

**IALA-MAMC**  
**МІЖНАРОДНА АСОЦІАЦІЯ НАВІГАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**  
**МОРЕПЛАВСТВА І МАЯКОВИХ СЛУЖБ**

**КЕРІВНИЦТВО IALA № 1065**

**ЩОДО**

**ВЕРТИКАЛЬНОЇ РОЗХІДНОСТІ ПРОМЕНІВ СИГНАЛЬНИХ ВОГНІВ**  
**ЗАСОБІВ НАВІГАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ**

**Видання 1**

**Травень 2009 року**



20ter, rue Schnapper, 78100  
Saint Germain en Laye, France (Франція)  
Тел.: +33 1 34 51 70 01 Факс: +33 1 34 51 82 05  
E-mail: [iala-aism@wanadoo.fr](mailto:iala-aism@wanadoo.fr) Internet: <http://iala-aism.org>

## Перегляди документа

Перегляди документа IALA мають бути зазначені у таблиці до видання переглянутого документа.

Дата	Переглянута сторінка / розділ	Вимоги до перегляду

## **ЗМІСТ**

<b>ПЕРЕГЛЯДИ ДОКУМЕНТА</b>	<b>2</b>
<b>ЗМІСТ</b>	<b>3</b>
<b>ПОКАЖЧИК ТАБЛИЦЬ</b>	<b>4</b>
<b>ПОКАЖЧИК МАЛЮНКІВ</b>	<b>4</b>
<b>ПОКАЖЧИК ФОРМУЛ</b>	<b>5</b>
<b>1 МЕТА</b>	<b>6</b>
<b>2 ІСТОРИЧНА ІНФОРМАЦІЯ – ЛІХТАРІ БУЇВ</b>	<b>6</b>
<b>3 СФЕРА ОХОПЛЕННЯ</b>	<b>7</b>
<b>4 ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛЬНОГО ВОГНЮ</b>	<b>7</b>
4.1 Розпізнавання сигнального вогню	7
4.2 Послідовність розпізнавання характеру	7
4.3 Час, потрібний на розпізнавання характеру вогню	8
<b>5 ГЕОГРАФІЧНА ДАЛЬНІСТЬ ВИДИМОСТІ</b>	<b>8</b>
5.1 Географічна дальність видимості для плавучих засобів	8
5.2 Географічна дальність видимості для вогнів на стаціонарних платформах	9
<b>6 ДИНАМІЧНІ ВПЛИВИ НА ПЛАВУЧИЙ AtoN</b>	<b>9</b>
6.1 Опис руху плавучого AtoN	9
6.2 Впливи на географічну дальність видимості хвиль та вертикальної хитавиці плавучого AtoN	10
6.3 Вплив на розпізнавання вогню хвиль та вертикальної хитавиці плавучого AtoN	10
6.4 Впливи на розпізнавання вогню кута бортової хитавиці плавучого AtoN	11
<b>7 РОЗРОБКА КОРИСНИХ ПРОФІЛІВ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ</b>	<b>12</b>
7.1 Базові профілі	12
7.2 Комплексні профілі	12
7.3 Додаткові міркування	14
<b>8 ПРОЦЕДУРА ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ РОЗХІДНОСТІ ЛІХТАРЯ</b>	<b>15</b>
8.1 Плавучі платформи	15
8.1.1 Типовий набір навігаційних потреб та результуючі необхідні робочі характеристики ліхтаря буя (приклад)	15
8.1.2 Значущість прикладу	17
8.2 Стаціонарні платформи	17
<b>ДОДАТОК 1 ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	<b>20</b>
<b>1 ВИЯВЛЕННЯ ВОГНІВ БУЇВ: ВПЛИВИ РУХУ ТА РОЗХІДНОСТІ ЛІХТАРЯ – XII-а КОНФЕРЕНЦІЯ IALA – ГОЛЛАНДІЯ – 1990 р.</b>	<b>20</b>
<b>2 НАЛЕЖНИМ ЧИНОМ ЗБАЛАНСОВАНЕ СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ ГОРИЗОНТАЛЬНОЮ ІНТЕНСИВНІСТЮ СВІТЛА ТА ВЕРТИКАЛЬНОЮ РОЗХІДНІСТЮ МОРСЬКИХ ЛІХТАРІВ ДЛЯ БУЇВ, ЩО СВІТЯТЬ / КРИТЕРІЇ</b>	

<b>ОЦІНКИ ІНТЕНСИВНОСТІ СВІТЛА – XV-а КОНФЕРЕНЦІЯ IALA – АВСТРАЛІЯ – 2002 р.</b>	<b>23</b>
<b>3 ВПЛИВИ РУХУ БУЯ НА РОЗПІЗНАВАННЯ ХАРАКТЕРУ (TRINITY HOUSE)</b>	<b>23</b>
3.1 Невелика вертикальна розхідність (FWHM = 7°)	24
3.2 Великий вертикальний кут (FWHM = 21°)	25
3.3 Порівняння	26
3.4 Висновок	27
<b>4 ДРУГЕ ДОСЛІДЖЕННЯ TRINITY HOUSE</b>	<b>29</b>
<b>5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЦЕНТРУ ТЕХНОЛОГІЙ РУХУ СУДЕН ПРИ ФЕДЕРАЛЬНІЙ АДМІНІСТРАЦІЇ ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХІВ</b>	<b>29</b>
<b>6 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИРЕКТОРАТУ ПІВНІЧНОГО МОРЯ, НІДЕРЛАНДИ</b>	<b>31</b>
<b>ДОДАТОК 2 ПРИКЛАДИ СПЕЦИФІКАЦІЙ</b>	<b>32</b>
<b>1 НІМЕЦЬКА СПЕЦИФІКАЦІЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ДЛЯ МАЯКІВ ВЕЛИКИХ БУЇВ</b>	<b>32</b>
1.1 Загальні нотатки	32
1.2 Геометрія	32
1.3 Номінальна інтенсивність	32
1.4 Профілі інтенсивності	33
1.4.1 Білий	33
1.4.2 Зелений / Червоний	33
1.4.3 Жовтий	34
1.5 Математичний опис	34
<b>2 НІМЕЦЬКА СПЕЦИФІКАЦІЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ДЛЯ ВОГНІВ ДЛЯ ПОЗНАЧЕННЯ МОРСЬКИХ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ</b>	<b>35</b>

### **ПОКАЖЧИК ТАБЛИЦЬ**

Таблиця 1	Географічна дальність видимості	9
Таблиця 2	Відстань до спостерігача – нічний час	15
Таблиця 3	Параметри робочих характеристик	16
Таблиця 4	Робочі характеристики ліхтаря	16
Таблиця 5	Номінальні та мінімальні фотометричні інтенсивності для вогнів різних кольорів	32
Таблиця 6	Мінімальні профілі вертикальної розхідності для різних кольорів	34

### **ПОКАЖЧИК МАЛЮНКІВ**

Малюнок 1	Розпізнавання характеру	8
Малюнок 2	Опис руху судна	10
Малюнок 3	Опис символів, буй у нерухомому стані, у вертикальному положенні	11
Малюнок 4	Буй у нерухомому стані, нахилений	11
Малюнок 5	Буй, кутовий рух	11

Малюнок 6	Базовий профіль інтенсивності	12
Малюнок 7	Буй для малої відстані	13
Малюнок 8	Комплексний профіль інтенсивності	13
Малюнок 9	Згладжений профіль	14
Малюнок 10	Приклад максимального й мінімального профілю	14
Малюнок 11	Розроблені криві інтенсивності (мінімальні значення)	17
Малюнок 12	Вплив висоти спостерігача	18
Малюнок 13	Компенсація викривлення Землі	19
Малюнок 14	Розхідність для горизонтального коригування	19
Малюнок 15	Необхідні вертикальні кути залежно від відстані	19
Малюнок 16	Сукупний вплив руху буя та пробліскового вогню	20
Малюнок 17	Сукупний вплив бортової хитавиці та нахилу	21
Малюнок 18	З доповіді USCG	21
Малюнок 19	З доповіді Федеральної адміністрації водних шляхів	23
Малюнок 20	Дані для ліхтаря, що використовувалися у дослідженні Trinity House - 7°-а вертикальна розхідність	24
Малюнок 21	Положення буя та дальність дії ліхтаря за наявності хвиль, з дослідження Trinity House	24
Малюнок 22	Вплив руху буя на розпізнавання характеру, на відстані у 4 милі, для ліхтаря з 7°-ою вертикальною розхідністю, з дослідження Trinity House	25
Малюнок 23	Дані для ліхтаря, що використовувалися у дослідженні Trinity House - 21°-а вертикальна розхідність	25
Малюнок 24	Вплив руху буя на розпізнавання характеру, на відстані у 4 милі, для ліхтаря з 21°-ою вертикальною розхідністю, з дослідження Trinity House	26
Малюнок 25	Вплив руху буя на розпізнавання характеру, на відстані у 3 милі, для ліхтарів з 7°-ою (верхній графік) та 21°-ою (нижній графік) вертикальною розхідністю, з дослідження Trinity House (доповнює малюнок 26)	26
Малюнок 26	Вплив руху буя на розпізнавання характеру, на відстані у 3 милі, для ліхтарів з 7°-ою (верхній графік) та 21°-ою (нижній графік) вертикальною розхідністю, з дослідження Trinity House (доповнює малюнок 25)	27
Малюнок 27	Вплив руху буя на розпізнавання характерів для північного й південного головних румбів, з дослідження Trinity House	28
Малюнок 28	Цільові розподіли вертикальної інтенсивності	29
Малюнок 29	Пропонований профіль вертикальної інтенсивності	30
Малюнок 30	Графік остійності буя, що світить	31
Малюнок 31	Вертикальні площини відповідно до E-200	32
Малюнок 32	Мінімальний профіль інтенсивності для білого кольору	33
Малюнок 33	Мінімальний профіль інтенсивності для червоного й зеленого кольорів	33
Малюнок 34	Мінімальний профіль інтенсивності для жовтого кольору	34
Малюнок 35	Результуючі максимальний та мінімальний профілі	36

## ПОКАЖЧИК ФОРМУЛ

(формула 1)	Географічна дальність видимості	8
(формула 2)	Ефективна інтенсивність (Блондель-Рей)	17
(формула 3)	Фотометрична інтенсивність, в тому числі Блондель-Рей та коефіцієнт експлуатаційних умов	17
(формула 4)	Обчислення необхідного кута вертикальної розхідності	18
(формула 5)	Подальше обчислення кута розхідності	19
(формула 6)	Обчислення фотометричної інтенсивності	35
(формула 7)	Значення для формули 6	35

## **ВЕРТИКАЛЬНА РОЗХІДНІСТЬ ПРОМЕНІВ СИГНАЛЬНИХ ВОГНІВ ЗАСОБІВ НАВІГАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ**

### **1 МЕТА**

Метою цього документа є допомогти користувачу з описом вертикальної розхідності ліхтаря, обраного для конкретного засобу навігаційного обладнання. Це може бути стаціонарна платформа або плавуча платформа, як-от буй чи плавучий маяк.

У Технічній записці, що йде за Рекомендацією IALA щодо визначення інтенсивності світла вогнів морських засобів навігаційного обладнання (E200), зазначається, що «корисність вогню засобу навігаційного обладнання значною мірою залежить від частки часу, протягом якої його можна бачити з будь-якої потрібної відстані».

Більше того, у тому самому тексті зазначається, що «у замкнених водах максимальна відстань, з якої його (вогонь) має бути видно, може бути обмежена, але доцільно гарантувати цю дальність дії за такої поганої видимості, за якої це є економічно обґрунтованим».

Метою для користувача є вказівки щодо розхідності ліхтаря для будь-якого конкретного засобу навігаційного обладнання. Це може бути плавучий засіб, зважаючи на реакцію платформи на рух. Це може бути стаціонарна платформа, зважаючи на висоту фокальної площини, необхідну максимальну та мінімальну дальність видимості та висоту містка суден, що використовують такий засіб.

### **2 ІСТОРИЧНА ІНФОРМАЦІЯ – ЛІХТАРІ БУЇВ**

На початку двадцятого сторіччя електричних ліхтарів для буїв не існувало, і освітлювачем був зазвичай ацетилен або пропано-бутанова суміш. Це паливо спалювалося у газогартівній сітці або на повітрі. В обох випадках розмір джерела світла становив приблизно сантиметр або трохи більше. У ліхтарях у той час використовувалися розсіювачі з пресованого скла або розсіювачі з гранованого скла. Велике джерело світла мало забезпечувати дуже широку вертикальну розхідність, яка, у поєднанні зі стабільними робочими характеристиками сталевих буїв, що тоді використовувалися, забезпечувала видимість вогню за необхідних умов експлуатації.

Коли приблизно у середині минулого сторіччя стали широко використовуватися електричні ліхтарі буїв, більшість з них живилися від великих первинних акумуляторних батарей. У деяких випадках у цих акумуляторних батареях використовувалися елементи з повітряною деполяризацією. Акумуляторні батареї зазвичай виготовляли таких розмірів і форми, щоб вони поміщалися у спеціальне гніздо буя, яке спочатку було розраховане на чотири ацетиленових циліндри АК-50. Ці акумуляторні батареї були важкими й дорогими, і розробники нових електричних ліхтарів прагнули одержати достатню дальність дії за мінімального енергоспоживання.

Результатом цього стало звуження кривої вертикальної розхідності ліхтарів, що використовувалися; при цьому ліхтарі забезпечували непогані цифри номінальної дальності дії, але мали меншу розхідність, аніж газові ліхтарі, на зміну яким вони прийшли. Пізніше на ринку з'явилися пластмасові буї (спершу – GRP), які виявилися більш рухливими, ніж старші сталеві конструкції. Ближче до кінця сторіччя, з метою знизити капітальні витрати на буї, деякі служби визначили менші буї, ніж ті, що могли використовуватися у минулому.

Коли у 1980 році у світовому масштабі була запроваджена система буїв IALA, спеціалісти визнавали, що складні характери для південного та західного головних румбів потребуватимуть більшої вертикальної розхідності, ніж та, що забезпечувалася електричними ліхтарями, що тоді використовувалися, а відтак, деякі служби визначили більш широку розхідність. (На це їх спонукало розуміння того, що на розпізнавання довших та більш складних характерів знаків південного та західного головних румбів більше впливатиме рухливість буїв.) Незважаючи на це, розхідності, що використовувалися, були все ще вузькими у порівнянні з кутами, у межах яких більшість буїв, навіть найбільш стабільні, рухалися за нормальних вітрових та хвильових умов.

Незважаючи на те, що узгодження оптичних характеристик ліхтаря буя з динамічними характеристиками буя, на якому він встановлений, вже протягом ста років є справою розробників AtoN, лише останніми роками IALA почала розмірковувати, як вона може видати керівництво з цього питання.

### **3 СФЕРА ОХОПЛЕННЯ**

Це керівництво обмежується розглядом вертикальної розхідності, дальності дії та фокальної висоти джерела світла. Воно не містить рекомендацій щодо вибору розміру чи форми плавучої платформи для конкретного географічного місцезоположення.

Джерело світла, призначене для використання на AtoN, - це зазвичай ліхтар, по якому є достатньо фотометричних даних. Інтенсивність світла та просторовий розподіл світла, що випускається, є корисними параметрами для встановлення його номінальної дальності дії. Основні чинники, що впливають на дальність його видимості, є зовнішніми для установки; їх можна згрупувати наступним чином:

- Пропускання світла атмосферою (метеорологічна видимість);
- Людське сприйняття (порогове значення);
- Фонове освітлення або конкуруючі вогні;
- Географічна дальність видимості (висота спостерігача та вогню);
- Динамічні впливи (для плавучих засобів):
  - Рух плавучої платформи та просторовий розподіл світла ліхтаря;
  - Варіювання географічної дальності видимості через хвилі та перекриття гребнями хвиль.

Перші три чинники розглядаються в іншій документації IALA, у серії рекомендацій E-200, а тому детально не розглядаються у цьому документі. Предметом розгляду цього документа є наступне:

- Чинники, що впливають на розпізнавання сигналу спостерігачем;
- Географічна дальність видимості;
- Динамічні впливи на плавучі засоби.

## **4 ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РОЗПІЗНАВАННЯ СИГНАЛЬНОГО ВОГНЮ**

### **4.1 Розпізнавання сигнального вогню**

Для розпізнавання AtoN з проблісковим вогнем мореплавець може спостерігати дві властивості сигналу від ліхтаря у нічний час:

- колір вогню;
- характер вогню.

У більшості випадків він спостерігатиме спершу колір – білий, червоний, зелений, жовтий, синій або, можливо, їх поєднання. Це дасть йому першу інформацію, корисну для навігації. Приміром, якщо мореплавець спостерігатиме червоний чи зелений вогонь від плавучого засобу, він знатиме, що це є латеральний знак. Щоб одержати додаткову інформацію, він має розпізнати характер вогню. Для стаціонарних і плавучих знаків з білими вогнями мореплавець необхідно розпізнати характер вогню, щоб отримати якусь навігаційну інформацію.

### **4.2 Послідовність розпізнавання характеру**

Процес розпізнавання характеру вогню можна розбити на три кроки:

- 1 **Виявлення:** мореплавець спостерігає сигнал;
- 2 **Розпізнавання:** мореплавець визначає характер сигналу;
- 3 **Підтвердження:** мореплавець знов визначає характер сигналу, для підтвердження.

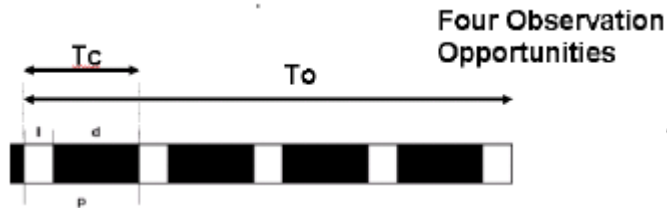


**ПРИМІТКА** Це є часова послідовність, і припускається, що сигнал не перекривається для спостереження у жодний момент часу протягом цієї послідовності. Також припускається, що впливи людського сприйняття, прозорості атмосфери та інших чинників не впливають на видимість сигналу на рівні ока мореплавця.

### 4.3 Час, потрібний на розпізнавання характеру вогню

Є два важливі чинники часу, що визначають час розпізнавання характеру. Це є:

- 1 Тривалість характеру ( $T_c$ )
- 2 Тривалість спостереження ( $T_o$ )



Малюнок 1 Розпізнавання характеру

Відтак, мореплавець потребує щонайменше двох періодів тривалості характеру ( $2 \times T_c$ ) для розпізнавання характеру вогню.

## 5 ГЕОГРАФІЧНА ДАЛЬНІСТЬ ВИДИМОСТІ

Згідно з NAVGUIDE, географічна дальність видимості – це «найбільша відстань, з якої об'єкт або джерело світла можна бачити за умов відмінної видимості, обмеженої лише викривленням Землі, рефракцією атмосфери та підняттям спостерігача та об'єкта або вогню».

Ця максимальна відстань визначається за формулою:

$$R_g = 2,03 \times (\sqrt{h_0} + \sqrt{H_m})$$

(формула 1) Географічна дальність видимості

де:

$R_g$  – географічна дальність видимості (морські милі)

$h_0$  – підняття ока спостерігача (метри)

$H_m$  – підняття знаку (метри)

Коефіцієнт 2,03 враховує рефракцію в атмосфері, яка спричиняє незначне викривлення шляху світла від джерела до спостерігача, а також перетворення одиниць між висотами у метрах та дальністю у морських милях. Кліматичні коливання у різних частинах світу можуть зумовлювати різні значення цього коефіцієнта. Зазвичай його значення знаходиться у діапазоні від 2,03 до 2,12.

### 5.1 Географічна дальність видимості для плавучих засобів

Підняття ліхтаря на плавучому засобі безпосередньо впливає на географічну дальність видимості вогню. Разом з тим, більша висота ліхтаря зазвичай зумовлює потребу у більшому плавучому засобі, що тягне за собою збільшення капітальних витрат та витрат на технічне обслуговування. Відтак, практична висота вогню на плавучій платформі залежить від ухвалених критеріїв проектування.

Часто ці критерії враховують експлуатаційні умови та уможливають групування плавучих платформ по загальних категоріях. Прикладом класифікації від однієї установи є наступний:

- Буї відкритого моря – фокальні висоти варіюються від 4 до 6 метрів
- Буї моря з помірним хвилюванням – фокальні висоти варіюються від 2,5 до 4 метрів

- *Прибережні буї та фарватерні буї* – фокальні висоти варіюються від 1,5 до 2,5 метрів
- *Буї суднових ходів обмеженої ширини* – фокальні висоти не перевищують 1,5 метрів.

Ця класифікація є лише одним прикладом; різні установи й виробники мають альтернативні класифікації, залежно від обраних параметрів проектування та умов навколишнього середовища.

Формула географічної дальності видимості (формула 1) використовувалася для обчислення значень географічної дальності видимості, вказаних у наведеній нижче таблиці. З неї видно, що для усіх категорій плавучих засобів та для висоти ока спостерігача, що перевищує приблизно 5 метрів, географічна дальність видимості, імовірно за все, перевищуватиме 5 миль, навіть для найменших буїв. Відтак, обчислена географічна дальність видимості зазвичай не є основним обмежуючим чинником для дальності дії плавучого засобу.

Наведена нижче таблиця відтворена з NAVGUIDE IALA, лише додане підняття вогню 6 метрів. Слід відзначити, що для деяких великих плавучих засобів, як-от плавучі маяки, підняття вогню може становити 12 м або навіть більше.

Таблиця 1 Географічна дальність видимості

Географічна дальність видимості у морських милях							
Висота ока спостерігача (метри)	Підняття вогню (метри)						
	0	1	2	3	4	5	6
1	2,0	4,1	4,9	5,5	6,1	6,6	7,0
2	2,9	4,9	5,7	6,4	6,9	7,4	7,8
5	4,5	6,6	7,4	8,1	8,6	9,1	9,5
10	6,4	8,5	9,3	9,9	10,5	11,0	11,4
20	9,1	11,1	12,0	12,6	13,1	13,6	14,1
30	11,1	13,2	14,0	14,6	15,2	15,7	16,1

Особливе занепокоєння викликає здатність мореплавця бачити вогонь за малої відстані, коли кути огляду є значно вищими за фокальну площину. Це важливо для плавучих засобів, що позначають край фарватерів, якщо висота суднового містка є великою. Цю проблему можна вирішити певною мірою за допомогою обрання джерела світла з належною вертикальною розхідністю або за допомогою використання ліхтаря, який розрахований на такі умови. Це міркування застосовується рівною мірою до вогнів на стаціонарних платформах та вогнів на плавучих платформах.

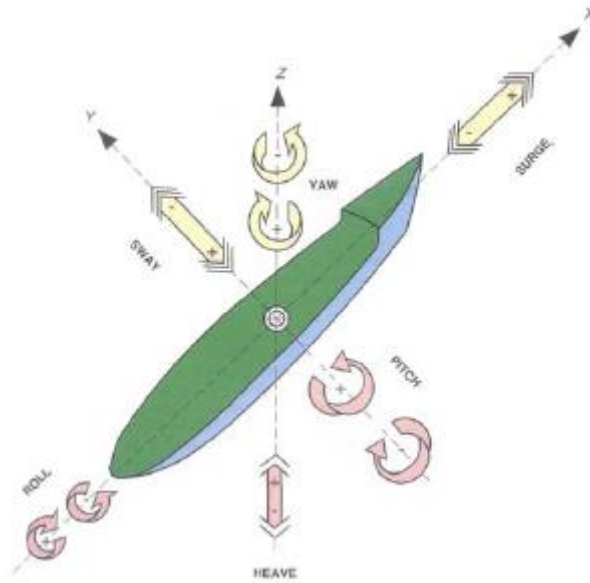
## 5.2 Географічна дальність видимості для вогнів на стаціонарних платформах

Для джерела світла на платформі параметр  $H_m$  вимірюється від поверхні води до фокальної площини ліхтаря. Підняття вогню обчислюється за допомогою формули 1 для кожного вогню окремо, залежно від найменшої висоти спостерігача та необхідної географічної дальності видимості.

## 6 ДИНАМІЧНІ ВПЛИВИ НА ПЛАВУЧОМУ АТОН

### 6.1 Опис руху плавучого AtoN

Рух судна зазвичай описується за допомогою термінів, зазначених на малюнку 2. На цій діаграмі не показані перманентний нахил на один бік та впливи якірної системи.



Малюнок 2 Опис руху судна

ПРИМІТКА Малюнок 2 відтворений з люб'язного дозволу Королівського інституту мореплавства.

Коли плавучий засіб являє собою плавучий маяк, ці терміни є доцільними, але для більшості буїв їх кількість скорочується до меншого набору, а саме:

- Нахил
- Бортова хитавиця
- Вертикальна хитавиця
- Поздовжнє рискання

Нахил, бортова хитавиця та вертикальна хитавиця мають безпосередній вплив на робочі характеристики сигнального вогню. Поздовжнє рискання не має такого впливу на них. Бортова хитавиця та вертикальна хитавиця спричиняються головним чином дією хвиль на засіб. Нахил зазвичай спричиняється впливом квазістаціонарного вітру та впливами течії у поєднанні з навантаженням якірної системи. Зазвичай зміни відбуваються повільно порівняно з періодом хвилі.

Нахил, бортова хитавиця та вертикальна хитавиця впливають на дальність видимості та розпізнавання вогню, зменшуючи фокальну висоту та/чи нахилиючи фокальну площину ліхтаря так, що вона зникає з поля зору спостерігача. Зменшення фокальної висоти зменшує географічну дальність видимості. Нахилення площини вогню так, що вона зникає з поля зору спостерігача, зменшує інтенсивність променя та оптичну дальність видимості.

Характер руху плавучого засобу становить проблему для розробників систем AtoN. Рішення можна одержати завдяки двом взаємодоповнюючим підходам:

- **Конструкція плавучого AtoN** – вибір найбільш придатної плавучої платформи та якірної системи, головним чином для мінімізації кутів нахилу та бортової хитавиці;
- **Конструкція ліхтаря** – має відповідати кутам бортової хитавиці, очікуваним для обраної конструкції плавучого AtoN та якірної системи.

## 6.2 Впливи на географічну дальність видимості хвиль та вертикальної хитавиці плавучого AtoN

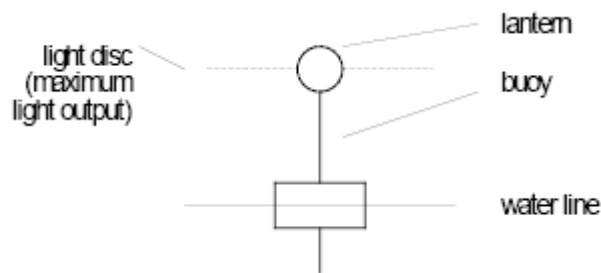
Вертикальна хитавиця та положення плавучого AtoN на профілі хвилі (приміром, гребінь чи западина) мають вплив на географічну дальність видимості. У більшості практичних випадків цей вплив є незначним, і загалом він не розглядається розробниками систем AtoN.

### 6.3 Вплив на розпізнавання вогню хвиль та вертикальної хитавиці плавучого AtoN

Вертикальна хитавиця та положення плавучого AtoN на профілі хвилі (приміром, гребінь чи западина) може зумовити перекриття вогню, коли плавучий AtoN знаходиться у западині хвилі. Це може зумовити втрату видимості світлового сигналу або порушення спостережуваного характеру.

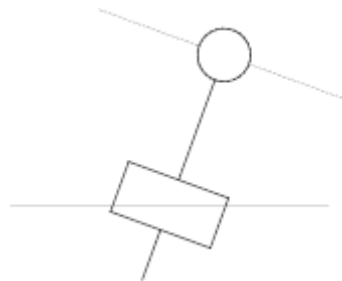
### 6.4 Вплив на розпізнавання вогню кута бортової хитавиці плавучого AtoN

Щоб одержати уявлення про вплив руху буя, уявіть буй з морським ліхтарем, який рухається під впливом припливу, вітру й хвиль і стримується силою, створюваною його якірною системою. На наведених нижче малюнках показані деякі типові впливи та положення буя як результат. Для спрощення якірна система не показана. Ліхтар випускає світло лише дископодібним чином, тобто його вертикальна розхідність дорівнює нулю.



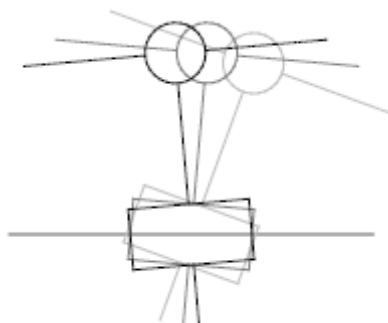
Малюнок 3 Опис символів, буй у нерухомому стані, у вертикальному положенні

На малюнку 3 буй знаходиться у нерухомому стані, виготовлений належним чином, сила якірної системи діє вертикально через центр ваги та центр плавучості буя, буй залишається у чітко вертикальному положенні. Світловий диск, показаний пунктирною лінією, знаходиться у горизонтальній площині.



Малюнок 4 Буй у нерухомому стані, нахилений

На малюнку 4 вплив припливу спричинив зсув буя порівняно з малюнком 3 та його нахил під кутом  $\alpha$  під дією сил води та якірної системи. Тепер очевидно, що світловий диск відхилений під тим самим кутом  $\alpha$ .



*Малюнок 5 Буй, кутовий рух*

На малюнку 5 вітер та хвилі додають свої впливи, і нахил буя тепер модулюється динамічним рухом  $\pm\beta$ . Це означає, що буй, а відтак, і світловий диск, рухається у межах кута  $\alpha\pm\beta$ . Зверніть увагу на те, що цей вплив варіюється залежно від положення спостерігача у відношенні площин, у яких розташовані кути  $\alpha$  та  $\beta$ .

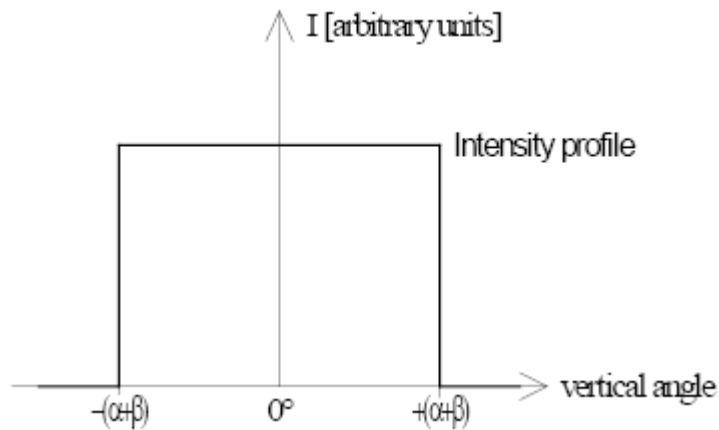
## 7 РОЗРОБКА КОРИСНИХ ПРОФІЛІВ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ

У дослідженнях, зазначених у додатках, відзначається, що розхідності ліхтаря буя часто є надто малими для кутів нахилу та бортової хитавиці, що мають місце<sup>1</sup>.

### 7.1 Базові профілі

Тепер уявіть більш традиційний ліхтар з ненульовою розхідністю. Якщо спостерігач на певній відстані від буя має побачити вогонь, ліхтар буя має випускати світло з вертикальною розхідністю  $\pm(\alpha+\beta)$ .

Якщо відстань спостерігача є близькою до границі дальності видимості світла ліхтаря буя, зрозуміло, що крива вертикальної розхідності світла має являти собою квадратичну функцію як показано на малюнку 6.



*Малюнок 6 Базовий профіль інтенсивності*

Примітка: кут  $0^\circ$  відповідає горизонтальній опорній площині відповідно до Рекомендації IALA E-200-3 щодо морських сигнальних вогнів – Вимірювання.

Реалізація такого профілю, з гострими крайками, як показано, може бути складною на практиці, але має бути здійсненою за допомогою сучасних технологій оптичного проектування. Разом з тим, може бути небажано мати такий гострий зріз на кутових границях.

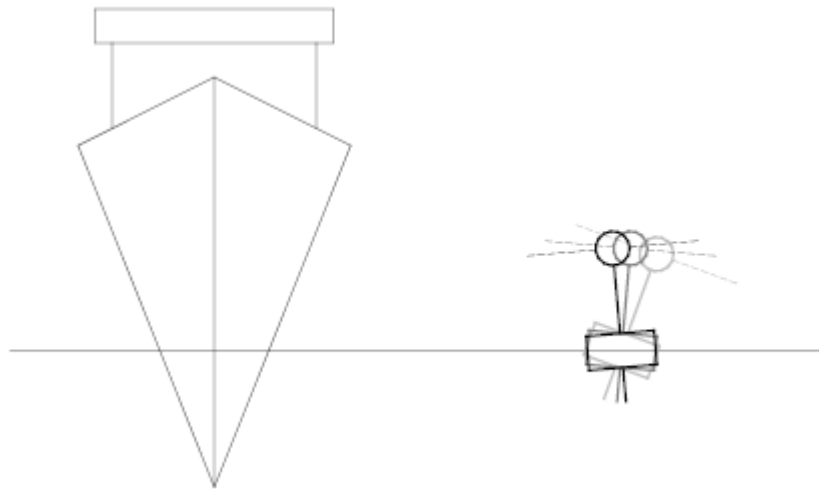
### 7.2 Комплексні профілі

Тепер зробимо в нашому аналізі ще один крок. У минулому максимальна дальність дії вогню була головним чинником для розробника засобів навігаційного обладнання. Сьогодні ліхтарі буїв (та маяків) загалом використовуються для навігації за середніх відстаней, приміром, у фарватерах обмеженої ширини, та за малих відстаней, коли судно проходить повз буй, але мореплавець бажає перевірити, наскільки близько проходить судно. Це додає ще два чинники для вибору вертикальної розхідності.

Три вимоги щодо проектування для розробника засобів навігаційного обладнання можуть бути сформульовані, приміром, наступним чином:

<sup>1</sup> Браун Д. М. «Імовірності виявлення та розпізнавання пробіскових вогнів буїв, що зазнають хитавиці», Центр науково-дослідної роботи Берегової охорони Сполучених Штатів, звіт № CG-D-10-88, серпень 1987 р.

- Вимога 1 – За великої відстані вогонь буя має бути видимим, незважаючи на рух буя, навіть за умов сильного хвилювання на морі, але, можливо, за дуже сильного хвилювання вогонь буя може не бути видимим.
- Вимога 2 – За середньої відстані вогонь буя має бути видимим, навіть за дуже сильного хвилювання. Це означає, що кут  $\beta$  буде більшим, ніж у 1.
- Вимога 3 – За дуже малої відстані вогонь має бути видимим з судна, що проходить поблизу, зі значною висотою містка. У цьому випадку висота містка та близькість судна до буя означають, що спостерігач бачить вогонь під великим кутом, див. малюнок 7.

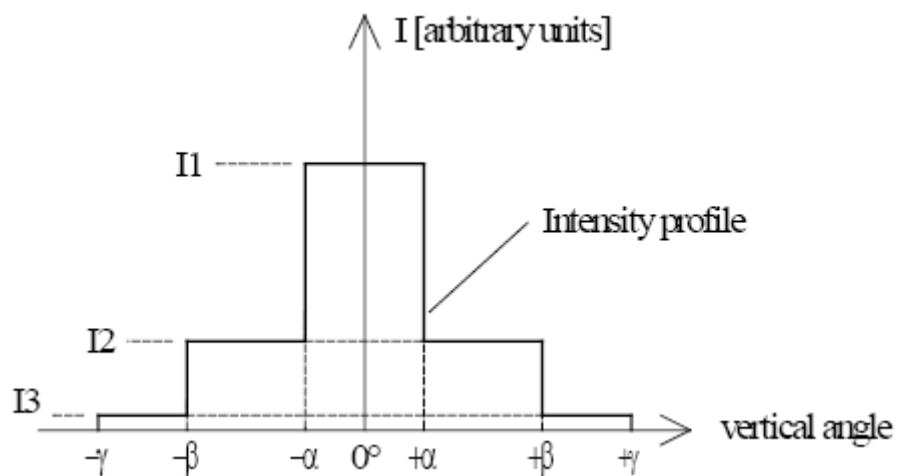


Малюнок 7 Буй для малої відстані

Прикладами навігаційного походження цих трьох вимог можуть бути наступні:

- 1 Входження у фарватер, позначений буями, за великої відстані
- 2 Навігація у фарватері, позначеному буями, де буї знаходяться на значній відстані один від одного
- 3 Проходження буя або пари буїв

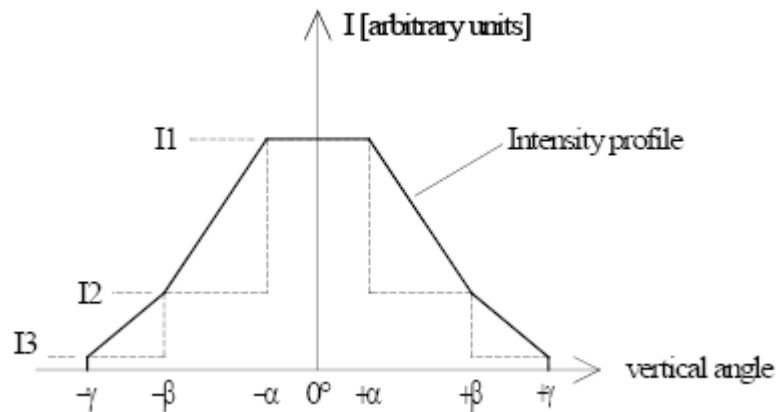
Кожна окремо взята вимога створює базовий профіль, а коли ці три базових профілі поєднуються, результатом є комплексний профіль.



Малюнок 8 Комплексний профіль інтенсивності

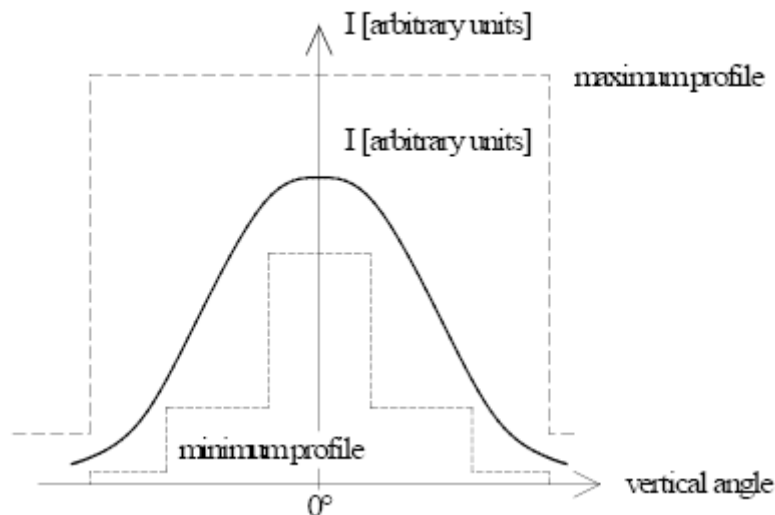
### 7.3 Додаткові міркування

На практиці розробник AtoN може віддати перевагу більш згладженому профілю, ніж той, що показаний на малюнку 6.



Малюнок 9 Згладжений профіль

Усі профілі, наведені вище, є мінімальними значеннями. Також бажано визначити максимальне значення інтенсивності світла, яке не має бути перевищено. Максимальне значення є бажаним для гармонізації робочих характеристик AtoN та мінімізації світлового забруднення. Відтак, для деяких пристроїв має сенс визначити максимальний профіль, щоб розподіл вимірюваної інтенсивності знаходився поміж двох граничних кривих.



Малюнок 10 Приклад максимального й мінімального профілів

## 8 ПРОЦЕДУРА ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ РОЗХІДНОСТІ ЛІХТАРЯ

У минулому вертикальна розхідність ліхтаря була визначена як кутове розділення верхньої та нижньої точок 10%-ої інтенсивності у профілі інтенсивності (FWTM). Нещодавно розхідність ліхтаря визначили за допомогою інтенсивності «повна ширина на напіввисоті максимуму» (FWHM), як кутове розділення верхньої та нижньої точок 50%-ої інтенсивності у профілі інтенсивності.

Цей підхід до вертикальної розхідності ґрунтувався на традиційних джерелах світла та розсіювачах, що випускали значну частину світла під великими кутами розхідності. Сучасні технології, типовим прикладом яких є світлодіодні ліхтарі, уможливили таку концентрацію світлового променя, яка дозволяє одержати більш прямокутний профіль. Також слід відзначити, що FWHM є відносним значенням, що ґрунтується на максимальній інтенсивності ліхтаря; воно не

пов'язане з кандедами або номінальною дальністю дії. Відтак, потрібні нові вимоги до вертикальної розхідності ліхтарів, як зазначено нижче.

### 8.1 Плавучі платформи

При розгляді експлуатаційних вимог до світла плавучих платформ для визначення необхідного профілю вертикальної розхідності слід взяти до уваги наступне:

- очікувані умови навколишнього середовища;
- результуючий рух світлової платформи; та
- очікувані висоти містка суден-користувачів.

8.1.1 Типовий набір навігаційних потреб та результуючі необхідні робочі характеристики ліхтаря буя (приклад)

Доцільно взяти теоретичне дослідження, наведене вище, і розвинути його для визначення робочої потреби та результуючих необхідних робочих характеристик. Наведена нижче таблиця стосується навігації у нічний час без фонового освітлення, і відстані та значення прозорості атмосфери обрані для типового прикладу.

Таблиця 2 Відстань від спостерігача – нічний час

<i>Робоча потреба</i>	<i>Умови навколишнього середовища – стан моря</i>	<i>Умови навколишнього середовища - видимість</i>	<i>Відстань від спостерігача до буя</i>	<i>Коментарі</i>
Вимога 1. Вхідження у фарватер, позначений буями, за великої відстані	Сильне хвилювання	Видимість може мати місце протягом 90% часу	4 милі	Судно наближається до початку фарватеру. За поганої видимості або за дуже сильного хвилювання зниження дальності видимості до менш ніж 4 милі є прийнятним
Вимога 2. Навігація у фарватері, позначеному буями	Дуже сильне хвилювання	Видимість може мати місце протягом 98% часу. Включає сильний дощ	1 миля	Тепер мореплавець знаходиться у фарватері обмеженої ширини та повинен бачити вогонь, коли наближується до буя або пари буїв
Вимога 3. Проходження повз буй або пару буїв	Дуже сильне хвилювання	Видимість може мати місце протягом 99% часу. Включає густий туман	0,05 милі	Тепер мореплавець знаходиться у фарватері обмеженої ширини та повинен бачити вогонь, щоб знати своє латеральне положення у фарватері

Використовуючи цей набір робочих потреб, можна визначити параметри, що впливають на робочі характеристики ліхтаря.

Таблиця 3 Параметри робочих характеристик

<i>Робоча потреба</i>	<i>Умови навколишнього середовища – стан моря</i>	<i>Умови навколишнього середовища - видимість</i>	<i>Відстань від спостерігача до буя</i>	<i>Коментарі</i>
Вимога 1. Вхідження у фарватер, позначений	Сильне хвилювання	Видимість може мати місце протягом 90% часу	4 милі	



буями, за великої відстані	$\alpha + \beta = 10^\circ$	$T_m = 0,74$		
Вимога 2. Навігація у фарватері, позначеному буями	Дуже сильне хвилювання $\alpha + \beta = 20^\circ$	Видимість може мати місце протягом 98% часу. Включає сильний дощ $T_m = 0,223$	1 миля	
Вимога 3. Проходження повз буй або пару буїв	Дуже сильне хвилювання $\alpha + \beta = 20^\circ$	Видимість може мати місце протягом 99% часу. Включає густий туман $T_m = 0,001$	0,05 милі	Спостерігач знаходиться поблизу буя та значно вище нього.  Висота містка до 40 метрів

Коефіцієнт  $T_m$ , що використовується у вимозі 1, одержаний з даних, опублікованих для Японії. Див. публікацію «Основна теорія засобів навігаційного обладнання», 1988 р., видану організацією «Тококай» (асоційований член IALA). У таблиці 2.1-2 на сторінці 79 «Дальності видимості у Японії» наведені дані про видимість, одержані шляхом спостережень по усій довжині берегової лінії Японії, і зазначений середній  $T_m$ , що становить 10,2 морських миль. Відтак, у вимозі 1 використовується значення  $T_m = 0,74$  (видимість 10 морських миль). Значення 0,223 відповідає метеорологічній видимості 2 км.

Тепер можна обчислити необхідні робочі характеристики ліхтаря.

Таблиця 4 Робочі характеристики ліхтаря

Робоча потреба	Діапазон вертикальної розхідності ліхтаря	Вхідні дані для обчислення інтенсивності	Обчислена інтенсивність $I_{computed}$	Фотометрична інтенсивність $I_{photo} (*)$
Вимога 1. Вхідження у фарватер, позначений буями, за великої відстані	Від 0 до $\pm 10^\circ$	$T_m = 0,74$ $D = 4$ милі	36,6 кд	$\approx 70$ кд
Вимога 2. Навігація у фарватері, позначеному буями	Від $+10^\circ$ до $+20^\circ$ та від $-10^\circ$ до $-20^\circ$	$T_m = 0,223$ $D = 1$ миля	3,1 кд	$\approx 5,8$ кд
Вимога 3. Проходження повз буй або пару буїв	Від $+20^\circ$ до $+90^\circ$	$T_m = 0,001$ $D = 0,05$ милі	0,0024 кд	$\approx 0,0046$ кд

(\*) Примітка: обчислена інтенсивність є ефективною інтенсивністю за експлуатаційних умов. Для фотометричних вимірювань обчислення ефективної інтенсивності та коефіцієнта експлуатаційних умов слід розглянути. Якщо найкоротший проблиск має тривалість принаймні 0,5 с та використовується коефіцієнт експлуатаційних умов 0,75, фотометричну інтенсивність  $I_{photo}$  можна обчислити наступним чином (див. Рекомендацію IALA E-200-4 щодо морських сигнальних вогнів – Визначення та обчислення ефективної інтенсивності):

$$I_e = \frac{I_0 \times t}{a + t} = \frac{0,5}{0,2 + 0,5} I_0 = 0,71 I_0$$

(формула 2) Ефективна інтенсивність (Блондель-Рей)

$$I_{photo} = \frac{I_0}{(0,71 \times 0,75)} \approx 1,9 I_0$$

(формула 3) Фотометрична інтенсивність, в тому числі Блондель-Рей та коефіцієнт експлуатаційних умов

де:

$I_e$  – ефективна інтенсивність

$I_{photo}$  – виміряна миттєва інтенсивність

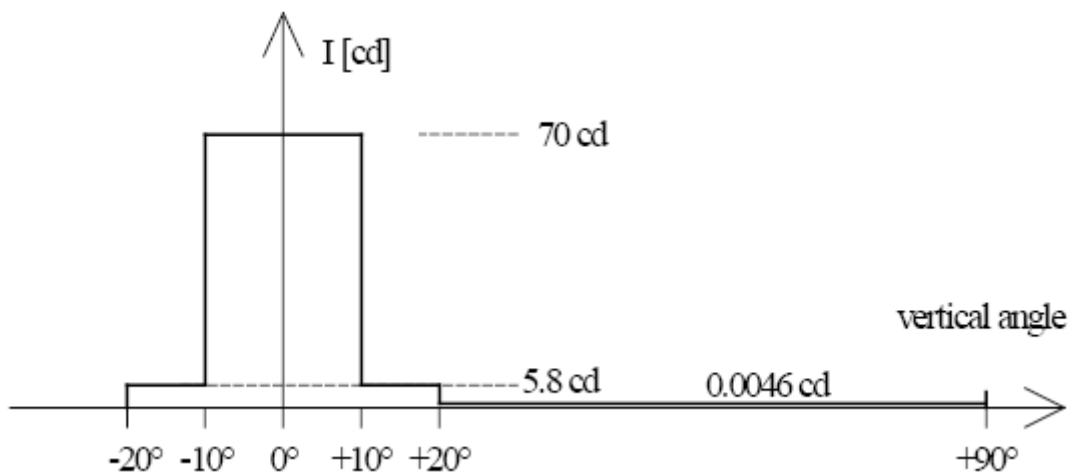
Ця формула застосовується лише до пробісків прямокутної форми.

### 8.1.2 Значущість прикладу

Описаний вище приклад наведений лише для демонстрації теорії цього методу одержання вимог щодо вертикальної розхідності ліхтаря. Його не слід розглядати як специфікацію IALA для ліхтарів буїв, але слід розглядати як такий, що вказує на процес розробки. Показаний процес прив'язує вимоги до робочих характеристик до інтенсивності світла та вертикальної розхідності ліхтаря, потрібних для задоволення цих вимог, з урахуванням умов видимості та руху буя.

Розробник AtoN повинен пересвідчитися, що йому відомі робочі потреби, а також мати усі метеорологічні та гідрологічні дані, дані про видимість та дані про рух буя, необхідні для проведення аналізу та досягнення вірного висновку.

Відтак, профіль вертикальної розхідності ліхтаря, що задовольняє робочі потреби, є наступним.



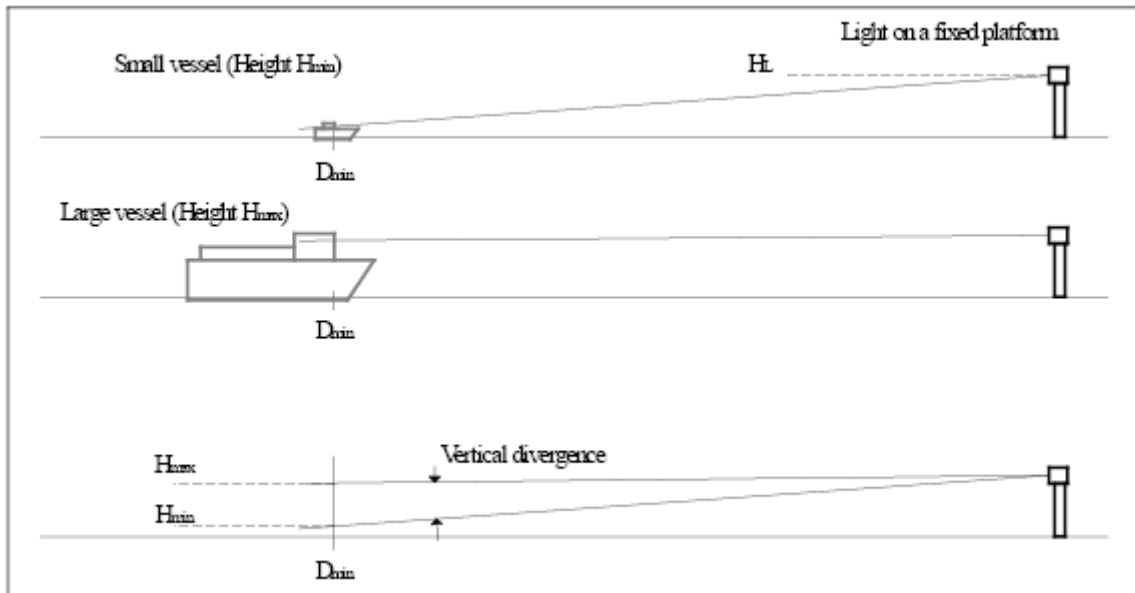
Малюнок 11 Розроблені криві інтенсивності (мінімальні значення)

## 8.2 Стационарні платформи

Для стационарний платформ припускається, що впливи припливу, вітру та хвиль є такими, якими можна знехтувати, а відтак, необхідно розглядати лише геометричні впливи, що випливають з відносних висот вогню й спостерігача та відстані між ними. Вони можуть бути граничними, приміром, у випадку вогню, що розташований на високій скелі, але використовується в тому числі й невеличкими суднами, що проходять повз неї. Інший поширений випадок – це більше судно, можливо, балкер, що перевозить руду, який проходить поблизу маяків на палях, що світять, у вузькому фарватері.

У другому прикладі важливо, щоб вогонь можна було бачити з містка або крила містка судна, коли судно проходить повз маяк або повз пару маяків, що утворюють ворота. У цьому прикладі вогонь від ліхтаря має бути видимим, можливо, за умов низької прозорості атмосфери, під гострим кутом огляду з містка. Разом з тим, необхідна інтенсивність світла може бути невеликою, оскільки відстань є малою.

Для багатьох вогнів (приміром, вогнів напрямку чи секторних вогнів) мінімальна відстань підходу є значно більшою, аніж висота вогню чи спостерігача. У цьому випадку мінімальна вертикальна розхідність залежить здебільшого від висот спостерігачів.



Малюнок 12 Вплив висоти спостерігача

Необхідний кут вертикальної розхідності  $\alpha_r$  можна обчислити за наступною формулою (малюнок 12):

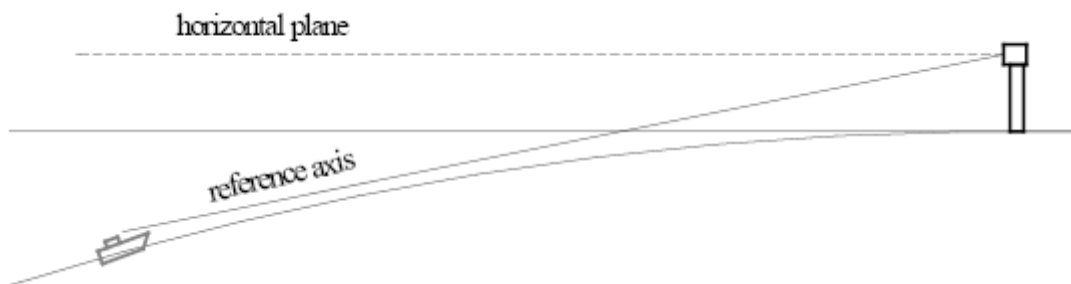
$$\alpha_r = \arctan\left(\frac{H_{\max} - H_{\min}}{D_{\min}}\right)$$

(формула 4) Обчислення необхідного кута вертикальної розхідності

Оскільки кут вертикальної розхідності обчислюється для відстані за найближчого підходу  $D_{\min}$ , мати повну інтенсивність у необхідному куті розхідності необов'язково.

Необхідний кут розхідності може становити потрібне значення для повної ширини на напіввисоті максимуму (FWHM) або навіть для повної ширини на одній десятій висоті максимуму (FWTM).

Якщо необхідна оптична дальність видимості або вертикальне положення вогню є дуже високою, є сенс нахилити опорну вісь (або, по можливості, опорну площину) вогню для компенсації впливу викривлення Землі (малюнок 13). Для всеспрямованого вогню опорна площина стає конічною поверхнею.



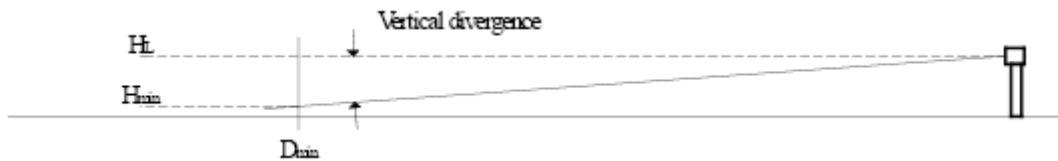
Малюнок 13 Компенсація викривлення Землі

Для багатьох менших ліхтарів змінити відносне положення джерела світла та розсіювача для досягнення конічної опорної площини неможливо. Відтак, необхідний кут розхідності слід обчислювати за формулою (малюнок 14):

$$\alpha_r = 2 \times \arctan\left(\frac{H_L - H_{\min}}{D_{\min}}\right)$$

(формула 5) Подальше обчислення кута розхідності

Як і раніше,  $\alpha_r$  становить або FWHM, або FWTM, де припускається, що вертикальний профіль променя є симетричним.



Малюнок 14 Розхідність для горизонтального коригування

Для вогнів, якими потрібно користуватися і на великих відстанях, і при проході поблизу них, для різних вертикальних кутів потрібні різні розхідності (малюнок 15).



Малюнок 15 Необхідні вертикальні кути залежно від відстані

Аналіз необхідних інтенсивностей та кутів зумовлює вертикальний розподіл інтенсивності, подібний до малюнка 11.

## ДОДАТОК 1 ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1 ВИЯВЛЕННЯ ВОГНІВ БУЇВ: ВПЛИВИ РУХУ ТА РОЗХІДНОСТІ ЛІХТАРЯ – XII-а КОНФЕРЕНЦІЯ IALA – ГОЛЛАНДІЯ – 1990 р.

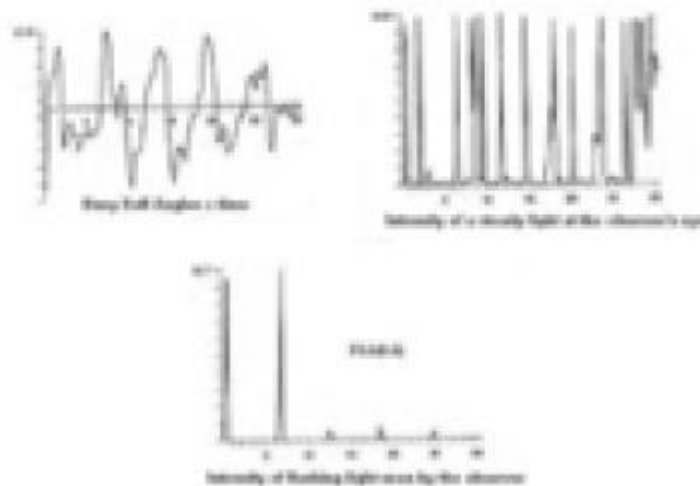
Редагування наведеного нижче звіту не входить до сфери компетенції авторів. Разом з тим, слід відзначити, що деякі з термінів, що використовуються, не відповідають визначенням, наведеним у розділі 4.2.

Ця доповідь була представлена Береговою охороною Сполучених Штатів (USCG), в ній описується практичний метод вимірювання руху плавучої платформи шляхом оцифрування відеозображень та кутів вимірювання. Метою дослідження було визначити відстань, за якої мореплавець з 80%-ою імовірністю може виявити сигнал (за спостереженням за його вогнем).

80%-ва імовірність виявлення (POD) була одним з критеріїв проектування USCG для плавучих засобів. Іншими припущеннями була 10-мильна стандартна атмосферна видимість та відсутність фонового освітлення. Дослідники записали дванадцять наборів даних, зібраних з різних буїв, усі з яких розташовані у відкритому морі, за винятком одного річкового буя. Ці зразки вважалися репрезентативними для різних моделей буїв, що використовувалися USCG у той час.

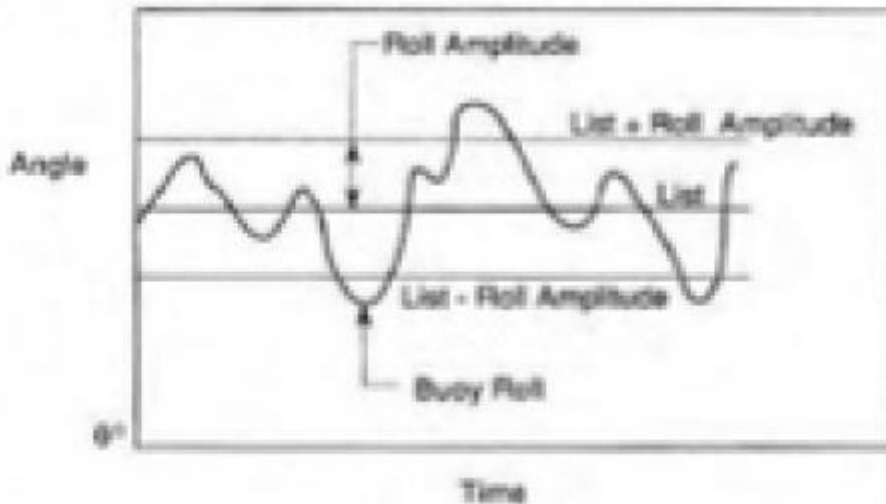
На графіку праворуч показано, як сукупний вплив пробліскового вогню та бортової хитавиці буя знижує POD вогню на плавучому засобі. Це є фактичний 30-секундний запис бортової хитавиці буя, оснащеного червоним 155-міліметровим ліхтарем з лампою 12В/1,15А. Постійний вогонь (графік посередині), як можна бачити, пробліскує або мерехтить, і спостерігач може виявити лише перші два пробліски фактичного пробліскового вогню (графік унизу). Решта три пробліски стають невидимими через рух буя.

Ще одним важливим результатом був неочікуваний нахил, що варіювався від 1° до 7,4°. Дослідники не змогли встановити прямий зв'язок між цими тривалими нахилами та припливними течіями чи іншими імовірними впливами, та дійшли висновку, що цей нахил не можна віднести до якоїсь однієї домінуючої сили (приміром, вітер/площа парусності буя, якірна система, рівноваження тощо). Причини ще потрібно встановити.



Малюнок 16 Сукупний вплив руху буя та пробліскового вогню

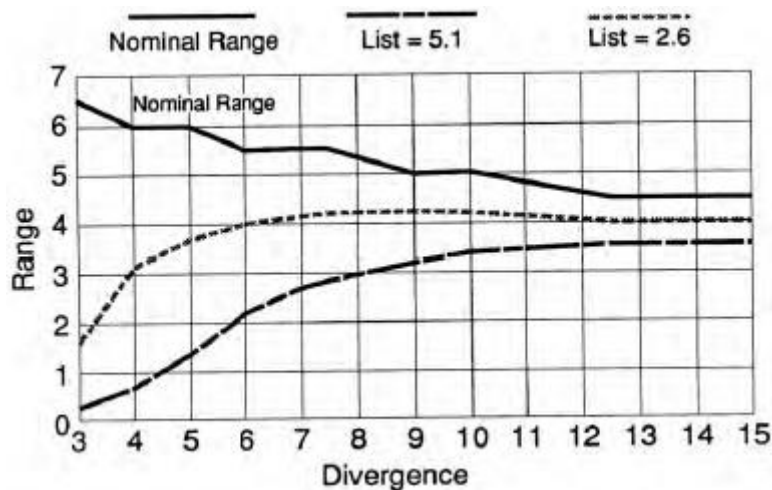
Загальний вплив на POD вогнів полягає у тому, що до бортової хитавиці необхідно додати постійний кут нахилу, що ще більше зменшує POD. Цей вплив ілюструється на наступному графіку.



Малюнок 17 Сукупний вплив бортової хитавиці та нахилу

Це дослідження демонструє, що збільшення вертикальної розхідності вогнів має істотний вплив на підвищення POD, але за рахунок певної втрати пікової інтенсивності ліхтаря, що зумовлює загальне зменшення максимальної дальності дії.

У доповіді представлені шість графіків, подібних до того, що наведений нижче, на яких зображене співвідношення між дальністю дії та вертикальною розхідністю. Наведені три криві. Перша лінія (суцільна) відображує втрату пікової інтенсивності залежно від розхідності для стаціонарного засобу на рівні ока спостерігача. Друга крива (пунктирна) відображує вплив розхідності за нахилу  $5,1^\circ$ , а третя – за нахилу  $2,6^\circ$ . Чітко видно, що усі три криві вирівнюються біля номінальної відстані у 4 морські милі за кутів вертикальної розхідності більше 10 градусів. У дослідженні зроблено висновок, що для більшості зразків це вирівнювання має місце для розхідностей від  $7^\circ$  до  $10^\circ$ .



Малюнок 18 З доповіді USCG

На деяких графіках збільшення дальності дії за наявності нахилу продовжується і після позначки у 10 градусів, але у доповіді зазначається, що мати ліхтарі з розхідністю, спеціально підбраною для кожного пристрою, недоцільно.

У доповіді представлені наступні висновки:

«Розрахункові номінальні дальності дії буя за найменшого руху чи нахилу буя не досягаються. Рух та нахил буя присутні за усіх атмосферних та морських умов, окрім повного штиля.»

*Наведені нижче загальні спостереження та тенденції підкріплені результатами:*

- \* - Номінальна дальність дії не є реалістичним мірилом дальності виявлення буя, що світить.*
- \* - Нахил буя є серйозною проблемою (більш серйозною, ніж рух буя), яка потребує подальшого вивчення.*
- \* - Збільшення розхідності розсіювача може дати істотне збільшення дальності дії буя з 80%-ою POD».*

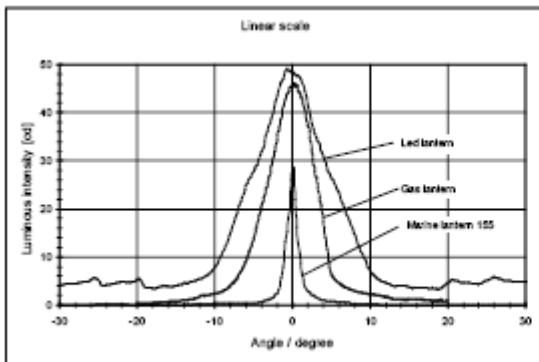
## 2 НАЛЕЖНИМ ЧИНОМ ЗБАЛАНСОВАНЕ СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ ГОРИЗОНТАЛЬНОЮ ІНТЕНСИВНІСТЮ СВІТЛА ТА ВЕРТИКАЛЬНОЮ РОЗХІДНІСТЮ МОРСЬКИХ ЛІХТАРІВ ДЛЯ БУЇВ, ЩО СВІТЯТЬ / КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ІНТЕНСИВНОСТІ СВІТЛА – XV-а КОНФЕРЕНЦІЯ IALA – АВСТРАЛІЯ – 2002 р.

У рамках другого дослідження, представленого німецькою Федеральною адміністрацією водних шляхів – Центром технологій руху суден (ТТС), порівнюється вертикальна розхідність різних ліхтарів, призначених для засобів навігаційного обладнання, а також наводяться результати для руху буя, виміряні у Північному морі.

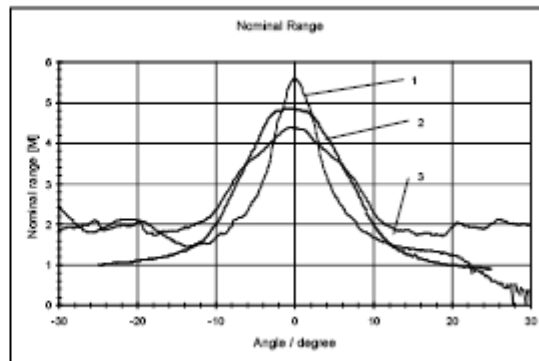
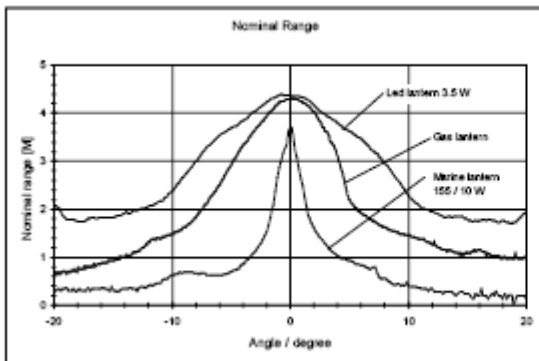
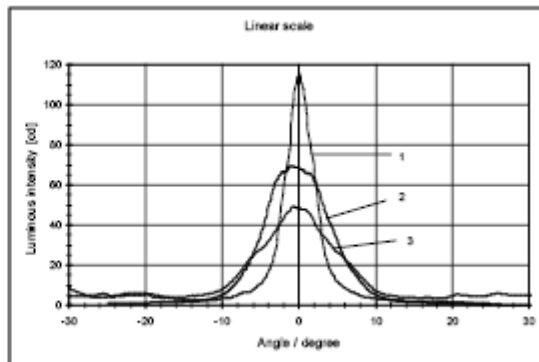
Висновки щодо руху буя полягали в тому, що «достовірна інтенсивність світла протягом 90% часу є значенням, що має місце за 11,3° розподілу вертикальної інтенсивності». Це дуже близько до 10°-ої розхідності, описаної у попередньому дослідженні (дослідженні USCG). Більше того, дослідники виявили, що «існує невеличка (7%) імовірність того, що буй нахилиється під кутом 30°». На графіку «кути нахилу буя за бортової хитавиці х час» дослідження USCG зазначені загальні кути нахилу у майже 40°.

Наведений нижче набір графіків, взятий з оригінального документа, ілюструє одержані результати:

### А – Різні джерела світла



### В – Різні світлодіодні ліхтарі



Малюнок 19 З доповіді Федеральної адміністрації водних шляхів

У стовпці А можна бачити порівняння зразків світлодіодного, газового та стандартного 155-міліметрового електричного ліхтарів. Нижче наводиться відповідна варіація оптичної дальності видимості для стаціонарного вогню за номінальних умов видимості  $V = 10$  миль. У стовпці В показаний той самий результат для світлодіодних ліхтарів за допомогою трьох кривих вертикальної розхідності.

## 3 ВПЛИВИ РУХУ БУЯ НА РОЗПІЗНАВАННЯ ХАРАКТЕРУ (TRINITY HOUSE)

Подальші дослідження були проведені Trinity House, які були зосереджені, зокрема, на впливі динамічного руху плавучої платформи на розпізнавання вогню. У спрощеному аналізі руху буя основні впливи спричиняються нахилом та бортовою хитавицею, що узгоджується з результатами інших наведених досліджень.

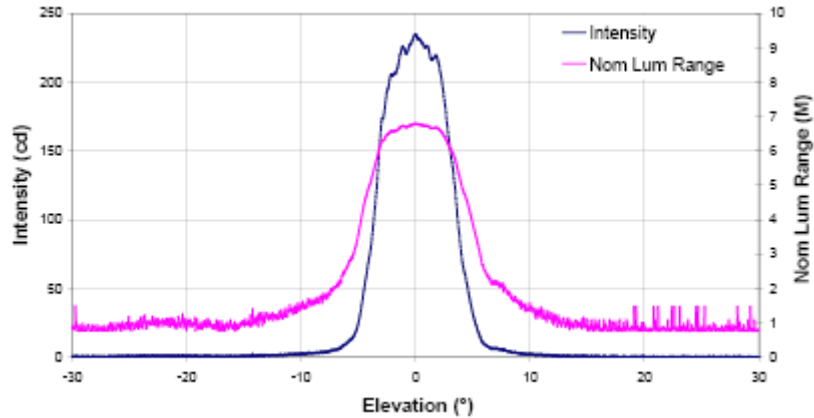


Рух сталевого буя діаметром 3 метри був записаний на відео, а потім проаналізований з метою побудови кривої кута нахилу за бортової хитавиці (нижня крива на наведеному нижче графіку).

### 3.1 Невелика вертикальна розхідність (FWHM = 7°):

Для цього аналізу використовувався світлодіодний ліхтар з наведеною нижче кривою профілю розхідності та дальністю дії залежно від кута нахилу, з 7°-ою загальною вертикальною розхідністю у точках 50%.

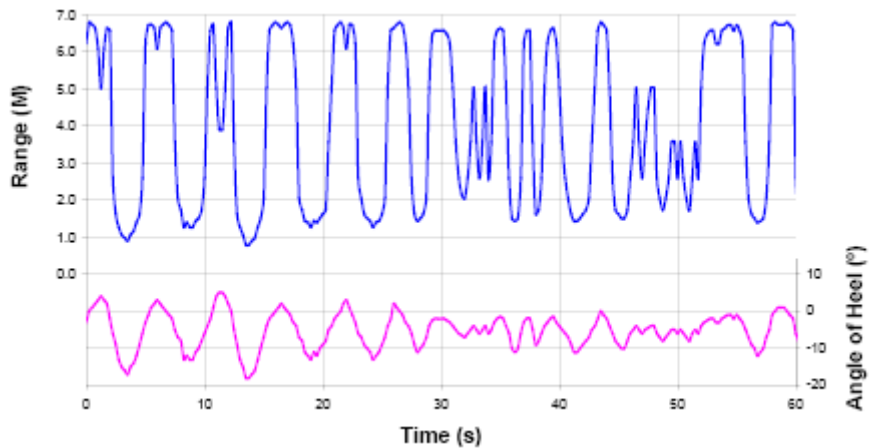
#### Зелений світлодіодний маяк Vega VLB36



Малюнок 20 Дані для ліхтаря, що використовувалися у дослідженні Trinity House - 7°-а вертикальна розхідність

Дальність видимості ліхтаря показана у вигляді верхньої кривої на наведеному нижче графіку. Вона була одержана шляхом співвідношення кута нахилу буя з інтенсивністю ліхтаря за цього кута, виміряною за дальністю дії вогню, а потім інтенсивність за допомогою відповідного розрахунку була перетворена на оптичну дальність видимості.

#### Положення буя та дальність дії ліхтаря за наявності хвиль



Малюнок 21 Положення буя та дальність дії ліхтаря за наявності хвиль, дослідження Trinity House

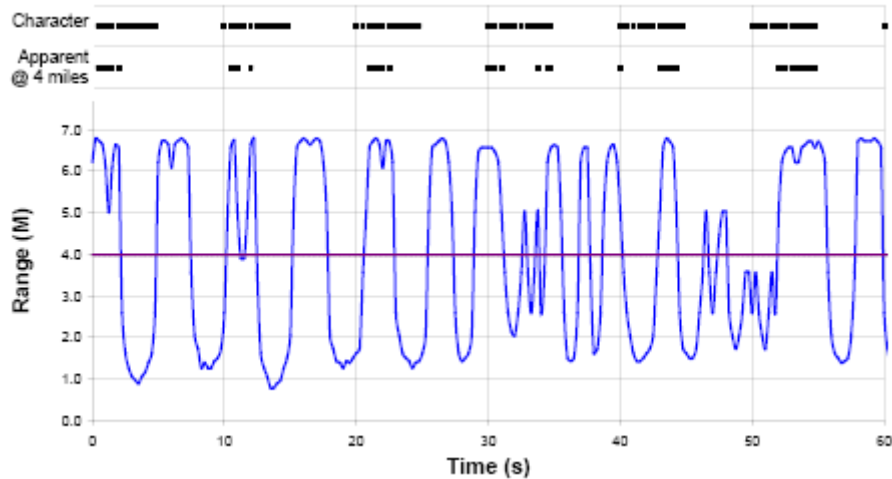
Результати аналізу, що описується вище, були використані в якості вхідних даних для дослідження, що мало на меті обчислення очевидного характеру ліхтаря, за яким спостерігали з відстані у чотири милі, у найгіршому можливому місцеположенні у відношенні руху буя. Характер для південного головного румбу відображений як послідовність точок і тире у верхній частині графіка, показаного нижче. Очевидний характер (в умовній точці спостереження на відстані чотири милі), змінений через поведінку буя, відображений як друга послідовність точок і тире. У цьому прикладі очевидним є те, що більша частина характеру втрачається. Також

очевидним є те, що, упродовж періоду спостереження тривалістю одна хвилина, характер для південного головного румбу можна виявити та, можливо, визначити, але не підтвердити.

Важливо відзначити деякі припущення, зроблені з метою спрощення дослідження.

- Спостерігач нерухомий, не наближається до буя
- Рівень знань чи досвід спостерігача до уваги не береться.

### Вплив хвиль на розпізнавання характеру

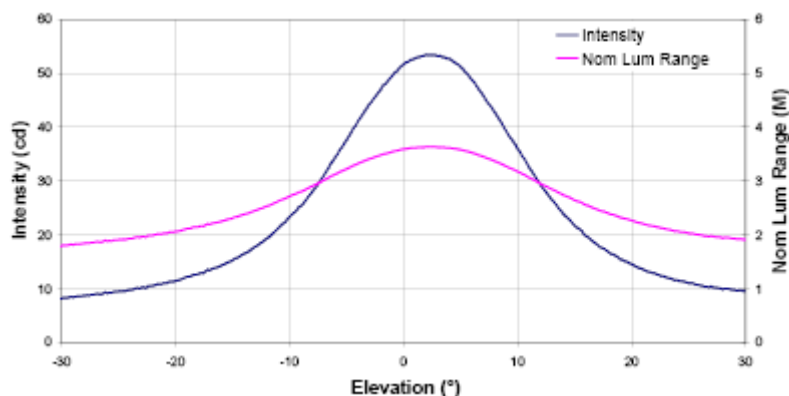


Малюнок 22 Вплив руху буя на розпізнавання характеру, на відстані у 4 милі, для ліхтаря з 7°-ою вертикальною розхідністю, з дослідження Trinity House

### 3.2 Великий вертикальний кут (FWHM = 21°):

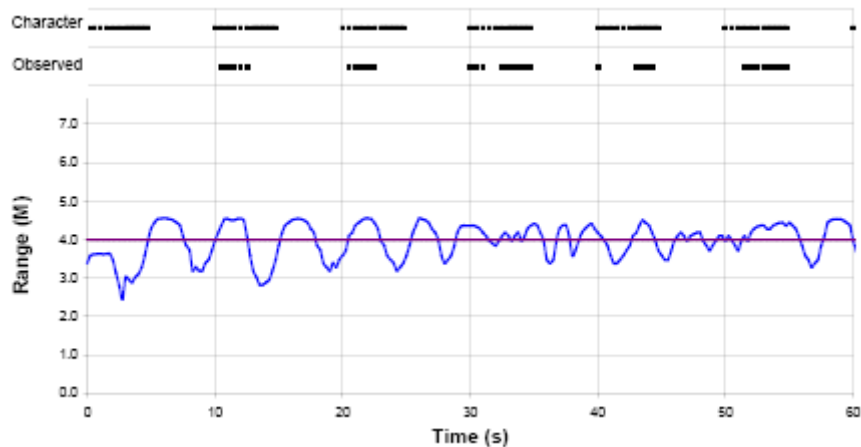
Потім Trinity House повторила цей аналіз, використовуючи дані для ліхтаря з більш широкою вертикальною розхідністю, загалом 21°. Дані про інтенсивність були відкориговані для одержання тієї самої площі під кривою інтенсивності, що й для першого ліхтаря, з 7°-ою вертикальною розхідністю, і був визначений вплив на характер розпізнавання, знов-таки, для умовного спостерігача на відстані чотири милі.

### Білий світлодіодний маяк LR0610, нормалізований



Малюнок 23 Дані для ліхтаря, використані у дослідженні Trinity House - 21°-а вертикальна розхідність

### Розпізнавання характеру LR0610

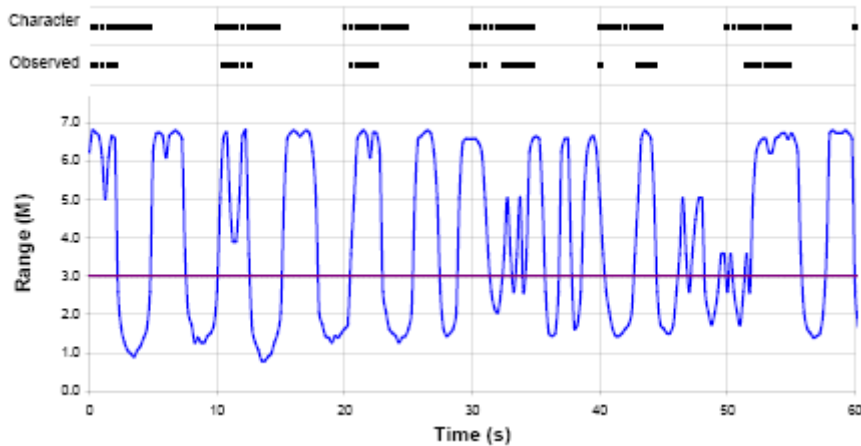


Малюнок 24 Вплив руху буя на розпізнавання характеру, на відстані у 4 милі, для ліхтаря з 21°-ою вертикальною розхідністю, з дослідження Trinity House

### 3.3 Порівняння

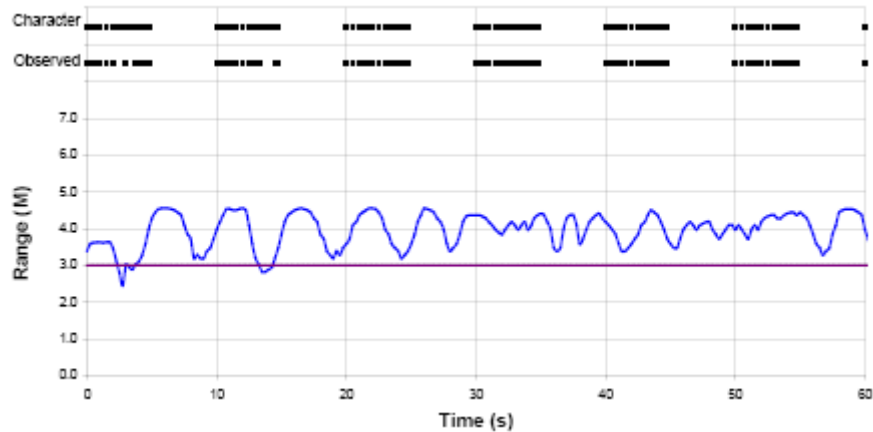
Для цього ліхтаря з більш широкою розхідністю бачимо деяке поліпшення розпізнавання на відстані у чотири милі у порівнянні з ліхтарем з вузькою розхідністю. Разом з тим, цей ефект є дуже вираженим, якщо дослідження повторити для цих двох ліхтарів на відстані у 3 милі. На двох графіках, наведених нижче, чітко показана перевага збільшеної вертикальної розхідності, навіть за рахунок меншої пікової інтенсивності.

#### Розпізнавання характеру VLB36



Малюнок 25 Вплив руху буя на розпізнавання характеру, на відстані у 3 милі, для ліхтарів з 7°-ою (верхній графік) та 21°-ою (нижній графік) вертикальною розхідністю, з дослідження Trinity House (доповнює малюнок 26)

#### Розпізнавання характеру LR06010



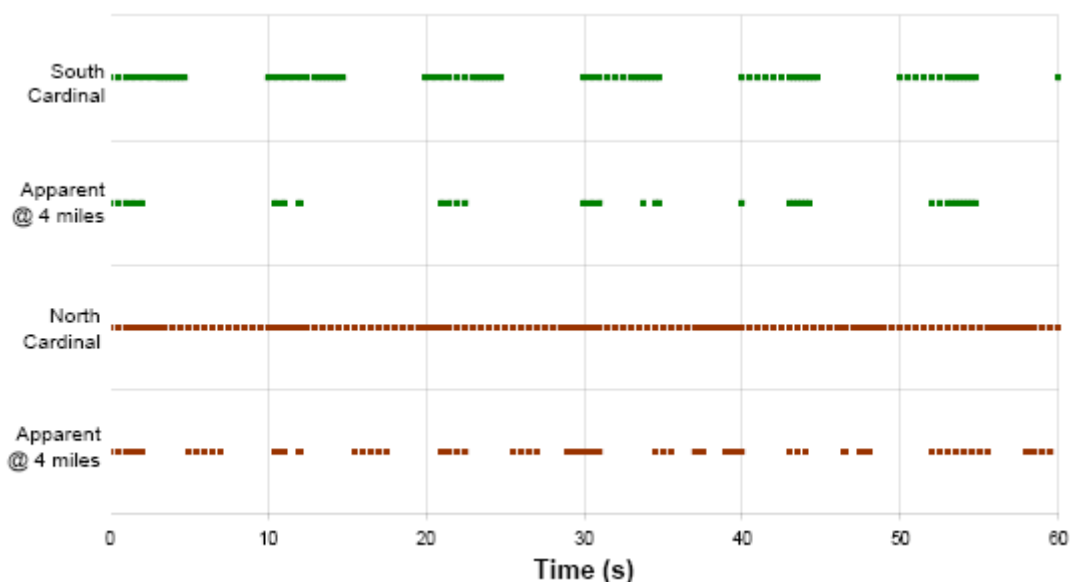
Малюнок 26 Вплив руху буя на розпізнавання характеру, на відстані у 3 милі, для ліхтарів з 7°-ою (верхній графік) та 21°-ою (нижній графік) вертикальною розхідністю, з дослідження Trinity House (доповнює малюнок 25)

Завершальна частина цього дослідження Trinity House була присвячена порівнянню змінених характеристик ліхтарів для північного й південного головних румбів, встановлених у тому самому місці. Очевидно, що ці два пробіскових ліхтарі є вельми різними, але також очевидно, що жоден характер не можна підтвердити за допомогою методології, що описується у розділі 3 цього документа. Це також вказує на проблеми, що можуть бути пов'язані з визначенням та підтвердженням характеристик для східного й західного головних румбів, оскільки вони є менш помітними.

### 3.4 Висновок

Використання повної ширини на напіввисоті максимуму для визначення розхідності ліхтаря є недоцільним для сучасних світлодіодних пристроїв. Розхідність ліхтаря слід обирати з належним урахуванням імовірного руху буя, та слід визначити профіль розхідності. Пікова інтенсивність не є критичним мірилом робочих характеристик.

#### Порівняння характеристик для північного й південного головних румбів за наявності хвиль



Малюнок 27 Вплив руху буя на розпізнавання характеристик для північного й південного головних румбів, з дослідження Trinity House

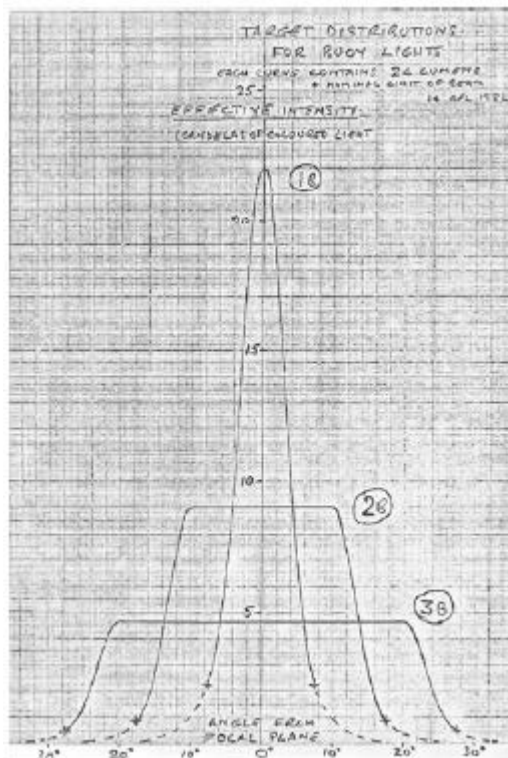
#### 4 ДРУГЕ ДОСЛІДЖЕННЯ TRINITY HOUSE

У цьому останньому розділі розглядаються рекомендації дослідження ТТС, згаданого вище, та іншої доповіді, представленої IALA організацією Trinity House у Лондоні у 1982 році. Метою обох документів було встановити «оптимальний» вертикальний профіль для ліхтарів AtoN для буїв.

Виробники ліхтарів можуть одержати вигоду з наведеного нижче обговорення стосовно концепції та виробництва придатних ліхтарів для буїв. Також їм настійно рекомендується ознайомитися з оригінальними роботами для детального обговорення зазначених нижче тем.

Автор документа 1982 р. заявив, виходячи зі свого досвіду, що «промінь буя за переважно тихої погоди з припливною течією має відповідати кривій 2В, а за неспокійної погоди має відповідати кривій 3В». Загальне поширення для цих двох променів становить  $35^\circ$  та  $55^\circ$  відповідно.

Крива 1В є результатом практичного випробування, і автор рекомендує відповідний ліхтар для використання на буях «у спокійній воді, що дає нахил не більше  $\pm 10^\circ$ ».



Малюнок 28 Цільові розподіли вертикальної інтенсивності

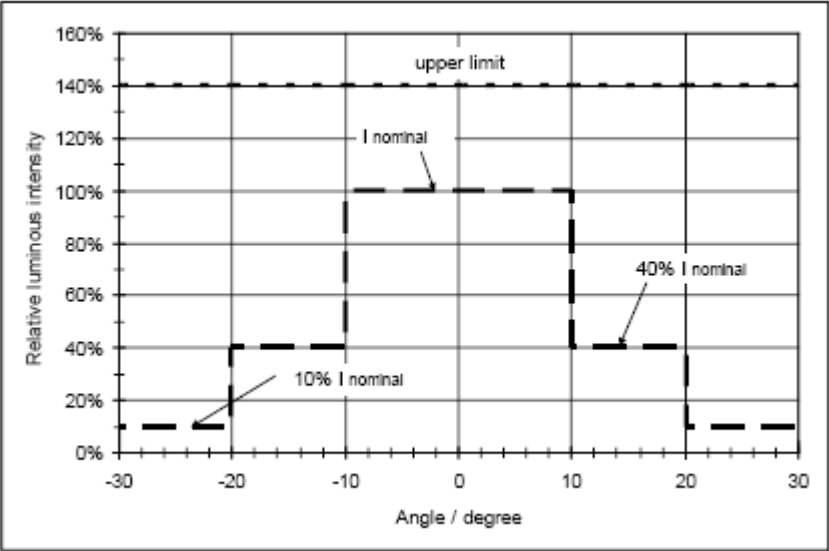
Метою цього документа є «підготувати належні оптичні конструкції розсіювачів... щоб забезпечити розподіли інтенсивності 2В та 3В...»

Висновки щодо вертикальної розхідності, що робляться у цій більш ранній роботі, подібні до тих, що впливають з роботи, описаної раніше у цьому Керівництві, яку провели USCG, Федеральна адміністрація водних шляхів та Trinity House.

#### 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЦЕНТРУ ТЕХНОЛОГІЙ РУХУ СУДЕН ПРИ ФЕДЕРАЛЬНІЙ АДМІНІСТРАЦІЇ ВОДНИХ ШЛЯХІВ

Для доповнення цього висновку щодо потреби у широкій розхідності або «пласкій» характеристиці для ліхтарів буїв документ ТТС, згаданий вище, містить цікаву пропозицію, яку варто розглянути як практичну характеристику, яку слід ухвалити для конструкції ліхтаря.

На наведеному нижче графіку резюмується пропонована характеристика; видно, що необхідна інтенсивність світла для номінальної дальності дії ( $I_{\text{nominal}}$ ) має бути наявна у куті  $\pm 10$  градусів, а крива також визначена такими кроками, як  $40\% I_{\text{nominal}}$  та  $10\% I_{\text{nominal}}$ .



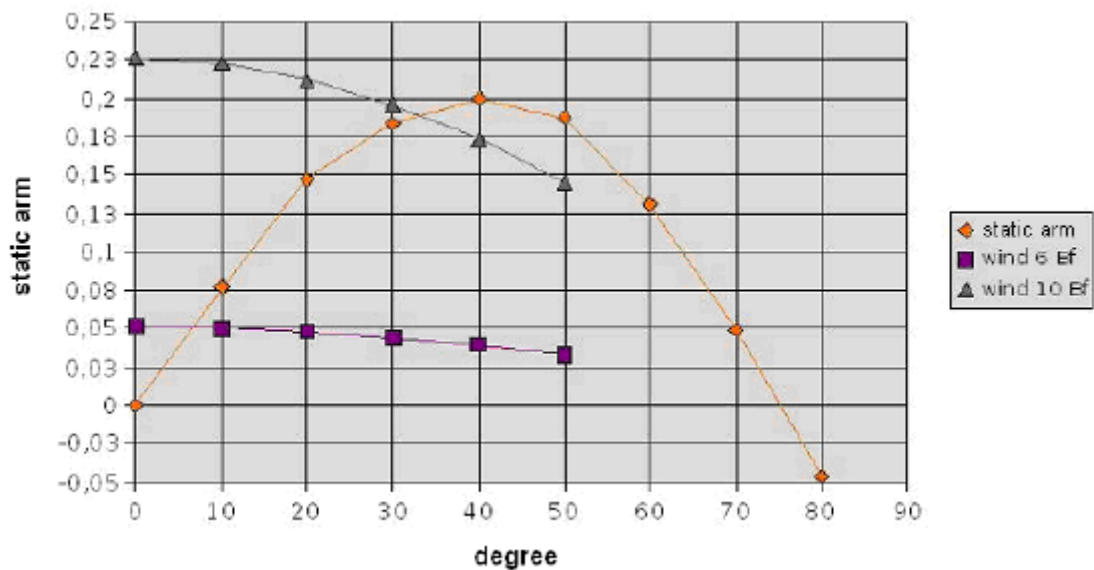
Малюнок 29 Пропонований профіль вертикальної розхідності

## 6 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИРЕКТОРАТУ ПІВНІЧНОГО МОРЯ, НІДЕРЛАНДИ

Обчислення остійності буя об'ємом  $12,5 \text{ м}^3$  показує, що кут статичного нахилу, спричинений силою вітру 7 балів за шкалою Бофорта, вже становить 7 градусів, а сила вітру 10 балів за шкалою Бофорта зумовлює кут 32 градуси (див. наведений нижче графік). У цьому випадку рухи хвиль до уваги не беруться. Цей буй об'ємом  $12,5 \text{ м}^3$  являє собою сталевий буй з діаметром 3,20 м, вагою 4 тонни та метацентричною висотою 0,35 м.

Незважаючи на те, що остійність пластмасового буя є значно кращою за остійність сталевого, пластмасовий буй рухатиметься відповідно до рухів хвиль через меншу вагу. З цієї причини кут нахилу також має важливе значення. Пластмасовий буй з діаметром 3,00 м має метацентричну висоту приблизно 1,00 м та вагу приблизно 2,5 тонни.

### Остійність буя, що світить, об'ємом $12,5 \text{ м}^3$



Малюнок 30 Графік остійності буя, що світить

## ДОДАТОК 2 ПРИКЛАДИ СПЕЦИФІКАЦІЙ

### 1 НІМЕЦЬКА СПЕЦИФІКАЦІЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ДЛЯ МАЯКІВ ВЕЛИКИХ БУЇВ

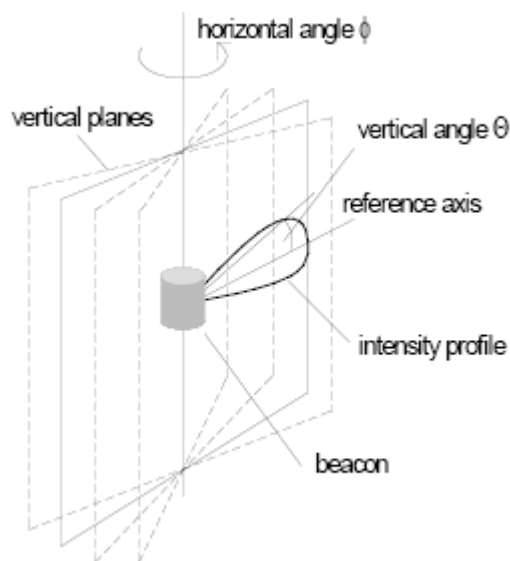
#### 1.1 Загальні нотатки

Ці специфікації використовувалися та публікувалися у зв'язку з європейською пропозицією щодо участі у тендерах у 2003 році на приблизно 1000 маяків. Вона була прийнята 4 виробниками (3 з них були членами IALA), і 3 виробники надали маяки для випробувань.

Загальна інтенсивність є різною для кожного кольору. Відносний профіль є однаковим для усіх кольорів.

Інтенсивність світла визначається за допомогою наведеної нижче геометрії. Для вимірювання горизонт визначається за дном маяка. Усі значення є значеннями фотометричної інтенсивності світла.

#### 1.2 Геометрія



Малюнок 31 Вертикальні площини відповідно до E-200

#### 1.3 Номінальна інтенсивність

Номінальна інтенсивність для кожного кольору є мінімальною фотометричною інтенсивністю світла стаціонарного вогню на горизонті. Номінальні інтенсивності та мінімальні значення горизонтальних інтенсивностей є наступними:

Таблиця 5 Номінальні та мінімальні фотометричні інтенсивності для вогнів різних кольорів

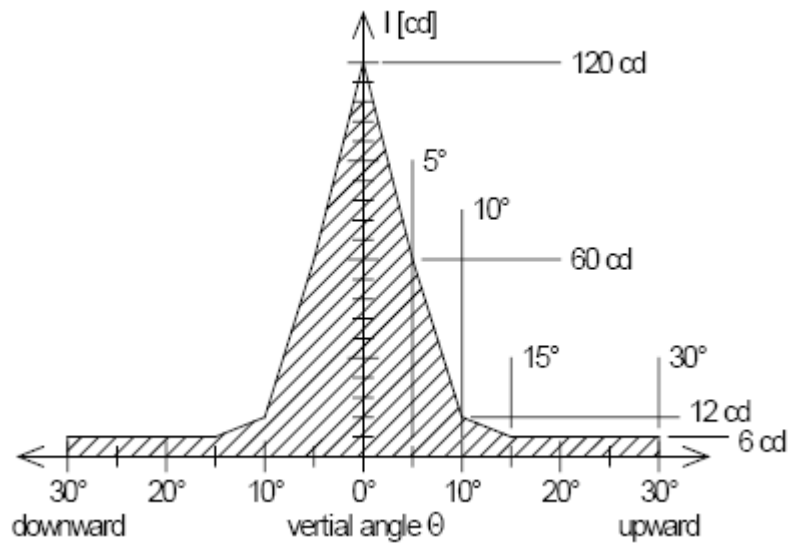
Колір	Номінальна інтенсивність	Максимальна інтенсивність
Білий	120 кд	180 кд
Зелений	40 кд	60 кд
Червоний	40 кд	60 кд
Жовтий	30 кд	45 кд

Мінімальні профілі показані на малюнках нижче. Профіль вимірної інтенсивності має знаходитися над мінімальним профілем для усіх горизонтальних кутів  $0 \leq \Phi < 360^\circ$ .

#### 1.4 Профілі інтенсивності

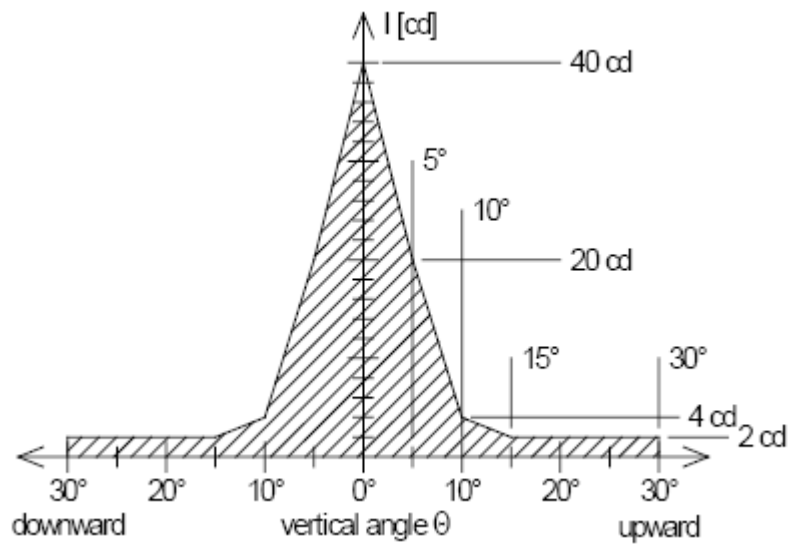
##### 1.4.1 Білий





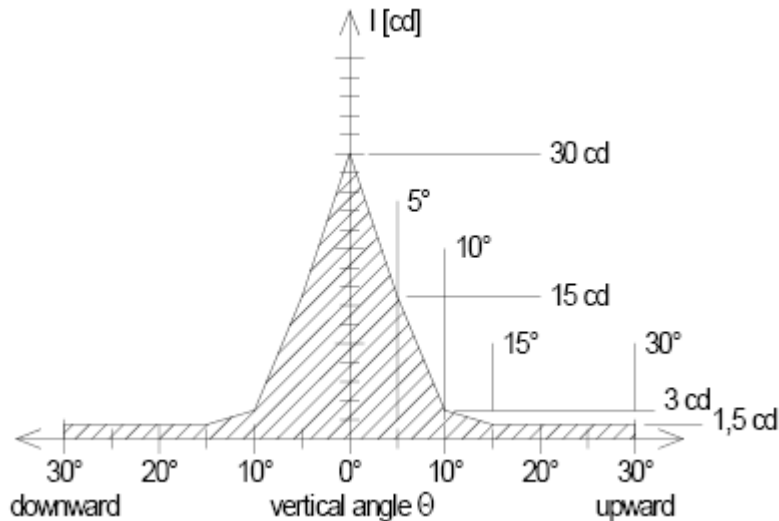
Малюнок 32 Мінімальний профіль інтенсивності для білого кольору

1.4.2 Зелений / Червоний



Малюнок 33 Мінімальний профіль інтенсивності для червоного й зеленого кольорів

1.4.3 Жовтий



Малюнок 34 Мінімальний профіль інтенсивності для жовтого кольору

### 1.5 Математичний опис

Білий (120 кд):

Таблиця 6 Мінімальні профілі вертикальної розхідності для різних кольорів

Вертикальний кут	Функція
Від $-5^\circ$ до $+5^\circ$	$I_{\min}(\theta) = 120 \text{ кд} - 12 \text{ кд} * ( \theta  / 1^\circ)$
Від $-10^\circ$ до $-5^\circ$ та від $+5^\circ$ до $+10^\circ$	$I_{\min}(\theta) = 108 \text{ кд} - 9,6 \text{ кд} * ( \theta  / 1^\circ)$
Від $-15^\circ$ до $-10^\circ$ та від $+10^\circ$ до $+15^\circ$	$I_{\min}(\theta) = 24 \text{ кд} - 1,2 \text{ кд} * ( \theta  / 1^\circ)$
Від $-30^\circ$ до $-15^\circ$ та від $+15^\circ$ до $+30^\circ$	$I_{\min}(\theta) = 6 \text{ кд}$

Зелений та червоний (40 кд):

Вертикальний кут	Функція
Від $-5^\circ$ до $+5^\circ$	$I_{\min}(\theta) = 40 \text{ кд} - 4 \text{ кд} * ( \theta  / 1^\circ)$
Від $-10^\circ$ до $-5^\circ$ та від $+5^\circ$ до $+10^\circ$	$I_{\min}(\theta) = 36 \text{ кд} - 3,2 \text{ кд} * ( \theta  / 1^\circ)$
Від $-15^\circ$ до $-10^\circ$ та від $+10^\circ$ до $+15^\circ$	$I_{\min}(\theta) = 8 \text{ кд} - 0,4 \text{ кд} * ( \theta  / 1^\circ)$
Від $-30^\circ$ до $-15^\circ$ та від $+15^\circ$ до $+30^\circ$	$I_{\min}(\theta) = 2 \text{ кд}$

Жовтий (30 кд):

Вертикальний кут	Функція
Від $-5^\circ$ до $+5^\circ$	$I_{\min}(\theta) = 30 \text{ кд} - 3 \text{ кд} * ( \theta  / 1^\circ)$
Від $-10^\circ$ до $-5^\circ$ та від $+5^\circ$ до $+10^\circ$	$I_{\min}(\theta) = 27 \text{ кд} - 2,4 \text{ кд} * ( \theta  / 1^\circ)$
Від $-15^\circ$ до $-10^\circ$ та від $+10^\circ$ до $+15^\circ$	$I_{\min}(\theta) = 6 \text{ кд} - 0,3 \text{ кд} * ( \theta  / 1^\circ)$
Від $-30^\circ$ до $-15^\circ$ та від $+15^\circ$ до $+30^\circ$	$I_{\min}(\theta) = 1,5 \text{ кд}$

## 2 НІМЕЦЬКА СПЕЦИФІКАЦІЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ДЛЯ ВОГНІВ ДЛЯ ПОЗНАЧЕННЯ МОРСЬКИХ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

IALA рекомендує позначати «важливі периферійні споруди (SPS) вітрової електростанції вогнями з дальністю дії не менше 5 морських миль» (Рекомендація IALA O-139 щодо позначення морських споруд, створених людиною).

Проте обчислення необхідної інтенсивності є неоднозначним.

Відтак, німецька Адміністрація розробила точний фотометричний опис на основі цієї Рекомендації IALA (за допомогою інструментів Рекомендації IALA E-200 щодо морських сигнальних вогнів).

Було зроблено припущення, що дальністю дії за Рекомендацією IALA O-139 є номінальна (оптична) дальність дії вогню.

Номінальна дальність дії ґрунтується на прозорості атмосфери  $T_m = 0,7411$  та необхідній яскравості на рівні ока спостерігача  $E_t = 2 \cdot 10^{-7}$  лк (фонове освітлення відсутнє).

Це зумовлює ефективну інтенсивність світла за експлуатаційних умов  $I_{eff.s}$

$$I_{eff.s} = 76,7 \text{ кд}$$

Наступним кроком є обчислення необхідної фотометричної інтенсивності світла  $I_{photo}$  нового вогню.

Коефіцієнт експлуатаційних умов становить 0,75.

Мінімальна тривалість проблиску становить 1 с; припускається, що інтенсивність світла, що залежить від часу, має прямокутну форму.

$$I_{photo} = \frac{1}{0,75} \times \frac{0,2c + 1c}{1c} \times I_{eff.s} = 1,33 \times 1,2 \times I_{eff.s}$$

(формула 6) Обчислення фотометричної інтенсивності

Необхідна фотометрична інтенсивність дорівнює:

$$I_{photo} = 1,33 \times 1,2 \times 76,7 \text{ кд} \approx 120 \text{ кд}$$

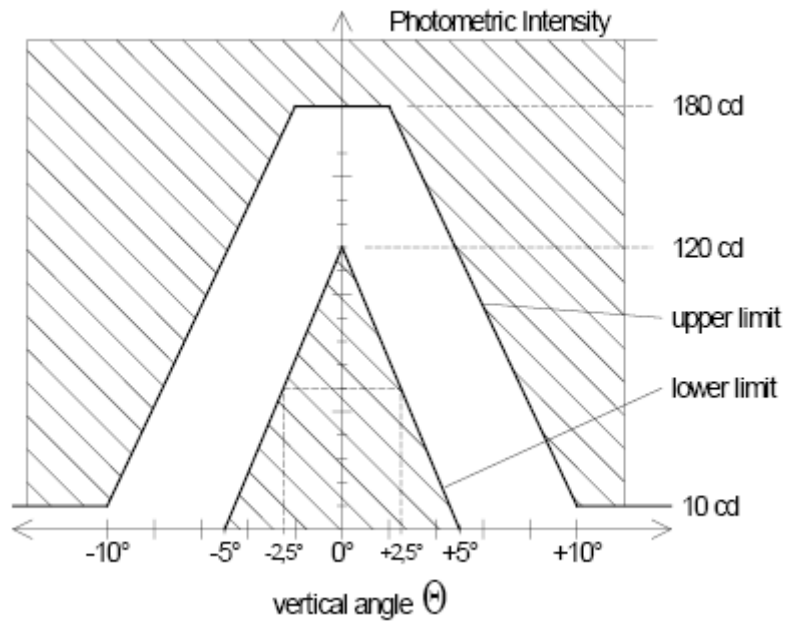
(формула 7) Значення для формули 6

Ця інтенсивність світла була обрана в якості мінімальної інтенсивності світла на горизонті.

З урахуванням структури вітрової електростанції, було встановлено, що достатньо застосувати вертикальну розхідність (FWHM) приблизно 5 градусів. Для усунення неоднозначності це значення було перетворене на мінімальне значення у щонайменше 50% від 120 кд за вертикальних кутів  $\pm 2,5^\circ$ .

Результуючий маяк з дальністю дії 5 миль використовується на усіх периферійних вітрових турбінах. Маяк з дальністю дії 2 милі не використовується. Для уникнення світлового забруднення була запроваджена вимога щодо верхньої межі інтенсивності світла (максимальний профіль). Максимальний профіль був обраний у спосіб, який все ще може бути створений виробниками.

Результуючі максимальний та мінімальний профілі показані на наведеному нижче малюнку.



Малюнок 35 Результуючі максимальний та мінімальний профілі