

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

**E-107**  
**РЕКОМЕНДАЦІЯ IALA-MAMC**

**щодо**

**ПРОЕКТУВАННЯ ЗВИЧАЙНИХ  
ЯКІРНИХ СИСТЕМ**

**Рекомендація IALA E-107**  
**травень 1998 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  
Телекс: 695499 ialaism f  
E-mail: [iala-aism@easynet.fr](mailto:iala-aism@easynet.fr) Internet: <http://iala-aism.org>

# Рекомендація IALA щодо проектування звичайних якірних систем

(Рекомендація IALA E-107, травень 1998 року)

**РАДА,**

**ВИЗНАЮЧИ** потребу в розробці керівництва щодо проектування якірних систем буїв для нормальних умов для традиційних буїв, що слугують засобами навігаційного обладнання<sup>1</sup>, тобто буїв з плавучим корпусом, які обладнані або не обладнані вогнем;

**ЗВАЖАЮЧИ** на неможливість формулювання керівництва інакше, ніж у загальних термінах, з причини надзвичайної важливості місцевих особливостей та емпіричного підходу в цій сфері;

**БЕРУЧИ ДО УВАГИ** пропозиції Інженерного комітету IALA,

**УХВАЛЮЄ** «Керівництво з проектування звичайних якірних систем», що приводиться у додатку до цієї Рекомендації;

**РЕКОМЕНДУЄ:**

національним членам враховувати «Керівництво з проектування звичайних якірних систем» при проектуванні нових або замінюваних якірних систем для буїв, що слугують засобами навігаційного обладнання, розташовані у водах з приблизною глибиною 80 метрів або менше й обладнані або не обладнані вогнем;

**СКАСОВУЄ** Рекомендацію IALA щодо проектування звичайних якірних систем, датовану червнем 1975 року.

---

<sup>1</sup> «Нормальні умови для традиційних буїв, що слугують засобами навігаційного обладнання» означає «глибини, які приблизно є меншими за 80 метрів».

# ДОДАТОК

## КЕРІВНИЦТВО З ПРОЕКТУВАННЯ ЗВИЧАЙНИХ ЯКІРНИХ СИСТЕМ

### ВСТУП

Дане Керівництво викладене у загальних термінах з причини надзвичайної важливості місцевих особливостей та емпіричного підходу в цій сфері. Незважаючи на це, протягом тривалого практичного застосування воно довело свою придатність.

### I ЗАГАЛЬНІ МІРКУВАННЯ

Призначення якірної системи полягає у забезпеченні гнучкого сполучення між буєм і фіксованою точкою на морському дні. Гнучке сполучення, у свою чергу, забезпечує амортизацію впливу на буй, що спричиняється хвилями.

### II ЛАНЦЮГИ

Якірна система буя зазвичай складається з ланцюга з незамкнутими ланками (без розпірок), діаметр перемичок коливається від 13 до 47,5 міліметрів, вага становить від 3,5 до 43,7 кілограмів на метр відповідно.

Ланцюг може виготовлятися з м'якої легованої сталі<sup>2</sup>. За наявності надмірного зносу може використовуватися сталь із середнім вмістом вуглецю (середньовуглецева сталь), проте вона є дорожчою.

Ланцюг з розпірками зазвичай не використовується в якірних системах буїв з причини високих початкових капітальних затрат.

### III ПРОЕКТУВАННЯ ЯКІРНОЇ ВІДТЯЖКИ

**III.1** – У тих випадках, коли це можливо, вибір якірної системи для буя слід робити на прикладі функціонування подібних буїв, які довели свою придатність за схожих морських умов.

У разі відсутності подібного прикладу необхідно вдатись до обчислень, щоб визначити діаметр перемичок ланцюга, вагу на одиницю довжини, загальну довжину якірної системи і розташування кріплення якірної системи до корпусу буя. Для обчислення згаданих показників використовують декілька методів, що передбачають різні ступені спрощення.

**III.2** – Перший метод вимагає використання комп'ютера і забезпечує відповідність якірної системи викладеним нижче умовам.

---

<sup>2</sup> Дивіться доповідь 3.2.2 до 7-ої Міжнародної конференції маякових служб і засобів навігаційного обладнання, Рим, 1965 рік: «Якірні ланцюги для буїв», A.K. Laing, R.K. Buhr, S.L. Gertsman (Канада).

Припустимо, що певний буй має бути розташований у певному місці. У даному випадку довжину і діаметр ланцюга, а також розташування з'єднувальної ланки ланцюга на корпусі буя визначають з метою задоволення наступних вимог:

- i) ланцюг розташовується дотично до морського дна за всіх умов щодо течії та вітру в цьому місці;
- ii) вісь буя залишається вертикальною за більшості умов щодо течії та вітру;
- iii) співвідношення критичного натягнення ланцюга та обчислюваного натягнення є не меншим за  $5^3$  за найбільш несприятливих умов щодо течії та вітру;
- iv) запас плавучості повністю оснащеного буя є достатнім за найбільш несприятливих умов щодо течії та вітру.

У цьому методі обчислення враховується:

- a) опір вітру на надбудову буя;
- b) опір течії на буй;
- c) опір течії на ланцюг.

Формули, що приводяться у виносках<sup>4</sup>, <sup>5</sup> та <sup>6</sup>, можна використовувати для обчислення кожної з цих трьох дій.

---

<sup>3</sup> Важливість цього співвідношення головним чином виправдане тим фактом, що в обчисленні не враховується взаємодія між ланками ланцюга. Для введення поправки на знос зазвичай застосовують більші співвідношення.

<sup>4</sup> Передбачається, що сила  $F_w$  (N), дію якої спричиняє вітер на висоті (h) над малою частиною (dh) надбудови буя, є горизонтальною. Це виводиться з формули:

$$dF_w = \frac{1}{2} \rho_a V_w^2 l C_w dh$$

де:

$\rho_a$  – одиниця маси повітря (кг/м<sup>3</sup>);

$V_w$  – швидкість вітру на висоті h (м/с);

l – ширина надбудови на висоті h (м);

$C_w$  – коефіцієнт аеродинамічного опору відповідної частини.

Значення для  $C_w$  є такими:

Каркасна конструкція (кути)  $1,7 < C_w < 2$

Каркасна конструкція (трубки)  $0,3 < C_w < 0,4$

Циліндр  $0,3 < C_w < 0,4$

Пластина (якщо застосовується)  $C_w < 1$ .

<sup>5</sup> Гідродинамічний опір  $F_d$  (N), дію якого спричиняє течія на буй, виводиться з формули:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho_o S V^2$$

де:

$C_d$  – коефіцієнт гідродинамічного опору;

Значення  $C_d$  коливається між 0,8 і 1,2 для буйів, осадка яких дорівнює або є більшою за 1/5 їхнього діаметру. Якщо осадка є меншою за 1/5 діаметру буя, то значення  $C_d$  коливається від 0,3 до 0,5.

$\rho_o$  – одиниця маси морської води (кг/м<sup>3</sup>);

S – площа середньої частини буя (м<sup>2</sup>);

V – швидкість течії (м/с).

Застосування цього методу на практиці продемонструвало, що опір на ланцюг внаслідок течії можна проігнорувати у грубому наближенні для якірних систем на глибинах менше 40 метрів<sup>7</sup>.

Проте, очевидно, що для глибини води це є межею, нижче якої не може бути задоволена вимога (iv) (достатній запас плавучості) з певним типом буя, заданим діаметром ланцюга і заданими умовами щодо течії та вітру. У подібному випадку виникне потреба у виборі альтернативного буя або складної якірної системи<sup>8</sup> для забезпечення необхідного запасу плавучості.

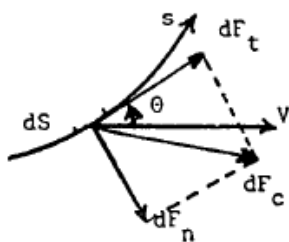
Програма використання описаного вище методу обчислення може бути надана Секретаріатом IALA.

**III.3** – Другий простіший метод обчислення без залучення комп'ютера полягає у визначенні форми тієї частини ланцюга, яка піднімається над морським дном в якості відтяжки. Цей метод дозволяє вирішити наступну проблему.

Припустимо, що буй має бути розташований у певному місці. У даному випадку довжину і діаметр ланцюга, а також розташування з'єднувальної ланки ланцюга на корпусі буя визначають з метою задоволення наступних вимог:

- i) ланцюг розташовується дотично до морського дна за всіх умов щодо течії та вітру в цьому місці;
- ii) співвідношення критичного натягнення ланцюга та обчислюваного натягнення є не меншим за  $5^3$  за найбільш несприятливих умов щодо течії та вітру;
- iii) запас плавучості буя є достатнім за найбільш несприятливих умов щодо течії та вітру.

<sup>6</sup> Опір  $dF_c$  малої частини ланцюга з довжиною ( $ds$ ), що виникає завдяки течії зі швидкістю ( $V$ ) під кутом ( $\theta$ ) до ( $ds$ ), є результатом наявності двох складових:



$$dF_t = \frac{1}{2} \rho_0 V^2 C_t ds \text{ (тангенціальна складова)}$$

$$dF_n = \frac{1}{2} \rho_0 V^2 C_n ds \text{ (нормальна складова),}$$

де:

$ds = v ds$ , де  $v$  – ширина ланки (10/3 діаметру ланцюга);

$$C_t = (0,069 + 0,124 \sin \theta) \cos \theta$$

коефіцієнт тангенціального опору

$$C_n = (0,049 + 1,273 \sin \theta - 0,637 \sin^2 \theta) \sin \theta$$

коефіцієнт нормального опору.

<sup>7</sup> Недооцінка довжин і натягнень менше 10%.

<sup>8</sup> Приклади застосування складних якірних відтяжок не розглядаються у цій рекомендації.

У цьому методі обчислення враховується:

- a) опір вітру на надбудову буя;
- b) опір течії на буй.

Даний метод не забезпечує перебування буя у суворо вертикальному положенні за більшості умов щодо течії та вітру. Вплив опору течії на ланцюг ігнорується.

У методі взяті до уваги такі параметри:

*A) Характеристики буя*

- P – вага (N);
- U – об'єм (м<sup>3</sup>);
- V<sub>r</sub> – мінімальний запас плавучості (м<sup>3</sup>);
- S – змочувана площа (середня частина) (м<sup>2</sup>);

*B) Характеристики місця*

- H – максимальна глибина води, тобто сума найвищого рівня припливу та половини максимальної висоти хвилі конкретно в цьому місці (м);
- V<sub>w</sub> – швидкість вітру за припущення, що він є горизонтальним і однорідним по всій висоті надбудови буя (м/с);
- V – швидкість течії за припущення, що вона є горизонтальною і однорідною по всій глибині води в цьому місці (м/с).

Ці параметри дозволяють визначити головний вектор F (N) горизонтально діючих сил, що впливають на буй внаслідок течії та вітру за найбільш несприятливих умов. Ці сили обчислюються за допомогою формул, що приводяться у виносках <sup>4</sup> та <sup>5</sup>.

Ланцюг характеризується трьома такими параметрами:

- P – вага у воді на одиницю довжини (Н/мл);
- T<sub>r</sub> – критичне натягнення (Н);
- L – довжина (м).

Вимоги, описані у пунктах i), ii) та iii), є узгодженими у тому випадку, коли параметри відповідають наступним виразам:

$$H \sqrt{1 + \frac{2F}{\rho H}} \leq L \leq \frac{(U - V_r) \rho_0 g - P}{\rho}$$
$$F + \rho H \leq 1/5 T_r$$

де (g) – гравітаційне прискорення у даному місці. На рисунку 1 зображено символи, використані в цьому параграфі<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Кут (θ) між натягненням у верхній частині якірної відтяжки та горизонтально діючою силою (F) визначається такою формулою:

$$\cos \theta = \frac{F}{F + \rho H}$$

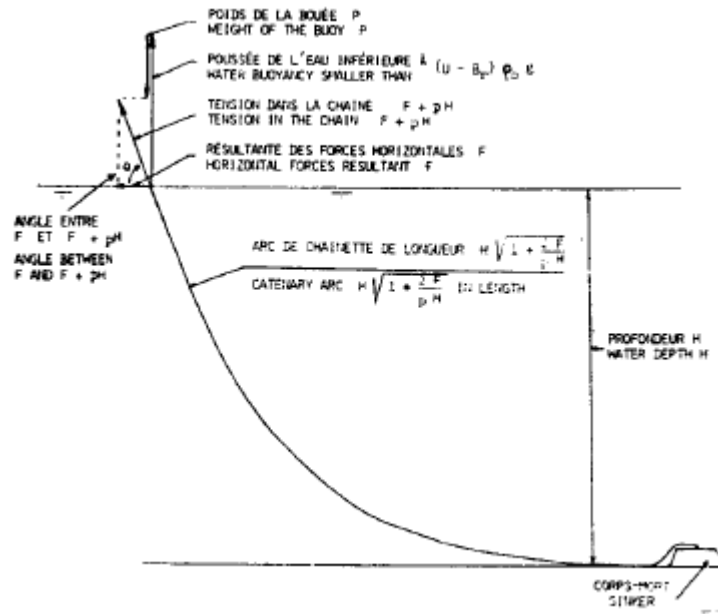


Рисунок 1 – Схематичне креслення, що ілюструє спрощений метод

**III.4** – Застосування описаних вище методів на практиці здебільшого демонструє, що наступні приблизні правила забезпечують задоволення вимоги і), що викладена в параграфах III.2 та III.3:

- довжина ланцюга в три рази перевищує глибину води при найвищому рівні моря;
- у місцях, де буй піддається впливу і хвиль, і течії, рекомендується збільшити довжину ланцюга; таке збільшення має перевищувати глибину води від 0 до 3 разів при коливанні швидкості течії від 0 до 6 вузлів.

### III.5 – Спеціальні міркування

Максимальний радіус качання (радіус циркуляції) буя складає:  $r_m = \sqrt{L^2 - H^2}$ .

Для зменшення радіуса качання (радіуса циркуляції) може постати необхідність у зменшенні довжини ланцюга якорної системи. У цьому випадку не рекомендується зменшувати довжину ланцюга до такої, що перевищує глибину води менше, ніж удвічі, в місцях з глибиною води менше 50 метрів. Для глибин більше 50 метрів прийнятним є коефіцієнт 1,5.

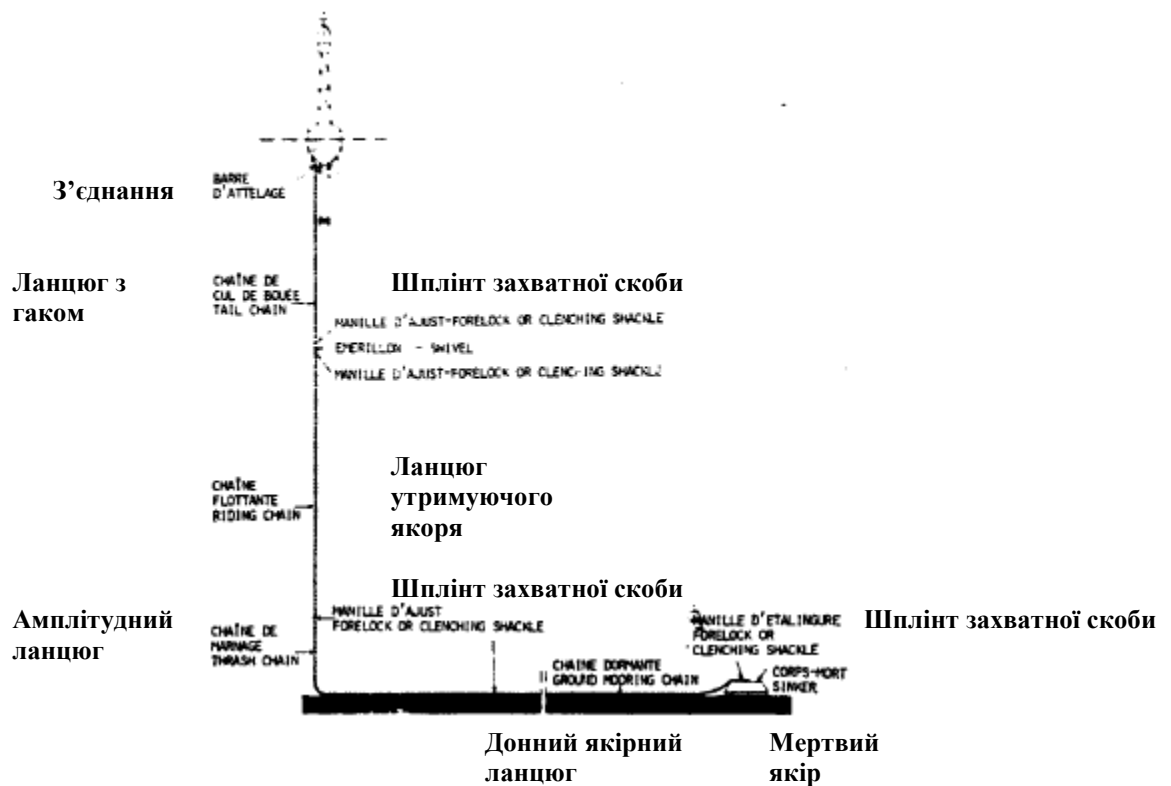
## IV ДЕТАЛІ ЯКІРНОЇ ВІДТЯЖКИ

Для полегшення огляду, а також з причини економії якорна відтяжка може складатися з декількох частин, змонтованих відповідним чином.

На рисунку 2 зображено типову конструкцію якорної відтяжки. Вона складається з чотирьох секцій ланцюгів, що перелічені нижче в порядку від верхівки до дна:

- ланцюг з гаком;
- ланцюг утримуючого якоря;

- амплітудний ланцюг;
- донний якірний ланцюг, який може бути виготовлений з бувшого у використанні ланцюга.



*Рисунок 2 – Типова якірна система буя*

Якірні відтяжки можуть проектуватись відповідно до глибини і місцевих умов.

Рекомендується з'єднувати ланцюг з гаком разом з ланцюгом утримуючого якоря за допомогою вертлюга і двох скоб.

Вертлюг забезпечить вільне обертання ланцюгів навколо їхніх осей і попередить перекручування якірної відтяжки. Для глибин більше 40 метрів рекомендовано подібним же чином з'єднати ланцюг утримуючого якоря з амплітудним ланцюгом.

Ланцюг з гаком з'єднується з буюм, і ланцюг з'єднується з мертвим якорем за допомогою скоб відповідної форми.

## V МЕРТВІ ЯКОРІ

Для малих буїв мертві якорі можуть виготовлятися з чавуну, бетону або каменю. Бетонні мертві якорі дешевші за чавунні, однак чавунні мертві якорі зручніші в експлуатації за бетонні якорі з еквівалентною вагою у воді. Для якірних систем малих або середніх буїв також можуть використовуватись великі камені.

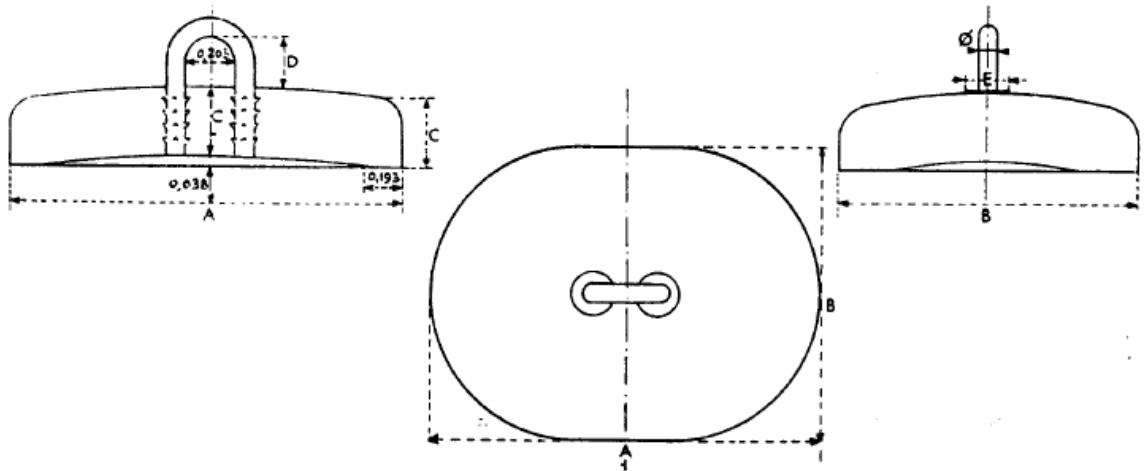
Мертвий якір не повинен перекидатись в умовах горизонтальної тяги. У випадку з бетонним мертвим якорем у його нижній поверхні на невеликій висоті рекомендується



зробити порожнину, яка забезпечить «присмоктування» якоря на піщаному або мулистому ґрунті.

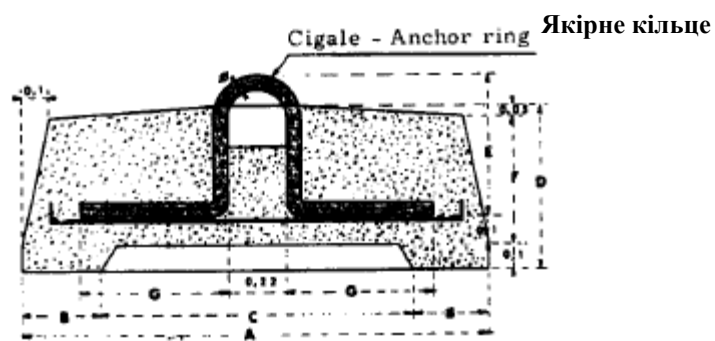
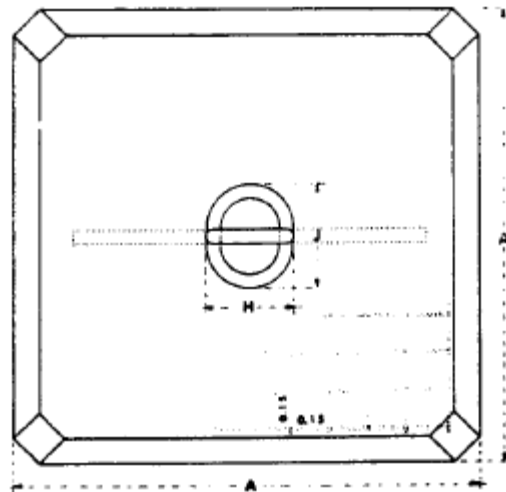
Рекомендується, що бетонна суміш містила 400 кілограмів цементу на кубічний метр бетону на момент змішування.

На рисунках 3 і 4 зображено рекомендовані форми мертвих якорів.



Вага мертвих якорів (кг)	Розміри (м)					
	A	B	A	D	E	Ø
1500	1,25	0,93	0,212	0,203	0	0,070
2000	1,35	1,01	0,243	0,203	0	0,070
3000	1,55	1,16	0,280	0,203	0	0,070
4000	1,68	1,30	0,328	0,254	0,159	0,076
5000	1,83	1,37	0,356	0,254	0,159	0,076

*Рисунок 3 – Чавунний мертвий якор*



Вага мертвого якоря (кг)	Розміри (м)										Вага приєднаного ланцюга (кг)
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	Ø	
2000	1,2	0,15	0,9	0,55	0,5	0,4	0,4	0,32	0,37	0,05	1000
4000	1,6	0,2	1,2	0,65	0,55	0,5	0,5	0,34	0,4	0,06	0,070
5000	1,8	0,3	1,2	0,65	0,55	0,5	0,6	0,34	0,3	0,06	0,070

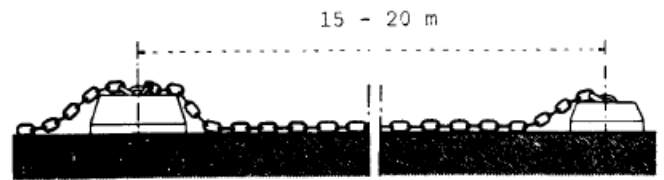
**Рисунок 4 – Бетонний мертвий якір**

Важливо, щоб розміри «відростків» якірного кільця (рисунок 5) і розміри порожнини, у якій розташовані ці «відростки», забезпечували достатній кліренс для розміщення підйомного гака і тросу для маніпулювання мертвим якорем. Кліренс також необхідний для встановлення і прилаштування з'єднувальної скоби донного якірного ланцюга.

Коли буй розміщується у місці з дуже сильними течіями і малою глибиною води, іноді виникає потреба у встановленні двох мертвих якорів з різною вагою, сполучених ланцюгом довжиною від 15 до 20 метрів. Легший мертвий якір розташовується на кінці якірної відтяжки (рисунок 6).



*Рисунок 5 – Якірне кільце*



*Рисунок 6 – Додатковий якір*

Не рекомендується використовувати морські якорі в якості мертвих якорів, оскільки їхні лапи можуть стати причиною заплутування ланцюгів.

З купи бувших у використанні ланцюгів належної ваги можна зробити резервний мертвий якір. Якорі подібного типу особливо добре зарекомендували себе в умовах кам'янистого дна.

Конструкцію, в якій якірний ланцюг сполучається з двома мертвими якорями однакової ваги за допомогою перемички, слід використовувати із застереженням з причини дуже високого ризику перекручування.

## **VI ОБСЛУГОВУВАННЯ ЯКІРНИХ СИСТЕМ**

Нижче викладені інструкції, яких рекомендується дотримуватись.

Обслуговування якірних систем на місці вимагає періодичних відвідувань, частота яких залежить від ризику зносу. Як правило, якірні системи перевіряють раз на рік або частіше, залежно від місцевих умов.

Під час кожного відвідування слід виконувати наступні операції:

- очистіть ланцюг з гаком і ланцюг утримуючого якоря від ракушок і водоростей всіх видів, оскільки вони можуть стати причиною перекручувань;
- перевірте знос осей скоб та стан конусних штифтів і свинцевого дроби у скобах якірного ланцюга; ослаблені скоби підлягають заміні;
- перевірте вільне обертання кожного вертлюга навколо своєї голівки; заклинені вертлюги необхідно розклинити або замінити;
- перевірте кожну ланку в амплітудному ланцюгу; діаметр зношених ланок вимірюється вздовж кожного метру в місцях захвату та з боків; також необхідно перевіряти зварні шви ланок;
- у випадку, коли дозволяє глибина, зношений ланцюг утримуючого якоря може бути перегорнутий;
- у разі виявлення надмірного зносу будь-якої ланки замініть ланцюг; зазвичай це трапляється, коли ланка зменшується до близько 3/5 свого початкового діаметра.

Донний ланцюг і мертвий якір, які не піддаються зносу, слід перевіряти менш часто (наприклад, кожні 2 або 3 роки).

## **VII СПЕЦІАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ОГОРОДЖЕННЯ БУЯМИ В ЛЬДОВИХ УМОВАХ**

Двохконусні буї більш придатні для використання в льодових умовах, оскільки вони достатньо добре витримують тиск, що спричиняється льодом. Тому рекомендується буї інших форм замінити на двохконусні до льодоутворення.