілі повинні бути записані, один з яких повинен бути отриманий у положенні, коли аксіальна інтенсивність наближається до середніх значень горизонтального профілю. Додаткові вертикальні профілі можуть знадобитися для адекватного визначення неточностей у горизонтальному профілі.

- Маяки, спрямовані в одному напрямку, і маяки, що обертаються, та проектиори підвищеної точності
горизонтальний профіль до 5% точок інтенсивності, зчитування через кожних 0.1 градусів; і
вертикальний профіль до 5% точок інтенсивності, зчитування через кожних 0.1 градусів.

3.3.6. Вимірювання часової залежності сили світла пробліскових джерел випромінювання

Для визначення ефективної інтенсивності світлових сигналів навігаційних пробліскових засобів кругової спрямованості, що працюють у заданому режимі, необхідно визначити профіль часової залежності сили світла. Абсолютні значення миттєвої сили світла немає необхідності вимірювати, доки пікова інтенсивність протягом пробліску дорівнює інтенсивності, що вимірюється, коли об'єкт, що перевіряється, випромінює постійне світло. Це вимагає, щоб часова тривалість пробліску, що генерується шляхом ввімкнення-вимикання (наприклад, вольфрамова лампа накалювання, що вмикається та вимикається), була достатньої довжини, щоб забезпечити досягнення максимальної потужності джерела світла. Приклади типів випромінювачів, що можуть мати різні значення миттєвої пікової інтенсивності і безперервної інтенсивності:

3.3.6.1. Лампа накалювання із вольфрамовою ниткою, час повного накалювання якої довший за час замикання контактів (ЧЗК) контролеру живлення лампи [п. 2 — с.35]

3.3.6.2. Світлодіод, сила світла якого зменшується разом із часом подачі постійного струму, що є результатом зростання температури р-п переходу СВД.

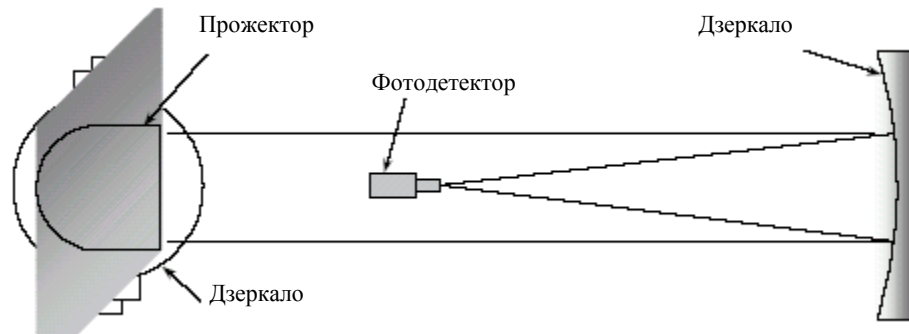
Отже, необхідно приділити увагу тому, щоб забезпечити для таких приладів протягом вимірювання профілю пробліску або досягнення повного накалювання, або визначення співвідношення миттєвої пікової і безперервної інтенсивності. Останнє може розглядатися, як похибка, до якої слід застосувати поправочний коефіцієнт з урахування супутньої мінливості корегування.

Для поворотних маяків миттєва сила світла може бути виражена у співвідношенні із часом шляхом запису кожного променя у момент проходження ним вимірювального пристрою підчас обертання маяка за рахунок власного джерела живлення. Використання цього метода, як правило, не передбачає обертання джерела світла. Якщо джерело світла не стандартне, вимірювання всіх проєктованих променів буде здійснюватись у двох різних положеннях, що дозволяють отримати максимальну і мінімальну інтенсивність.

3.4. Альтернативна процедура 1 — фотометрія нульової довжини

Методологія фотометрія нульової довжини полягає в апроксимації умов дальньої зони на короткій відстані. Основна техніка фотометрії нульової довжини — використання параболоїдального

дзеркала для оптичного позиціонування детектора на нескінченній відстані від джерела і, таким чином, винесення за близьку зону. Хвиля вхідної площини, відбивається від увігнутого параболоїдального дзеркала і перетворюється на збіжну сферичну хвилю. Отримане зображення вимірюється детектором у фокусній точці дзеркала [12]. Світлотехнічне Товариство (IES) представило це, як альтернативний метод фотометрії прожекторів [13]. На Мал. 3 зображена система фотометрії нульової довжини.



Мал. 3. Система фотометрії нульової довжини.

3.4.1. Додаткове обладнання, необхідне для фотометрії нульової довжини

Єдиним додатковим обладнанням, необхідним для фотометрії нульової довжини, є параболоїдальне дзеркало, що використовується для спрямування колімованих променів (потіку променів) від об'єкта, що перевіряється, до діафрагми фотометра. Дзеркало повинне бути здатним фокусувати колімовані промені з усіх областей поверхні дзеркала у точці, що не перевищує розмір об'єктиву фотометра, за виключенням неосьових променів.

Діаметр дзеркала повинен бути більший за найбільший розмір оптичних компонентів об'єкта, що перевіряється. Для зменшення втрат рекомендується використовувати дзеркало з передньою відбиваючою поверхнею. Як і у випадку з дзеркалом, що спрямовує пучок ламаною траєкторією, відносна спектральна відбивна здатність дзеркала повинна бути виміряна, для визначення потреби системи у колірній корекції (див п. 2.3).

Фотодетектор можна залишити поза прямим шляхом світлового сигналу від об'єкта, що перевіряється за допомогою використання неосьового параболоїдального дзеркала. Це особливо важливо під час вимірювання менших оптичних пристроїв, коли кількість затемнення може складати значну частину світлового сигналу. Шляхом зміни нахилу відцентрованої системи можна досягти того ж результату, хоча і з невеликим зростанням мінливості вимірювання.

3.4.2 Визначення мінливості системи нульової довжини

Теоретично, всі осьові, колімовані промені, що стикаються із поверхнею параболоїдального дзеркала, будуть зібрані у фокусній точці дзеркала. У дійсності, будуть втрати завдяки загальній спектральній відбивній здатності дзеркала, неоднорідності відбивного покриття дзеркала та відхиленнями у кривизні дзеркала. Наступний метод може використовуватися для визначення втрат через встановлення нульової довжини. Виміряйте освітленість від стабільного джерела світла на різних відстанях від фотометра. Розміщення джерела в спеціальній світловій коробці із змінною апертурою дозволить генерувати надзвичайно мале джерело, так, щоби освітленість могла бути визначена як така, що відповідає правилу $1/r^2$ у межах границь шляху вимірювання. Точне вирівнювання світлової коробки

по відношенню до детектора є необхідною умовою. Струм лампи повинен контролюватися. Проведіть серію вимірювань на відстанях, що знаходяться далі мінімальної відстані, необхідної для застосування правила $1/r^2$. Визначте інтенсивність джерела і розбіжності шляхом проведення серії вимірювань. Поставте світлову коробку ближче до гоніометра і вирівняйте її по відношенню до дзеркала і фотометра. Контролюйте струм лампи, оскільки освітленість (E_{meas}) вимірюється за допомогою системи нульової довжини. Використовуючи інтенсивність, визначену у ході прямих вимірювань (I_{direct}), обчислюють "скореговану" довжину світлового коридору,

$$r_{corr} = \sqrt{\frac{I_{direct}}{E_{meas}}}$$

Рівняння 15.

де: I_{direct} наводиться у канделах
 E — у люксах
 r_{corr} — у метрах

Скорегована довжина встановлення нульової довжини, r_{corr} , далі використовується для обчислення сили світла об'єкта(-ів), що перевіряються. Визначення скорегованої довжини встановлення нульової довжини повинне робитись кожного разу, коли нові дані повинні записуватись. Зміни скорегованої довжини, які не можуть бути закладені у можливість мінливості, повинні перевірятися, щоб визначити, що вони не є наслідком систематичних помилок або несправностей обладнання.

Розбіжність результатів серії прямих вимірювань світлої коробки, включає ефекти значною частини елементів, що охоплюють повну закладену можливість мінливості настроювання фотометрії нульової довжини. Розбіжності можуть бути використані для цих елементів як нерозширена мінливість.

3.5. Альтернативна процедура 2 — телефотометрія на відкритому просторі

Через те, що деякі світлові сигнальні навігаційні засоби є проєкційними системи, із мінімальними фотометричними відстанями понад 100 метрів, весь або частина світлого шляху може бути розташована ззовні. Рекомендації IALA щодо визначення сили світла морських світлових сигнальних навігаційних засобів, 1977 рік, надають вичерпну інформацію стосовно цього типу вимірювань. Переваги полягають у тому, що відповідає необхідність у великій будівлі і розсіяне світло, що відбивається від стін, не позначиться на результатах вимірювання. Іншою перевагою є те, що цей метод дає можливість виконувати фотометричні вимірювання маяків "на місці" [2]. Недоліками телефотометрії на відкритому просторі є те, що рівні загального світла, як, наприклад, денного світла, можуть бути високими і/або мінливими і, що стан погоди може вплинути на шлях світла. Тривалість вимірювання може, таким чином, бути важливою, а проведення випробувань може бути обмежений періодами хорошої погоди або нічним часом.

Іншою проблемою із довгими фотометричними вимірюваннями на відстані є, що фотометр може не мати достатньої чутливості для вимірювання випромінювання від джерела світла на відстані у кілька сотень метрів. Один із варіантів вирішення цієї проблеми — використання чутливого фотометричного рецептора (напр., фотопомножувача), інший — розташування оптичного приладу збільшення (напр., телеоб'єктива або телескопа) перед рецептором. Якщо йдеться про великі відстані, обидва варіанти можуть стати у нагоді. [2].

Вимірювання на вільному повітрі можуть бути поділені на два типи:

- Ті, що виконуються на відкритому просторі, коли об'єкт, що перевіряється, монтується на столі гоніометра, а інтенсивність світла вимірюється по відношенню до кутового зміщення; і

- Ті, що виконуються для маяків "на місцях", коли гоніометр не використовується. Режим світла вимірюється по відношенню до часу, а дрібні призми використовуються для отримання графіка вертикального профілю променя.

Так само, як і для стандартної лабораторної фотометрії, довжина шляху, що використовується у телефотометрії на відкритому просторі, повинна бути більша, аніж відстань до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль об'єкта, що перевіряється. Пласке дзеркало, що спрямовує пучок по ламаній траєкторії може використатися для подвоєння довжини шляху світла. Фотометр повинен бути захищений від розсіяного світла, яке випромінюється об'єктом що перевіряється, під час переломлення шляху світла.

3.5.1. Додаткове обладнання, необхідне для телефотометрії на відкритому просторі

3.5.1.1. Телефотометр

Низькі значення освітленості, що можуть мати місце при використанні зовнішньої частини шляху світла, можуть призвести до необхідності поєднання фотометра із уловлюючим телескопом. Телескоп повинен бути здатним уловлювати світло від об'єкта, що перевіряється і будь-яким основним джерелом, що могло б використовуватися. Необхідно також враховувати райдугу, щоби приймальний кут міг регулюватися таким чином, щоби виключити появу небажаного світлового фону. Використання телескопа, або іншого подібного приладу на оптичному шляху вимірювання, може призвести до зміни спектрального поправочного коефіцієнту, СПК (див. 2.3.).

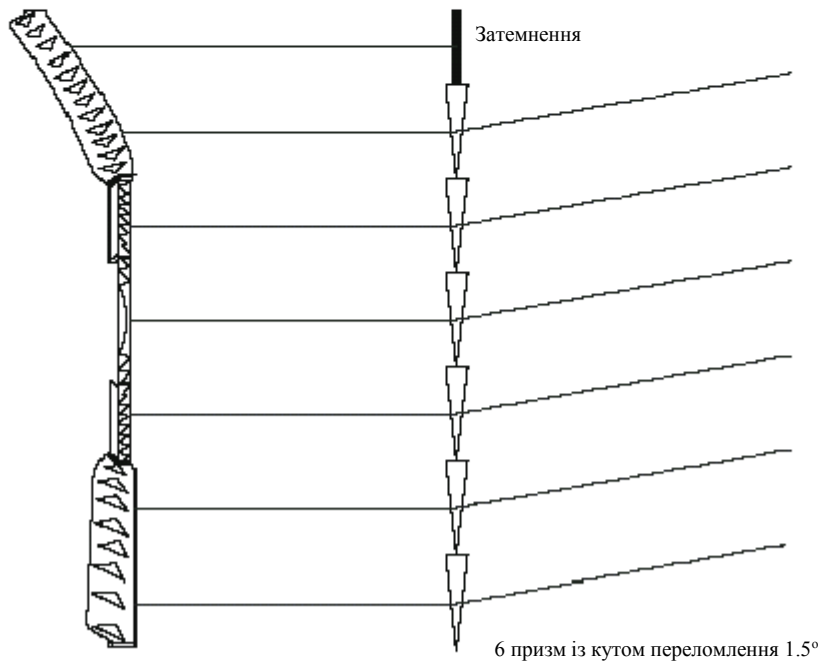
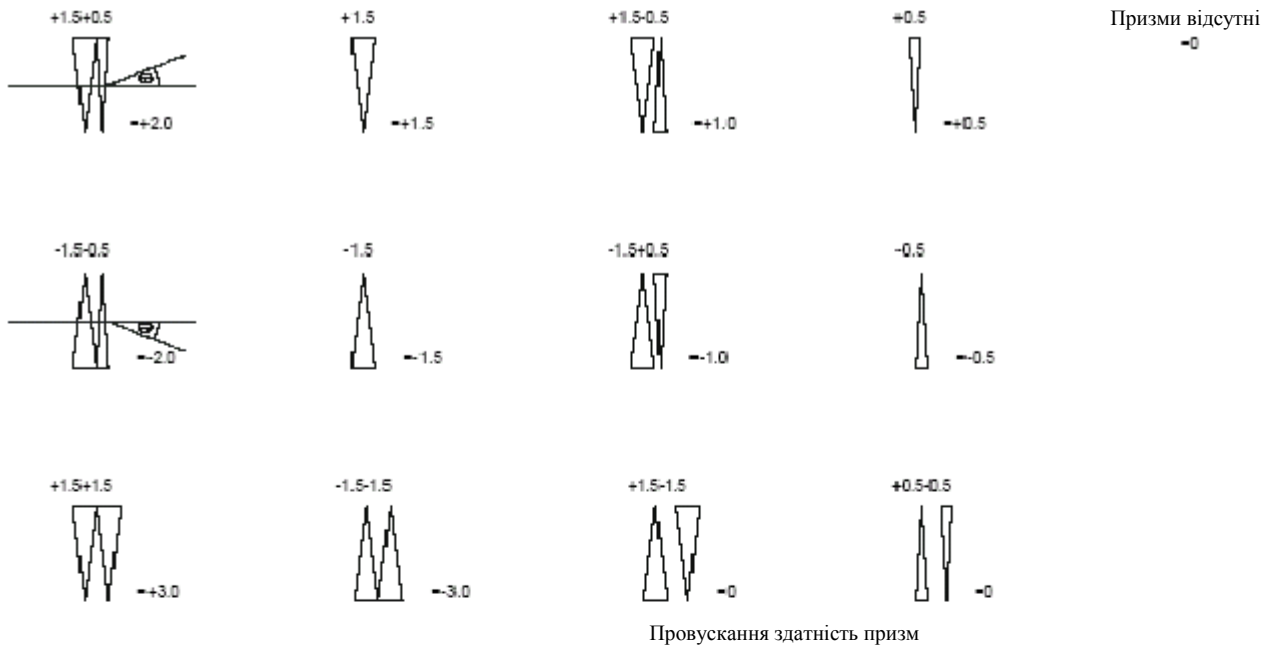
3.5.1.2. Еталонне джерело світла

Щоб подолати мінливість, що з'являється через зміни атмосферної провідності в області більшої частини шляху вимірювання, необхідно використовувати еталонне джерело світла. Це — джерело світла заданої інтенсивності, як правило, відкаліброване згідно національних стандартів, з контрольованими вхідними напругою та струмом. Для вимірювань на великій відстані маяків високої інтенсивності, у якості еталонного джерела світла необхідно використовувати відкалібрований еталонний проектор високої інтенсивності. Еталонний проектор повинен бути порівнянної інтенсивності, у межах двох порядків величини до об'єкта, що перевіряється.

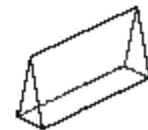
На практиці робляться два вимірювання, одне об'єкта, що перевіряється, і одне еталонного джерела світла, котре ставиться у те саме (або подібне) фізичне положення, як і об'єкт, що перевіряється. Отримані дані обох джерел потім порівнюються. Цей метод не спирається на точні вимірювання відстані і не вимагає, щоби фотометр був відкалібрований до абсолютних одиниць. Однак, показання фотометра повинні бути прямо пропорційні параметрам світла на вході. Шлях вимірювання від еталонного джерела світла до рецептора повинен, наскільки можливо, бути таким самим, як і від об'єкту що перевіряється, до рецептора.

3.5.1.3. Призми і призмova рама

Для вимірювання великих оптичних систем, наприклад, ліхтаря маяка, може бути неможливо розмістити об'єкт, що вимірюється, на столі гоніометра; рівно як може бути неможливо нахилити об'єкт. У таких випадках, вертикальний променевий профіль може бути виміряний шляхом застосування призматичних листів на фокусній площині об'єкта, що перевіряється, щоби "нахилити" промінь за допомогою рефракції. Два набори таких призм, кожний з яких забезпечує обмеження відхилень від 0.5° до 1.5° , дають можливість вимірювати із точністю до $\pm 2^\circ$ кроками у 0.5° ; загальна кількість точок на вертикальному променевому графіку дорівнює дев'яти. Подальший крок у $\pm 3^\circ$ можливий при використанні другого набору 1.5° призм; загальна кількість точок дорівнює 11. Відносна спектральна провідність призм, окремо й у поєднанні, повинна визначатися і записуватися. Див. Мал. 4.



Призми розміщуються перед френелевим оптичним пристроєм. Це дозволить переломлювати промінь до 1.5° .



Типова призма, виготовлена з акрилового ликта.

Мал. 4. Використання призм до проведення променя через вертикальний кут

3.5.2. Процедури калібрування

Використання еталонного джерела світла у якості засобів порівняння виключає необхідність калібрування світлової системи. Втім, калібрування необхідне для самого еталонного джерела світла та випробувального обладнання. Мінливість вимірювань завдяки геометричним співвідношенням еталонного джерела світла, об'єкта, що перевіряється, та фотометра також повинна бути оцінена і обчислена.

3.5.3. Атмосферні умови і загальне світло

Одним із найбільших факторів мінливості у фотометрії на відкритому просторі, є такий, що виникає через зміну атмосферних умов у ході виконання вимірювань. Найголовнішими чинниками тут є мінливість видимості і мерехтіння.

Значні помилки можуть виникнути, коли видимість змінюється між часом вимірювання об'єкта, що перевіряється, та часом вимірювання еталонного джерела світла. Якщо видимість значно змінюється, через туман або дощ, вимірювання не повинні виконуватись.

Мінливість отриманого світла, спричинена мерехтінням і може посилити мінливість отриманих значень інтенсивності так само, як і шум. Ця мінливість може бути зменшена шляхом збільшення тривалості відповіді фотометра або шляхом усереднення показань фотометра. Однак, необхідно бути обережним під час вимірювання пробліскових світлових сигналів. Збільшення тривалості відповіді фотометра може спричинити викривлення вимірюваного профілю пробліску. Використовувана тривалість відповіді повинна бути менше однієї десятої очікуваної тривалості між 50% точок інтенсивності пробліску. Необхідно зробити кілька вимірювань і знайти середню величину кожного профілю пробліску.

Мінливість загального світла, наприклад, коли вимірювання виконується при денному світлі, може призвести до появи помилки, подібної до помилки занулення. Необхідно приділяти увагу необхідності забезпечити, щоби показання фотометра при денному світлі, тобто при ввімкненому об'єкті, та вимкненому еталонному джерелі світла, істотно не відрізнялися.

3.5.3.1. Запис даних про природні умови

Запис даних повинен вестись під час вимірювання наступних природних умов:

- загального стану погоди;
- видимості;
- температури; і
- відносної вологості.

Ці дані повинні зберігатися разом із даними вимірювань світлового сигналу об'єкта, що перевіряється. Вимірювачі видимості, розміщені на оптичному шляху вимірювання, можуть бути корисними індикаторами протягом годин темряви.

3.5.4. Позиціонування телефотометра

Використовуючи видошукач, або схожий апарат, подивіться у телескоп, перевірте його оптичний шлях і відрегулюйте наведення телескопа його фокус, доки об'єкт, що перевіряється, не буде чітко виднітися у центрі окуляра. Діафрагма повинна бути відрегульована таким чином, щоб було видно лише об'єкт, що перевіряється.

Потім, необхідно включити об'єкт, що перевіряється, і дати йому дійти до повного накалювання. Перш, ніж знову подивитися в окуляр, необхідно подбати про захист ока від надмірно яскравого світла. З цією метою в окуляр можна вставляти спеціальний фільтр. Стіл гоніометра потрібно потім повернути

під бажаними кутами вимірювання, щоби забезпечити відсутність затемнення світла випромінюючих поверхонь компонентами оптичного шляху. Коли зображення задовільне у всіх положеннях, оптичний шлях від діафрагми телескопа повинен бути спрямований на рецептор фотометра.

3.5.5. Процедури вимірювання у телефотометрії на відкритому просторі

Перевірте, щоби фотометр був ввімкнений і розігрітий. Світло від об'єкту, що перевіряється, яке потрапляє на рецептор, повинне вимірюватись на виході з фотометру. Коефіцієнт підсилення фотометра може бути необхідно відрегулювати до отримання задовільних показань. Щоби гарантувати, що показання були зчитані саме з отриманого світла, світловий шлях можна переривати і потім спостерігати за зміною показань приладу.

Об'єкт, що перевіряється, необхідно потім виключити і перевірити показання фотометра. Якщо показання не відповідає нулю, через вплив загального світла, можна застосувати корегування нуля і зменшити, таким чином, неточність показань фотометра в умовах загального світла. Втім, необхідно стежити за тим, що за умов мінливості оточуючого середовища, щоби показання не сягали нижче нуля, якщо тільки немає відповідної система запису.

Повні вимірювання кутової і часової залежності сили світла об'єкта, що перевіряється, виконуються у відповідності з інструкціями, що містяться у розділі 3.3.

Після вимірювання об'єкту, що перевіряється, встановіть еталонне джерело світла на столі гоніометра, перевірте, щоби він знаходився у тому ж положенні відносно фотометра, як був і об'єкт, що перевіряється. Почекайте, поки еталонне світло стабілізується, у відповідності із вимогами щодо калібрування лампи еталонного джерела світла. Щонайменше двічі виміряйте силу світла еталонного джерела якомога скоріше після вимірювання об'єкту, що перевіряється.

Еталонне джерело світла необхідно знеструмити (або відгородити, залежно від умов калібрування), а подальші показання фотометра, зчитані з загального світла (або загального плюс розсіяне світла) необхідно записати. Отримане середнє значення еталонного джерела світла мінус загальне світло (або загального плюс розсіяне світла) і супутні значення мінливості повинні бути обчислені і записані.

Необхідно виконати, щонайменше, три повні вимірювання, щоби одержати середнє значення і значення мінливості.

3.5.6. Додаткові процедури для вимірювання “на місці”

Вимірювання на місці, як правило, виконуються на існуючій оптиці маяка. Через те, що вимірювальні телефотометричні майданчики повинні бути розташовані на суші, необхідно пам'ятати, що вимірювання на місцях виконуються, за звичай, тільки в одному або двох напрямках всередині зони використання світла. У ході вимірювань, експлуатація маяка може бути припинена. Необхідно буде подбати про відповідні навігаційні попередження.

3.5.6.1. Вибір місця вимірювання

Перша вимога до проведення польового вимірювання світла — знайти відповідне місце для проведення вимірювання. Це повинен бути майданчик, на якому можна буде надійно змонтувати фотометричне обладнання, краще подалі від будь-яких несприятливих погодних умов або небажаного впливу зовнішніх джерел світла. Уся оптика, яку необхідно виміряти, повинна бути чітко видною з вимірювального майданчика.

Обчислення відстані до точки одночасного вступу відбитої та переломленої хвиль оптики, що вимірюється, необхідно виконати для отримання мінімального значення фотометричної відстані. Як тільки цей мінімум буде встановлено, обчислювальний майданчик необхідно вважати як такий, що знаходиться за межами мінімальної фотометричної відстані і в межах плюс або мінус одного градуса на лінії між оптичним центром і горизонтом. Цей вертикальний допуск у два градуси є приблизним і залежить від вертикального променевого профілю світла, що вимірюється. Чим ближче вимірювальний майданчик до номінального променевого центра, тим менша буде мінливість результатів вимірювання.

3.5.6.2. Настроювання телефотометра

Ірисова діафрагма телефотометра повинна бути налаштована на прийняття світла від оптики, що вимірюється, і еталонного джерела світла. Інші міркування повинні бути відкинуті. День — найкращий час для настроювання обладнання, адже у полі зору буде хороша видимість і будь-які потенційні перепони можуть бути легко усунені.

3.5.6.3. Настроювання оптики маяка

Оптику маяка, яка повинна бути виміряна, необхідно перевірити і почистити. Необхідно зазначити тип і розміри оптичних приладів плюс будь-яких деталей виробника, а також будь-які дефекти або несправності, що мали місце упродовж їхньої експлуатації.

Оптична система повинна бути укомплектована лампами, що відповідають проектній специфікації, питомій потужності та питомій силі випромінюваного світла (див. 3.3.1). Джерело світла повинне бути розміщене в оптичній системі у відповідності із процедурами, встановленими оптичним виробником і маяковою службою.

Якщо оптична система є поворотного типу з кількома осями випромінювання світла, кожна з осей повинна ідентифікуватися і нумеруватися, якщо це не зроблено виробником. Це може бути зроблено шляхом нанесення унікальної позначки на поворотну частину об'єкта вимірювань, що обертається (напр., мітка рівня приведення або оптичного шарніра) і нумерування кожного променя або осі звідси в напрямку, протилежному напрямку обертання.

3.5.6.4. Настроювання призмової рами і призм

Встановіть призмову раму між оптикою і вимірювальним майданчиком таким чином, щоби охопити якомога більшу область лінзи (або лінз). Будь-яка залишкова область випромінюючої поверхні(-онь) повинна бути прикрита, щоби запобігти проникненню світла від оптики, що проходить повз зовнішню сторону рами у напрямку до вимірювального майданчика. Дивіться Мал. 4. Необхідно зауважити, що будь-яка спустошена область збільшить мінливість вимірювання променевого профілю, оскільки верхні і нижні відбивачі/рефрактори можуть впливати на форму променя.

3.5.6.5. Настроювання основного проєктора

Еталонний проєктор повинен бути встановлений на зовнішній стороні ліхтаря, наприклад, на перилах службового майданчика, якомога ближче до оптичної системи і спрямований на вимірювальний майданчик. Шлях між еталонним проєктором і вимірювальним майданчиком повинен бути вільний від перепон.

3.5.6.6. Вимірювання на місці

Вимірювання можна починати, як тільки дозволять умови. Пам'ятайте, що нульові умови є умовами загального світла, якщо рівень загального світла істотно змінюється, наприклад, через проходження хмар перед сонцем, мінливість вимірювання збільшиться. Більшість польових вимірювань світла необхідно виконувати вночі і в хорошу погоду.

Спочатку, еталонний проектор повинен спершу бути вирівняний таким чином, щоби його центр променя був спрямований у напрямку до вимірювального майданчика. Кількість змін у показаннях, зчитаних з еталонного джерела світла буде означати ступінь відповідності умов.

Вимірювання за допомогою різних призм повинні потім бути проведені, щоби з'ясувати вертикальний променевий профіль. Кожний набір призм вставляється на своє місце, після чого необхідно записати проблісковий профіль(-і) оптики. Кожний вимірювальний набір повинен містити зразок еталонного джерела світла та джерела загального світла. Результати визначення дальності за допомогою телефотометра повинні бути записані.

Коли всі відповідні положення призм будуть записані, призми, призмове рама й екранування повинні бути прибрані. Пробліски від оптики, без перешкод на шляху випромінювання, повинні потім бути записані разом із еталонним світлом, загальним світлом та установками фотометра. Необхідно зробити щонайменше три записи кожного пробліскового профілю.

Необхідно виконати мінімум три повні вимірювання для кожної основної режимистики, щоб одержати середню величину і значення мінливості.

4. Збирання даних

4.1. Вихідні дані/ідентифікація позицій на етапі тестування

Кожний об'єкт, що перевіряється, повинен бути описаний і унікальним чином ідентифікований. Якщо немає бирки виробника, або, якщо вона не містить достатньої інформації для унікальної ідентифікації об'єкта, необхідно прикріпити бирку із унікальною ідентифікацією для випробувальних намірів. Інформація на бирці, повинна включатися у результати випробувань і будь-яку документацію, укладену на основі цих результатів.

4.2. Ідентифікація обладнання на етапі тестування

Список всього випробувального обладнання, яке використовується для вимірювань, включно із серійними номерами й інформацією про перевірку та калібрування, повинні додаватися до результатів випробувань та будь-якої документації, укладеної на основі цих результатів.

4.3. Програмне забезпечення

Інформація стосовно усього програмного забезпечення, що використовується в будь-якому процесі вимірювання, повинна бути записана. Замовлене програмне забезпечення, що використовується для збору даних, аналізу, і/або представлення результатів, повинне документуватися, причому друкована копія переліку повинна зберігатися разом з іншою документацією процедури випробування. Алгоритми, що використовуються для роботи з даними, повинні документуватися.

4.4. Контроль енергоспоживання об'єкта, що перевіряється

Енергоспоживання об'єкту, що перевіряється, повинне вимірюватися і записуватись підчас фотометричного вимірювання. Для електричних систем, контроль енергоспоживання повинен виконуватися у процесі вимірювання. Для інших систем, наприклад, газових або тих, що використовують рідке паливо, необхідно здійснювати нагляд за споживанням палива, як мінімум, на початку і наприкінці процесу вимірювання або приблизно всередині періоду проведення вимірювань.

4.5. Примітки/коментарі

Копія всієї інформації стосовно вимірювань, включно із спостереженнями, змінами, відомостями про потреби та інструкціями виробника щодо об'єкту, що перевіряється, повинна зберігатися із записаними даними.

4.6. Ім'я і підпис контролера та дата

Запис про особу, що проводить вимірювання, разом з датою підпису та місцем проведення вимірювань, повинен зберігатися разом із записами про результати випробувань і входити до будь-якої наступної публікації.

5. ПРЕДСТАВЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Необхідно скласти протокол випробувань, із зазначенням усіх необхідних даних про результати, анованих для чіткої ідентифікації об'єкта, що перевіряється, включаючи оптичну систему і джерело світла (якщо є можливість відокремлення). Випробувальні процедури (стандартна лабораторна фотометрія, фотометрія нульової довжини, або телефотометрія на відкритому просторі) повинні бути ідентифіковані. Умови випробування, включно із параметрами споживання напруги і струму об'єкту, що перевіряється, і/або джерела світла (якщо має незалежне живлення) повинне бути перераховані. Результати вимірювань будь-якої використовуваної лабораторної випробувальної лампи, повинні додаватися до даних про результати випробування об'єкта, що перевіряється.

5.1. Залежність сили світла від кута

Результати кутової залежності сили світла повинні бути представлені у графічному вигляді, щоби дати чітке уявлення про робочі режимистики ліхтаря. Діаграми повинні бути лінійними і анованими для полегшення визначення причини відхилень у вимірюваннях інтенсивності, наприклад, через опори нитки накалювання, ефекти стику лінзи, тощо. Для маяків або проєкторів із колірними секторами, кут коливання між секторами буде, як правило, визначатися шляхом візуального спостереження, а не фотометричним вимірюванням.

5.1.1. Маяки кругової спрямованості (віялоподібні промені)

Наступні значення сили світла повинні бути нанесені на діаграму горизонтального профілю світлового сигналу кругової спрямованості: максимальне, мінімальне, середнє значення і значення, рівне або вище 90% індивідуального вимірювання. Остаточнє значення, рівне або вище 90% індивідуальних вимірювань сили світла у горизонтальній площині, буде значення, що використовується для визначення фіксованої інтенсивності маяка.

Графіки вертикальних профілів повинні креслитися між точками, де інтенсивність падає нижче 5% від максимуму і ановані разом із значенням максимальної інтенсивності, значення кутової ширини між 50% точок інтенсивності (повна ширина при напівмаксимумі — FWHM). FWHM використається для визначення вертикального відхилення маяка.

5.1.2. Поворотні маяки (голкоподібні промені)

Графіки вертикальних і горизонтальних параметрів повинні креслитися між точками, де інтенсивність падає нижче 5% максимуму і ановані разом із значенням максимальної інтенсивності і FWHM. FWHM використається для визначення вертикальних і горизонтальних відхилень променя. Мінливість горизонтальної кутової інтенсивності може бути перетворена на залежний від часу профіль при специфічних швидкостях обертання для обчислення ефективної інтенсивності та тривалості проблиску.

Для поворотних маяків, з кількістю проєктованих променів більше одного, будуть показані результати усіх променів. Промінь із найменшої ефективної інтенсивності повинен використовуватися для обчислення номінальної дальності маяка (див. пп. 1.4 і 1.5).

Якщо джерело світла всередині маяка є нестандартним і вимірювання виконувалося шляхом обертання всього маяка, включно із джерелом світла, на столі гоніометра, необхідно представити додаткові дані щодо випромінювання лампи у відкритому вигляді, напр., полярний графік. Якщо вимірювання було проведене із нестандартною лампою у фіксованому положенні і без обертання на столі гоніометра, результати вимірювання усіх проєктованих променів будуть представлені для положень джерел світла, що дають максимальну і мінімальну інтенсивність.

5.1.3 Поворотні маяки (голкоподібні промені)

Графіки вертикальних і горизонтальних профілів повинен креслитися план між точками, де інтенсивність падає нижче 5% від максимуму і ановані разом із з максимальним значенням інтенсивності і FWHM. FWHM буде використовуватися для визначення вертикальних і горизонтальних променевих відхилень.

5.2. Залежність сили світла від часу

Для світлових сигналів навігаційних засобів, які випромінюються у проблісковому режимі за допомогою затемнення або виключення джерела світла, залежність миттєвої сили світла від часу (пробліскового профілю) повинна бути представлена у вигляді графіка із силою світла у вигляді залежної змінної (ордината) і часом у вигляді як незалежної змінної змінної (абсциса). Графік повинен бути лінійним і включати повний цикл пробліску; із зображенням активної та пасивної фази. Додаткові графіки можуть використатися для зображення короткострокових відхилень миттєвої сили світла.

Для поворотних маяків, миттєва сила світла яких визначається у співвідношенні із часом шляхом обертання маяка за рахунок власного джерела живлення, креслення повинні бути лінійними і показати профіль сили світла у співвідношенні із часом, необхідним для одного повного оберту маяка. Додаткові графіки повинні також використовуватися для зображення окремих проєктованих променів із більшим ступенем деталізації. Якщо джерело світла є нестандартним, результати вимірювання всіх проєктованих променів будуть представлені для положень джерело світла, у яких досягається максимальна та мінімальна інтенсивність.

5.3 Тривалість пробліску

Через відсутність відповідної моделі зорового сприйняття людиною світла сигналів пробліскового режиму, не існує універсального погодженого визначення точок, між якими належить вимірювати тривалість пробліску. **Загальна** тривалість пробліску повинна визначатися як відстань між точками, у яких інтенсивність падає нижче 5%. Вимірювана тривалість може обмежуватися FWHM (тобто 50% точок інтенсивності), втім, різні органи влади не використовують інші значення інтенсивності, наприклад згідно Британського стандарту BS 942, рекомендувалося 10% точок для поворотних маяків і 90% точок для джерела світла пробліскового типу. Сьогодні, стосовно цього питання ведуться наукові дослідження (СІЕ, Розподіл 1).

Поки не буде встановлено міжнародний стандарт, до отриманих результатів визначення тривалості пробліску необхідно додавати відсоток максимальної інтенсивності, між яким було здійснено вимірювання часу або дані про отримання тривалості пробліску.

5.4. Ефективна інтенсивність

Ефективна інтенсивність морських світлових навігаційних засобів повинна бути представлена у остаточних результатах, обчислених за допомогою метода Шмідта-Клаузена, як зазначено у розділі 1.4.

5.5. Мінливість і стабільність

Результати всіх вимірювань повинні бути представлені із зазначенням рівня мінливості і стабільності, як зазначено у розділі 2.6. Див. також Додаток В.

6. ВИСНОВКИ

Цей стандарт забезпечує отримання інформації, необхідної для виконання вимірювань з метою визначення фотометричних режимистик світлових сигналів морських навігаційних засобів. По завершенні таких вимірювань, інженерам доручається встановити навігаційний засіб таким чином, щоби його експлуатаційні режимистики "на місці" відповідали результатам вимірювань щодо ефективної інтенсивності, номінальної дальності й зазначеним режимистикам. Таким чином, повинні бути застосовані наступні критерії:

- Енергоспоживання джерела світла або енергоспоживання повинне утримуватися на відповідному рівні напруги упродовж робочого циклу джерела світла.
- Якщо вимірювана система світла встановлена всередині ліхтаря, тоді під час обчислення номінальної дальності необхідно робити поправку на втрати, що виникають через скло ліхтаря [2].
- У випадку ліхтарів з плоским склом (як правило застарілих маяків) "фальшиві проблиски" можуть генеруватися через внутрішні відбитки всередині ліхтаря, що спричиняє появу небажаних ефектів. У цьому випадку буде необхідно вдаватися до дослідження на місці і визначення шляху відбитих променів і фактичних значень затемнення.
- Експлуатаційний режим повинен передбачати відновлення ламп до початку втрати ними своїх експлуатаційних режимистик. У випадку СВ буде спостерігатися певне зниження інтенсивності протягом терміну служби СВД, що необхідно враховувати.
- Скло та лінзи з пластику будуть руйнуватися через дію сонячного світла. Інформацію стосовно врахування втрати експлуатаційних режимистик можна отримати із спеціального керівництва [2].
- При заміні, нові джерела світла повинні відповідати специфікації попередніх.
- Вимірювання "на місці" повинні виконуватися, де можливо, після початкового встановлення і після модифікацій, що можуть вплинути на зміну експлуатаційних режимистик.
- На місці відповідні процедури повинні виконуватися для забезпечення правильного позиціонування замінних джерел світла в оптичному приладі, а також для підтримки самого приладу у належному стані.

7. REFERENCES

- [1] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA), "Recommendations for the Colours of Light Signals on Aids to Navigation," December 1977.
- [2] IALA, "Recommendations on the Determination of the Luminous Intensity of a Marine Aid-to-Navigation Light," December 1977.
- [3] Schmidt-Clausen, H.J., Über das Wahrnehmen verschiedenartiger Lichtimpulse bei veränderlichen Umfeldleuchtdichten (Concerning the perception of various light flashes with varying surrounding luminances, Darmstadt Dissertation D17, Darmstadt University of Technology, 1968.
- [4] Graham, C.H., ed. Vision and Visual Perception, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1965.
- [5] International Commission on Illumination (CIE), Publication No. 18.2, "The Basis of Physical Photometry," 1983.
- [6] CIE Publication No. 69, "Methods of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Meters," 1987.
- [7] National Institute of Standards and Technology (NIST), Special Publication 250-37, Photometric Calibrations, U.S. Department of Commerce, July 1997.
- [8] John W. T. Walsh, "Photometry," Dover Publications, 1965.
- [9] ISO Publication No. 2, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1993.
- [10] CIE Publication No. 43, Photometry of Floodlights (Appendix C.2), 1979.
- [11] Illuminating Engineering Society (IES), Publication LM-54-1991, IES Guide to Lamp Seasoning, 1991.
- [12] J. Johnson, "Zero-Length Searchlight Photometry System," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol 57, No. 3, March 1962, p. 187.
- [13] IES, Publication LM-11-84, IES Guide for Photometric Testing of Searchlights, July 1984.
- [14] IALA, "Recommendation for the Notation of Luminous Intensity and Range of Lights," November 16, 1966.
- [15] CIE Publication No. 63, The Spectroradiometric Measurement of Light Sources, 1984
- [16] IALA Recommendation E-110 on the Rhythmic Characters of Lights on Aids-to-Navigation", May 1998.
- [17] CIE Publication No. 86, CIE 1988 2_ Spectral Luminous Efficiency Function for Photopic Vision, 1990.
- [18] CIE Publication No. 127, Measurement of LEDs (Technical Report), 1997.
- [19] CIE Publication No. 70, The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions, 1987.
- [20] CIE Publication No. 121, The Photometry and Гоніофотометрія of Luminaires, 1996

Створення цього Стандарту стало можливим лише завдяки наполегливій праці й ентузіазму працівників Технічного Комітету IALA. Особливу подяку хочеться висловити членам Робочої Групи Комітету, а саме:

пану Омару Фрицу Еріксону (Данія); пані Терезі Моліна (AIDO, Іспанія);
пану Яну Татту та пану Адріану Уілкінсу (Англія, Трінті Хаус);
пану Жан-П'єру Валару (Франція); пану Джону Рошфору (Вега Індастріз);
доктору Інг. Ханс-Р Гердес (Німеччина);
пану Лео ван дер Гарсту, пану Генку Росу та пану Сіпка Гекстра (Нідерланди);
пану Карлу Андерсену, пану Скоту Тріпу та пану Харлі Клівленду (USCG).

Додаток А. Приклад протоколу випробувань

У цьому прикладі наведено порядок стандартної процедури вимірювання світлового сигналу у приміщенні. Зміст і план носять лише довідковий режим, для інших типів вимірювань зміст може змінюватися. Наприклад, вимірювання світлового сигналу на відкритому просторі може включати поправку на природні фактори для кожного виконуваного випробування, якщо вони виходять за межі параметрів температури, відносної вологості тощо, встановлених для вимірювань у приміщенні. Може також виникнути потреба включення додаткової інформації, за наявності особливого прохання, наприклад, обчисленого середнього значення енергоспоживання при роботі у певному проблісковому режимі. З іншого боку, мінімально необхідна інформація, як наприклад, номінальна дальність при певному режимі – це може бути все, що потрібно замовнику вимірювань. Незалежно від форми протоколу випробувань, важливо надавати достатню інформацію для того, щоби результати були повністю зрозумілі і не відривалися від контексту.

Імена і загальна інформація, наведена у цьому прикладі, є вигаданими. Будь-який збіг із реальними іменами та назвами може бути виключно випадковим.

СОДОР ЛЕБОРЕТРИЗ, ПРОТОКОЛ ФОТОМЕТРИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ**Протокол випробувань № 248****Склав:** *Дж. Блогс***Дата випуску: 19 лютого 2001 р.****Схвалено:** *Г. Гудіні***Комерційна конфіденційна пропозиція (якщо необхідно)****ВСТУП**

Краща Лоцмейстерська Компанія м. Ньютаун, Уестшир просить Лабораторію Содор провести випробування дослідного зразка буйкового маяка типу АBB1. Необхідно було провести оцінювання сили світлового сигналу кругової спрямованості і відповідності кольорів, а також і пробліскового профілю і зазначеного режиму роботи. Ці тести були проведені у відповідності зі Стандартом IALA щодо Фотометрії світлових сигналів морських навігаційних засобів.

ОБЛАДНАННЯ, ЩО ПЕРЕВІРЯЄТЬСЯ

Обладнання, що перевіряється — буйковий маяк типу АBB1, серійний номер 0001, було отримано 18 лютого 2001 року. Маяк, світловий морський навігаційний сигнал кругової спрямованості червоного кольору, був дослідним приладом, який ще не виготовлявся серійно. Джерело світла складалося із циліндричного пучка СВД із вбудованим джерелом живлення Асте LED та проблісковим пристроєм. Діапазон вхідної напруги обладнання був 11-16 В постійного струму, а максимальна питома потужність складала 2 А. Електричні дроти маяка були герметично ізольовані за допомогою двох метрового кабелю. Вибір пробліскового режиму здійснювався за допомогою дистанційного інфрачервоного пристрою типу АВС1, котрий було надано разом із маяком.

МЕТА

Метою було вимірювання горизонтального та вертикального профілів буйкового маяка типу АBB1, який постачається разом із профілем пробліскового режиму Ico 1s. Вимірювання хроматичності також вимагалося, щоби забезпечити відповідність маяка системі кольорів IALA.

УМОВИ ВИПРОБУВАННЯ

Фотометричні випробування даного маяку було проведено із використанням стандартної лабораторної фотометрії у затемненому гоніофотометричному приміщенні Лабораторії Содор при температурі повітря 20°C і відносній вологості 61%. Шлях світла переломлювався однометровим квадратним плоским дзеркалом із срібним покриттям. Загальна довжина ламаного шляху світла для гоніофотометрії та пробліскової фотометрії складав 20м. Зазначені задокументовані процедури вимірювання світлового сигналу були дотримані. Спектрорадіометричні випробування були проведені із шляхом світла 0.5м у напрямку 180⁰ від фотометричного шляху світла.

ВИПРОБУВАЛЬНИЙ МЕТОД

Була проведена ревізія маяка, яка підтвердила, що маяк знаходиться у хорошому стані. Його було розміщено в центрі столу гоніометра, із центром світла на осі нахилу та рівня приведення, приведених у відповідність із напрямком вимірювання. Стіл гоніометра було встановлено на потрібному рівні і маяк був приведений до рівня столу за допомогою його власного бульбашкового рівня. Маяк було надійно зафіксовано у цій позиції за допомогою вбудованих монтажних кронштейнів і забезпечений живленням 12.00В постійного струму від лінійного стабілізатора. Було використано контролер, щоби змусити маяк випромінювати фіксоване світло і, коли цього було досягнуто, маяк був залишений для стабілізації на двадцять хвилин. Вхідні напруга і струм безперервно контролювалися на вході кабелю живлення.

Гоніофотометрія

Стіл гоніометра обертався навколо вертикальної осі за годинниковою стрілкою від рівня приведення до значення $x = -180^\circ$. Потім був побудований графік горизонтальної площини від $x = -180^\circ$ до $x = +180^\circ$ шляхом обертання столу у напрямку проти годинникової стрілки і запису показань фотометра через кожні 0.5° . Цей графік було складено згідно рівня столу, тобто при $y = 0^\circ$. Стіл було повернуто до рівня приведення і нахилено до положення $y = -10^\circ$. Потім був побудований графік вертикального променевого профілю через рівень приведення (при $x = 0^\circ$) від -10° до $+10^\circ$ шляхом нахилу столу до горизонтальної осі і запису показань фотометра через кожні 0.1° . Цей процес складання графіка вертикального променевого профілю було повторено при $x = +120^\circ$ і $x = -120^\circ$.

Спектрорадіофотометрія (в $x = 180, y = 0$)

Після завершення гоніофотометричних випробувань, поки маяк був у розташований згідно рівня приведення на столі гоніометра і випромінював фіксоване світло, було складено графік спектральної ємності світла маяка за допомогою спектрометра з монохроматором. Діафрагма приладу була розташована на відстані 0.5м від маяка, на рівні з центром шляху світла, при $x = 180^\circ$. Був складений середній графік видимого спектра було між 380нм і 780нм, з 1нм інтервалами.

Проблискова фотометрія (при Рівні приведення $x = 0, y = 0$)

Було використано контролер, щоби змінити режим, що передбачав перехід від фіксованого світла до Iso 1.0s (замикання контактів — 0.5с, розмикання контактів — 0.5с). У такому режимі маяк залишили працювати на 20 хвилин для стабілізації. Показання фотометра реєструвалися самописцем і був складений графік залежності сили світла від часу, на основі циклу із десяти послідовних проблісків маяка. В основу графіка лягли середні значення, отримані за результатами вимірювання п'яти різних проблісків.

Прилад	Виробник	Тип	Серійний №	Ост. календ. дата
Фотометр	Лайт Леб	LLP042	C308-3	03.09.00
Еталонна лампа	Олторп	12.75V 25.00A	R21A79 443.4cd	09.12.00
Вольтметр	Метерекс	2001	50518866	23.04.00
Амперметр	Метерекс	2002	50518867	23.04.00
Блок живлення	Пауерлеб	SP 060	C309A	14.06.00
Гоніометр	Содор Леборетріз	Креслення №. 4321 версія 02	—	01.02.01
Самописець	Тайм Системз	Maxi Log 2	368195	01.02.01
Спектрорадіометр	СпекПал	SP6	S345981	31.05.00

РЕЗУЛЬТАТИ

Остаточні результати вимірювань приведені нижче, дані гоніометричних графіків, спектрорадіометричних та пробліскових фотометричних вимірювань приведені на наступних сторінках.

Остаточні результати

Кращий буйковий маяк типу АВВ1, серійний номер 0001

Кількість вимірювань	10 процентильна фіксована інтенсивність (кд)	ефективна інтенсивність при I ₅₀ 1.0s (кд)	вертикальна мінливість (град.)	тривалість пробліску при 50% макс. (сек.)	хроматичність за методом CIE 1931 р.		колірний діапазон, IALA 1977 р.
					x	y	
Значення	326	234	9.7	0.499	0.692	0.307	Переважно червоний
Мінливість	±19	±15	±0.05	±0.001	±0.002	±0.002	

Зазначена розширена мінливість вимірювань вказана як стандартна мінливість вимірювань, помножена на відповідний коефіцієнт запасу k, згідно якого запас точності вимірювань складає приблизно 95%. Стандартна мінливість була визначена у відповідності із "Керівництвом щодо вираження мінливості вимірювань" [9].

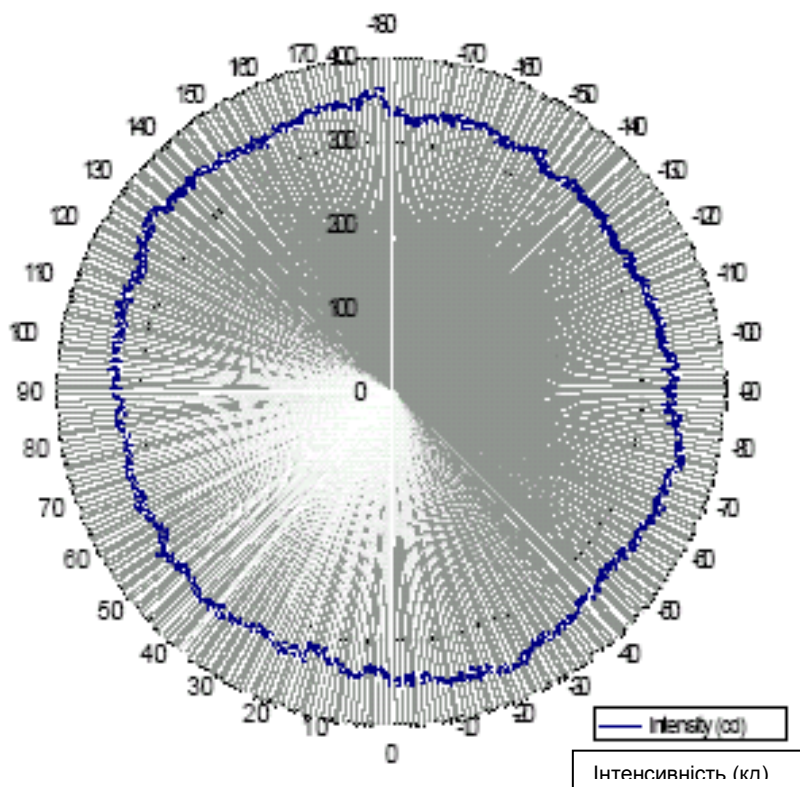
КОМЕНТАРІ

1. Коли маяк, випромінює фіксоване світло при вхідній напрузі 12.00V постійного струму, струм на вході буде дорівнювати 1.91A ± 0.01A упродовж процесу вимірювання.
2. Для вимірювання кольору, замість триколірного вимірювача хроматичності, було використано спектрорадіометр. Причиною цього було те, що випромінюване маяком світло було обмежене дуже вузьким діапазоном довжини хвилі, а спектрорадіометр дозволяв істотно зменшити неточності вимірювання. Але навіть за таких умов, необхідно було застосувати смугу дискретизації і приріст в один нанометр, щоби досягнути вказаної стандартної мінливості 0.011 (1.1%) для спектрального поправочного коефіцієнта.
3. Проблісковий параметр майже прямокутний, але графік показує що інтенсивність трохи зменшується разом із тривалістю пробліску. Однак, різниця між початковою інтенсивністю пробліску (345кд), і фіксованою інтенсивністю, зображеною на графіку при x = 0 (329кд), невелика і лежить у межах зазначених значень мінливості.

СОДОР ЛЕБОРЕТРИЗ, ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ

Гоніофотометрія

Кращий буйковий Veacon Type ABB1 s/n 0001



Ім'я оператора:

Дж. Блогс

Дата вимірювань:

19.02.01

Час вимірювань:

14.20.20

Метрологічна організація:

Содор Леборетріз, кімната 101

Результати

	Значення	Мінливість+/-
Максимальна інтенсивність (кд)	366	19
Мінімальна інтенсивність (кд)	317	19
10 Перцентильна інтенсивність (кд)	326	19

Зазначена розширена мінливість вимірювань вказана як стандартна мінливість вимірювань, помножена на відповідний коефіцієнт запасу $k = 2.65$, згідно якого запас точності вимірювань складає приблизно 95%. Стандартна мінливість була визначена у відповідності із "Керівництвом щодо вираження мінливості вимірювань". Для цих гоніофотометричних вимірювань, зазначена мінливість є найбільшою з усіх показаних на графіку отриманих результатів.

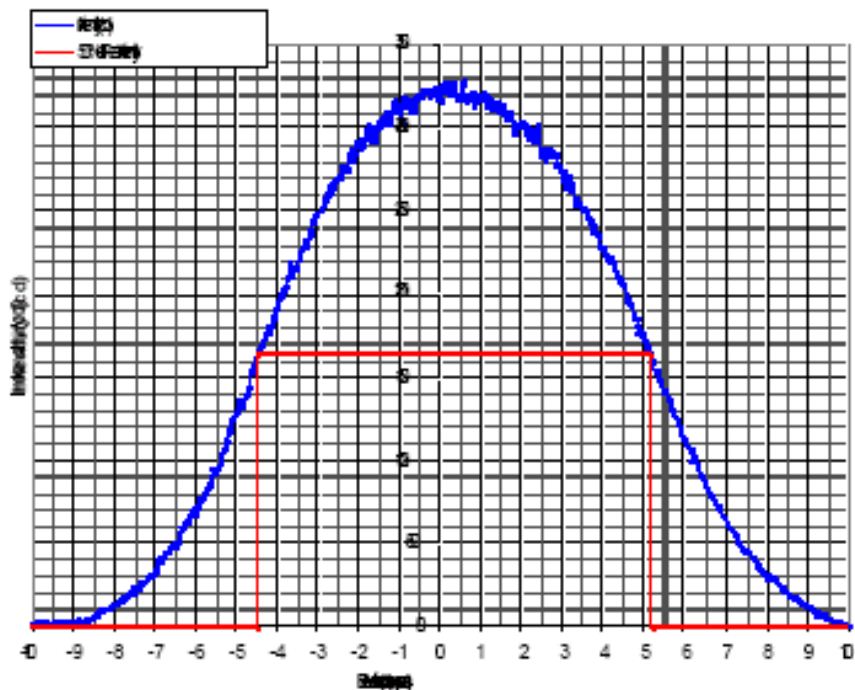
Полярний графік залежності інтенсивності від кута α

Результати азимутного графіка від $\alpha = -180$ до $\alpha = +180$ при $y = 0$

СОДОР ЛЕБОРЕТРИЗ, ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ

Гоніофотометрія

Кращий буйковий маяк типу АBB1, сер. № 0001



Ім'я оператора: Дж. Блогс
 Дата вимірювань: 19.02.01
 Час вимірювань: 14.22.09
 Метрологічна організація: Содор Леборетріз, кімната 101

Результати

	Значення	Мінливість +/-
Пікова інтенсивність (кд)	329	21
Відхилення при 50% (градусів)	9.7	0.05

Зазначена розширена мінливість вимірювань вказана як стандартна мінливість вимірювань, помножена на відповідний коефіцієнт запасу $k = 2.65$, згідно якого запас точності вимірювань складає приблизно 95%. Стандартна мінливість була визначена у відповідності із "Керівництвом щодо вираження мінливості вимірювань". Для цих гоніофотометричних вимірювань, зазначена мінливість є найбільшою з усіх показаних на графіку отриманих результатів.

Інтенсивність (кд)
 50% піку інтенсивності

Вертикальна проекція (градусів)
 Інтенсивність (кд)

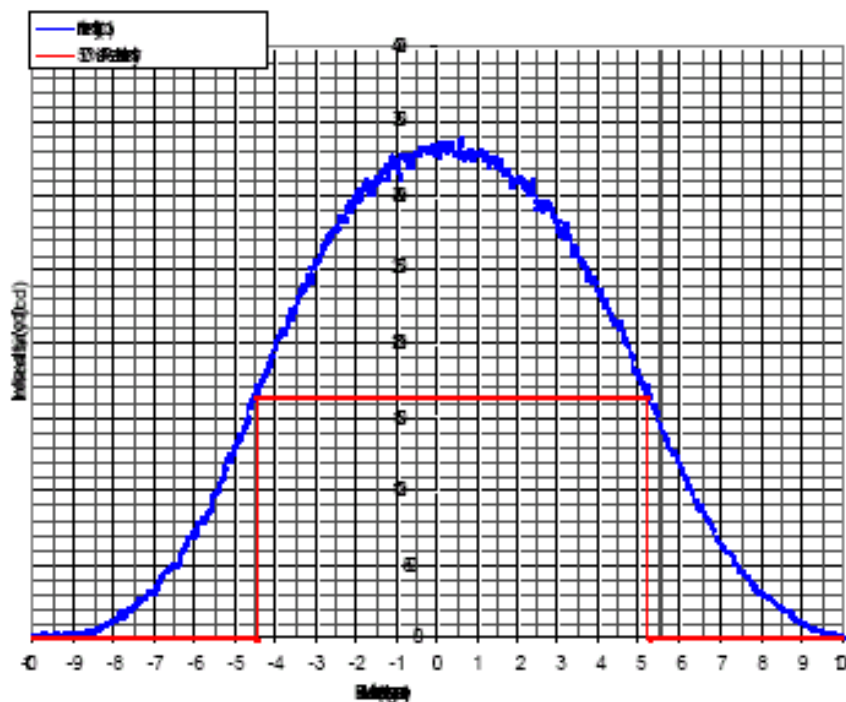
Декартовський графік залежності інтенсивності від кута

Результати графіка вертикальної проекції від $y = -10$ до $y = +10$ при $x = 0$

СОДОР ЛЕБОРЕТРИЗ, ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ

Гоніофотометрія

Кращий буйковий маяк типу АВВ1, сер. № 0001



Ім'я оператора:

Дж. Блогс

Дата вимірювань:

19.02.01

Час вимірювань:

14.24.14

Метрологічна організація:

Содор Леборетріз, кімната 101

Результати

	Значення	Мінливість+/-
Пікова інтенсивність (кд)	339	18
Відхилення при 50% (degrees)	9.7	0.05

Мінливість вимірювань вказана як стандартна мінливість вимірювань, помножена на відповідний коефіцієнт запасу $k = 2.65$, згідно якого запас точності вимірювань складає приблизно 95%. Стандартна мінливість була визначена у відповідності із "Керівництвом щодо вираження мінливості вимірювань". Для цих гоніофотометричних вимірювань, зазначена мінливість є найбільшою з усіх показаних на графіку отриманих результатів.

Інтенсивність (кд)

50% пікової інтенсивності

Інтенсивність (кд)

Вертикальна проекція (градусів)

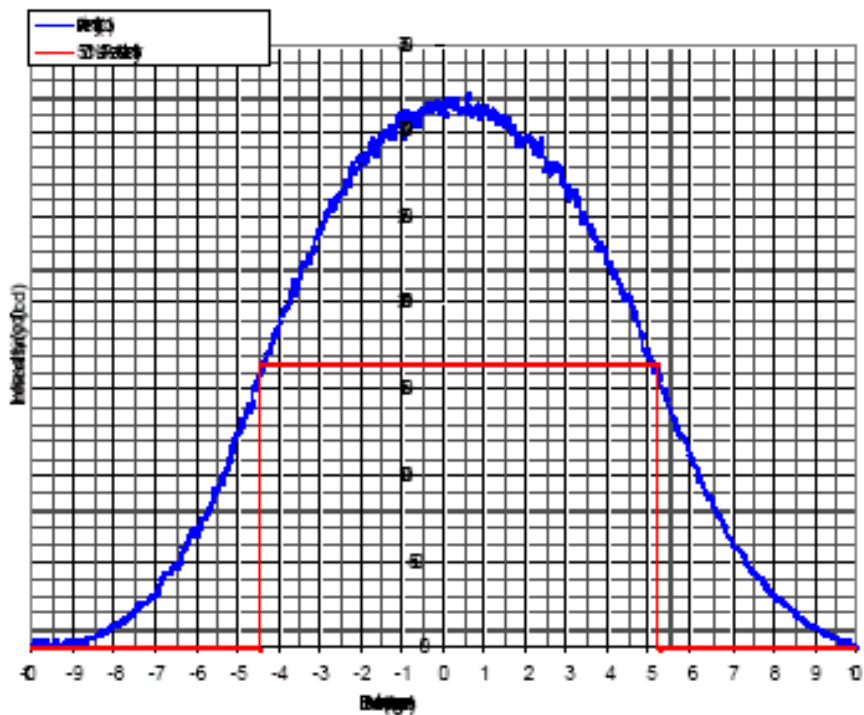
Декартовський графік залежності інтенсивності від кута

Результати графіка вертикальної проекції від $y = -10$ до $y = +10$ при $x = +120$

СОДОР ЛЕБОРЕТРИЗ, ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ

Гоніофотометрія

Кращий буйковий маяк типу АВВ1, сер. № 0001



Ім'я оператора: Дж. Блогс
 Дата вимірювань: 19.02.01
 Час вимірювань: 14.26.53
 Метрологічна організація: Содор Леборетріз, кімната 101

Результати

	Значення	Мінливість+/-
Пікова інтенсивність (кд)	323	19
Відхилення при 50% (градусів)	9.7	0.05

Зазначена розширена мінливість вимірювань вказана як стандартна мінливість вимірювань, помножена на відповідний коефіцієнт запасу $k = 2.65$, згідно якого запас точності вимірювань складає приблизно 95%. Стандартна мінливість була визначена у відповідності із "Керівництвом щодо вираження мінливості вимірювань". Для цих гоніофотометричних вимірювань, зазначена мінливість є найбільшою з усіх показаних на графіку отриманих результатів.

Інтенсивність (кд)
 50% пікової інтенсивності

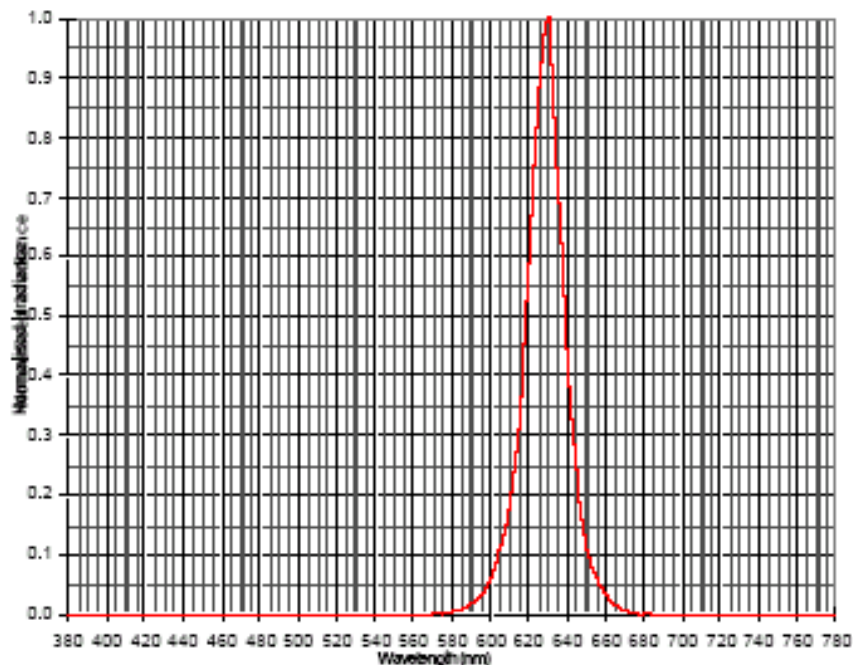
Інтенсивність (кд)
 Вертикальна проекція (градусів)

Декартовський графік залежності інтенсивності від кута
Результати графіка вертикальної проекції від $y = -10$ до $y = +10$ при $x = -120$

СОДОР ЛЕБОРЕТРИЗ, ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ

Спектрорадіометрія

Кращий буйковий маяк типу АBB1, сер. № 0001



Ім'я оператора: J.Bloggs
 Дата вимірювань: 19.02.01
 Час вимірювань: 14.46.11
 Метрологічна організація: Содор Леборетріз, кімната 101

Результати

		Значення	Мінливість+/-
Хроматичність	x	0.692	0.002
	y	0.307	0.002
Колірна область IALA переважно червоний			
Спектральний поправочний коефіцієнт			
	СПК	0.955	0.022

Зазначена розширена мінливість вимірювань вказана як стандартна мінливість вимірювань, помножена на відповідний коефіцієнт запасу $k = 2$, згідно якого запас точності вимірювань складає приблизно 95%. Стандартна мінливість була визначена у відповідності із "Керівництвом щодо вираження мінливості вимірювань".

Нормалізована енергетична освітленість
 Довжина хвилі (нм)

Декартовський графік залежності енергетичної освітленості від довжини

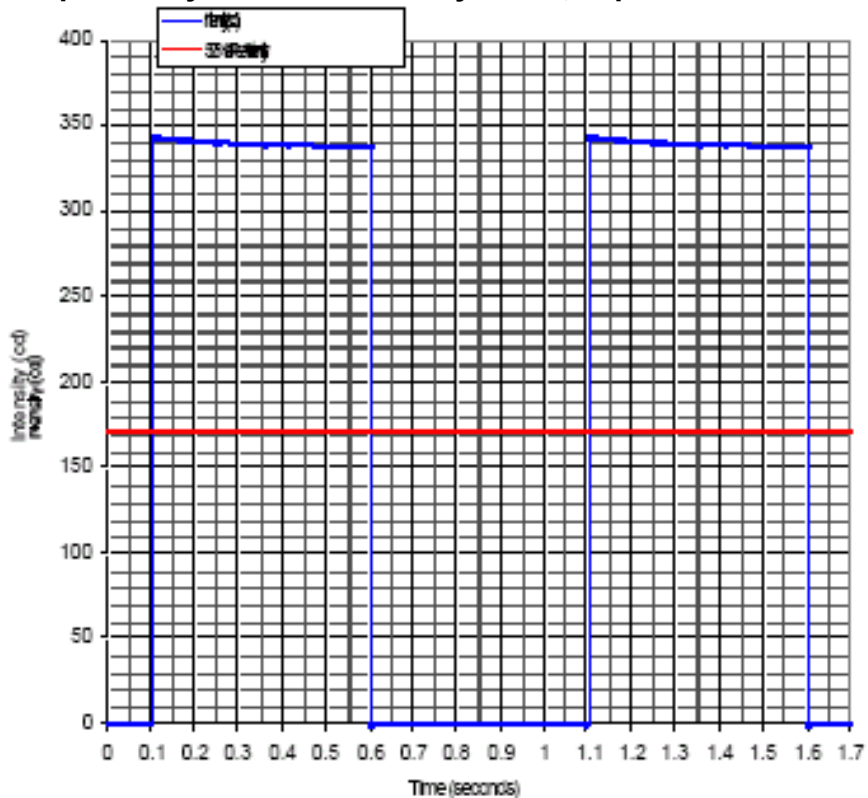
хвилі

Результати of спектрального графіка від 380 нм до 780 нм

СОДОР ЛЕБОРЕТРИЗ, ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ

Проблискова фотометрія

1. Кращий буйковий маяк типу АВВ1, сер. № 0001



Ім'я оператора:

Дж. Блогс

Дата вимірювань: 19.02.01

Час вимірювань: 14.31.25

Метрологічна організація: Содор Леборетріз, кімната 101

Результати

Значення Мінливість+/-

Пікова інтенсивність (кд) 344 15

Ефективна інтенсивність 245 15

Тривалість проблиску (секунд) 0.499 0.001
(виміряна до 50 % макс.)

Нічна номінальна ємність (М) 7
(asper IALA 1966)

Зазначена розширена мінливість вимірювань вказана як стандартна мінливість вимірювань, помножена на відповідний коефіцієнт запасу $k = 2$, згідно якого запас точності вимірювань складає приблизно 95%. Стандартна мінливість була визначена у відповідності із "Керівництвом щодо вираження мінливості вимірювань".

Інтенсивність (кд)
50% піку інтенсивності

Інтенсивність (кд)
Час (секунд)

Декартовський графік залежності інтенсивності від часу

Результати графіка часової залежності при $x = 0, y = 0$

Додаток В. Приклад закладеної можливості мінливості

Цей приклад закладеної можливості мінливості носить виключно ознайомчий характер. Він був створений виключно у відповідності із Керівництвом ISO № 2 і охоплює існуючі методології. Модель, що використовується, є простою і поєднує ті фактори впливу, що викликають мінливість. Модель може змінюватися залежно від специфічного методу вимірювання, вимірювального обладнання або об'єкту вимірювань. Наприклад, якщо той самий метод та обладнання, наведені у прикладі, були використані для вимірювання маяка з вольфрамовою лампою накалювання з однаковою спектральною ємністю по відношенню до еталонної лампи, жодного спектрального корегування не потрібно. До того ж, можна побачити з параметрів нестабільності, наведених у прикладі, що мінливість показань фотометра має незначний вплив на загальну мінливість і може просто бути вилучена із закладеної можливості мінливості.

Окрема можливість мінливості для кожного окремого процесу вимірювання повинна бути закладена, якщо не вистачає знань щодо мінливості результату. Наприклад, графік спектрорадіометра, наведений у протоколі вимірювань, буде мати свою власну закладену можливість мінливості для оцінки спектрального поправочного коефіцієнта (СПК). Це буде включати, у якості моделі, рівняння для визначення СПК (див. 2.3.).

Взагалі, якщо існують будь-які сумніви стосовно значення фактора мінливості, необхідно провести його оцінку, використати як необхідний або відкинути, як неможливий. Необхідно намагатися досягти зменшення мінливості, а тому, небажані її джерела, де тільки можливо, усувати. Наводимо наступні важливі типи мінливості та інші обмежуючі фактори двох вимірювальних методів:

Фотометрія на відкритому просторі

Фактори мінливості:

- Встановлення та вимірювання за межами мінімальної фотометричної відстані;
- розсіяне та загальне світло;
- калібровка фотометра;
- колірна корекція фотометра стосовно червоного та зеленого кольорів;
- природні умови.

Обмежуючі фактори:

- пошук належного темного приміщення;
- досягнення достатньої чутливості вимірювального приладу на мінімальній фотометричній відстані.

Фотометрія нульової довжини

Фактори мінливості:

- форма, точність та відбивна здатність параболічного дзеркала;
- вирівнювання і калібрування системи;
- розсіяне та загальне світло;
- калібрування фотометра;
- колірна корекція фотометра (плюс дзеркала) стосовно червоного та зеленого кольорів.

Обмежуючі фактори:

- вартість і точність параболічного дзеркала;
- розмір оптичного приладу обмежується розміром дзеркала.

ОЦІНКА МІНЛИВОСТІ

Приклад

Гоніофотометричне вимірювання залежності кутового розподілу від сили світла маяка шляхом порівнянням із параметрами еталонного джерела світла із переломленим шляхом довжиною 20м, за допомогою плаского дзеркала із срібним покриттям.

Процедура

Маяк із фіксованим світловим сигналом розміщується на столі таким чином, щоби його промінь проєктувався на пласке дзеркало і відбивався на приймальну область фотометра, встановленого поруч із столом гоніометра. Показання фотометра і коефіцієнт підсилення записуються для кожного вимірюваного кута і порівнюються із показаннями і коефіцієнтом підсилення, які спостерігаються після заміни лампи маяка, що перевіряється, на калібровану стандартну еталонну лампу. Через те, що розподіл спектральної ємності вимірюваного маяка і стандартного еталонного джерела можуть відрізнитися, а об'єднана спектральна відповідь фотометра і дзеркала точно не слідує $V(_)$, може бути необхідним застосувати спектральний поправочний коефіцієнт. У цьому прикладі, застосовується незалежно визначений СПК. Умови оточення ігноруються, через те, що випробування проводяться у темряві і фотометр обнулюється перед кожним вимірюванням. На практиці будуть братися два показання для кожного зростаючого кутового положення і порівнюватись із середнім значенням десяти зчитувань стандартного еталонного джерела. Найбільша мінливість, яка підраховується для кожного вимірюваного положення, це значення, яке вказується для загальної мінливості випробувальних вимірювань.

Кількості

Перелік вхідних і вихідних кількостей величин процедури вимірювання наведені нижче:

1. I_R та мінливість $u(I_R)$ є вхідною кількістю сили світла стандартної еталонної лампи, яку було взято з посвідчення про перевірку і калібрування. Зазначена розширена мінливість має коефіцієнт запасу $k = 2$, тому Зазначена мінливість ділиться на 2, щоб отримати стандартну мінливість.
2. Середнє значення V_T та мінливість $u(V_T)$ є вхідною кількістю зчитувань фотометра, пропорційних кількості випромінюваного маяком світла. Показання виводяться у бітах через аналого-цифровий перетворювач.
3. Середнє значення V_R та мінливість $u(V_R)$ є вхідною кількістю зчитувань фотометра, пропорційних стандартним кількості випромінюваного еталонною лампою світла. Показання виводяться у бітах через аналого-цифровий перетворювач.
4. G_T та мінливість $u(G_T)$ є вхідною кількістю зчитувань фотометром світла маяка, що перевіряється, до яких застосовується коефіцієнт підсилення.
5. G_R та мінливість $u(G_R)$ є вхідною кількістю зчитувань фотометром світла еталонного джерела, до яких застосовується коефіцієнт підсилення.
6. СПК та мінливість $u(\text{СПК})$ є вхідною кількістю спектрального поправочного коефіцієнта, який визначається окремо шляхом спектрорадіометричних вимірювань (середня значення результатів 20 вимірювань).
7. Середнє значення I_T та мінливість $u(I_T)$ є **вихідною кількістю** сили світла, у канделах, маяка, що перевіряється, тобто результат.

Дані

Значення, супутня стандартна мінливість і тип розподілу, що пов'язується із кожною вхідною кількістю наводяться нижче:

Кількість	Значення	Мінливість	Розподіл
$I_R = 443.4$ кд \pm 3кд до 95% точності ($k = 2$)	443.4	1.5	Прямокутний
$V_{T1} = x_1$ біт) Середнє $V_T = (x_1 + x_2)/2$	208.0	2.5	Нормальний
$V_{T2} = x_2$ біт) $\pm u(V_T)$ біт			
$V_R = 617 \pm 10$ біт (результат десяти вимірювань)	617.0	7.0	Нормальний
$G_T = 250 \pm 2.5\%$ ($k = 2$)	250	0.0125	Прямокутний
$G_R = 100 \pm 2.5\%$ ($k = 2$)	100	0.0125	Прямокутний
$SCF = 0.955 \pm 0.011$	0.955	0.011	Нормальний

Модель

Завдяки процесу вимірювання ми можемо створити математичну модель, у цьому випадку — формулу, щоби отримати вихідну кількість від вхідних кількостей наступним чином:

$$I_T = I_R \cdot V_T \cdot G_T \cdot SCF / V_R \cdot G_R$$

Коефіцієнт Чутливості

Формула може бути змінена для кожної наступної вхідної кількості, щоби визначити вплив цих самих вхідних кількостей на вихідні кількості.

c1	$I_T/I_R = V_T \cdot G_T \cdot SCF / V_R \cdot G_R$	0.804862237
c2	$I_T/V_T = I_R \cdot G_T \cdot SCF / V_R \cdot G_R$	1.715749595
c3	$I_T/V_R = I_R \cdot V_T \cdot G_T \cdot SCF / V_R \cdot G_R$	0.57840505
c4	$I_T/G_T = I_R \cdot V_T \cdot SCF / V_R \cdot G_R$	1.427503663
c5	$I_T/G_R = I_R \cdot V_T \cdot G_T \cdot SCF / V_R \cdot G_R \cdot G_R$	3.568759157
c6	$I_T/SCF = I_R \cdot V_T \cdot G_T / V_R \cdot G_R$	373.6920583

Можливість мінливості

Вхідні значення і їхні супутні стандартні значення мінливості повинні бути представлені у вигляді таблиці. Коефіцієнт чутливості повинен помножуватися на стандартну мінливість, щоби визначити внесок у мінливість. Всі вхідні значення внесків потім об'єднуються, за допомогою кореневої суми квадратичного методу, щоби з'ясувати вихідну стандартну мінливість. Вихідне значення отримується шляхом підстановки вхідних значень у модель.

№	Кількість X	Символ	Значення x_i	Стандартна мінливість $u(X_i)$	Тип оцінки	Ступені свободи ν_i	Коефіцієнт чутливості c_i	Внесок у мінливість $u_i(y)$ кд
1.	Інтенсивність ет. дж.	I_R	443.4	1.5	B	Необм.	0.8049	1.2073
2.	Пік фот. інт. маяка	V_T	208	2.45	A	1	1.7157	4.2036
3.	Фот. дані. дж	V_R	617	7	A	9	0.5784	4.0488
4.	Фот. підсил. маяка	G_T	250	0.0125	B	Необм.	1.4275	0.0178
5.	Фот. підсил. ет. дж.	G_R	100	0.0125	B	Необм.	3.5688	0.0446
6.	Спектр. поправ. коеф.	SCF	0.955	0.011	A	19	373.6921	4.1106
7.	Макс. інт. Маяка	I_T	356.88			4.73		7.2402

Ступені свободи

Щоб отримати відповідний коефіцієнт запасу для точності 95%, необхідно обчислити ефективні ступені свободи за формулою Уелча-Сетертвейта. Вхідні ступені свободи від прямокутних розподілів нескінченні, тоді як нормальні вхідні розподіли (типу A, отримані за допомогою статистичних середніх значень) визначаються як кількість зразків або вимірювань мінус один (n-1). Наприклад, десять вимірювань було виконано стосовно еталонної лампи. Супутні ступені свободи повинні, відтак, бути 10-1=9.

$$\nu_{eff} = \nu_i \cdot \{u(y)^4 / u_2(y)^4 + u_3(y)^4\} \text{ (Уелч-Сетертвейт)}$$

$$\nu_{eff} = 4.73$$

Розширена мінливість

Щоб одержати розширену мінливість, необхідно помножити об'єднану мінливість на коефіцієнт запасу k . Коефіцієнт запасу може бути отриманий з ефективних ступенів свободи шляхом використання схеми t -розподілу для 95.45% точності. Якщо ефективних ступенів свободи більше 100, коефіцієнт запасу може бути зменшений до 2. Потім, об'єднану мінливість необхідно помножити на коефіцієнт запасу, щоб одержати розширену мінливість.

$k = 2.65$ — це коефіцієнт запасу для 95.45% точності згідно схемі t -розподілу

$$u_y = k \cdot u_y = 2.65 \cdot 7.24 = 19 \text{ кд}$$

Отриманий результат

Максимальна сила світла маяка = 357 _ 19 кд

Отримана розширена мінливість вимірювань вказана як стандартна мінливість вимірювань, помножена на відповідний коефіцієнт запасу $k = 2.65$, згідно якого запас точності вимірювань складає приблизно 95%. Стандартна мінливість була визначена у відповідності із "Посібником щодо виразу мінливості у вимірюванні".