

УДК 656.61.052

## ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ДІАПАЗОНІВ ЛАЗЕРНО-ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОПОРНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ FANBEAM ПРИ РІЗНИХ УМОВАХ ХВИЛЮВАННЯ МОРЯ

**Мойсеєнко В. С.**, аспірант кафедри управління судном Херсонської державної морської академії

*В роботі запропоновані принципи визначення робочих діапазонів, при використанні лазерно-оптичної системи опорного позиціонування Fanbeam при різних умовах хвилювання моря.*

*Данні отриманні з систем опорного позиціонування, які використовуються на судах офшорного флоту, грають дуже велику роль у визначенні положення судна відносно нерухомого об'єкту.*

*Знаючи робочі діапазони систем опорного позиціонування судна, надають суттєві переваги при прийнятті рішення вірного та безпечного використання цих систем у поганих погодних умовах.*

*Змінюючи положення та курс судна, відносно рефлектора, можливо покращити отримання точності даних, що призведе до поліпшення побудовання математичної моделі судна, для подальшого точного та безпечного утримання позиції судна.*

**Ключові слова:** Fanbeam, рефлектор, діапазон, хитавиця, промінь, ДП система, кут відхилення.

**DOI:** 10.33815/2313-4763.2018.2.19.44–52

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** При оглядово-порівняльному способі використання лазерно-оптичної системи опорного позиціонування Fanbeam в поганих погодних умовах та за наявності хвилювання моря, може призвести до поганої побудови математичної моделі судна та подальшої некоректної роботи системи динамічного позиціонування, що в свою чергу може вплинути на точність утримання судна в заданій точці та взагалі втрати позиції судна.

Хвилювання моря призводить до невірної оцінки відстані та курсу судна до рефлектора або до повної втрати рефлектора з діапазону спостереженням лазерного модулю. Вертикальне розповсюдження променя лазерного модулю складає  $18^\circ$ , але цього катастрофічно не достатньо коли судно працює на траверзних відстанях від платформного комплексу. На траверзних відстанях від платформного комплексу, зазвичай, виконують судна водолазного забезпечення або судна з дистанційно керованими роботами, тому втрата позиції для таких суден є катастрофічним фактором, тому ще це зазвичай приводить к багато мільйонним збиткам для офшорних компаній, а також к загиблі водолазів.

Тому знання робочого діапазону спостереження лазерного модуля дуже сильно впливає на успішність виконання запланованих операцій.

**Постановка завдання.** Для вироблення алгоритму визначення робочого діапазону спостереження лазерного модуля під час хвилювання моря та надання рекомендацій, необхідно виконати ряд експериментів на одному й тому ж судні, для різних видів хвилювання судна таких як бортова, кільова та вертикальна хитавиця, визначити максимальний кут нахилу Fanbeamта проаналізувати, яким чином ми можемо покращити отримання даних з лазерно-оптичної системи опорного позиціонування Fanbeam.

**Викладення матеріалу дослідження.** Експерименти проводилися на багатоцільовому офшорному судні MPOV NORDIC PRINCE DP-2 фірми NORDIC MARITIME PTE LTD. Водотоннажність судна 5933,4 т, довжина 75,55 м, ширина 19,2 м, осідання 6 м. Двигун – середньо-обертвий дизель 2x2320кВт, гвинт – ГРК, максимальна швидкість 14 вузлів. Має два носових та два кормових підрулюючих пристрою. На судні встановлено лазерно-оптичну систему опорного позиціонування Fanbeam 4 Mk, яка складається з напівпровідникового лазерного діоду, частота 7.5 Кгц, довжина хвилі 0,905 нанометри, вертикальна розбіжність проміння  $18^\circ$ , горизонтальна розбіжність проміння 2,5 миллірадіан, точність 20 см залежить від рефлектора и швидкості сканування.

Експерименти проводилися наступним чином. З початку розрахуємо теоретичний діапазон лазерного спостереження, для того щоб на ділі порівняти його з робочим

практичним діапазоном. Далі знаходимо робочий практичний діапазон лазерного модуля у стані спокою. Для цього встановили Fanbeam у нульове положення, щоб середина випромінюваного проміння була перпендикулярна поверхні води у спокійному стані, та увімкнули режим сканування цілей. Підвісили рефлектор, типу відбивної трубки, довжиною 1000 мм та діаметром 120 мм за допомогою палубного крану MACGREGOR на відстані 20 метрів і повільно почали підіймати рефлектор в гору до того моменту, поки він не вийде з робочого діапазону лазерного сканера, теж саме проробили тільки опускаючи рефлектор. Усі отримані данні було виписано та виведено у таблицю.

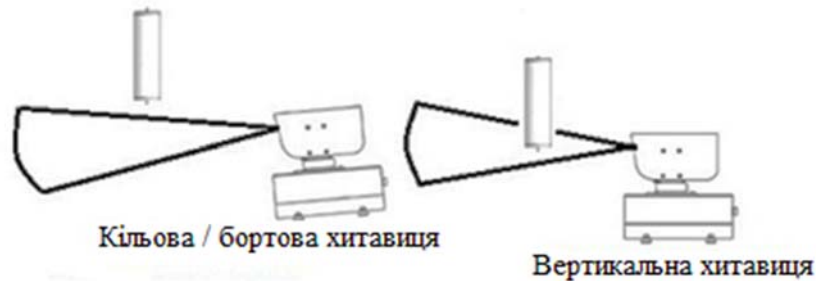


Рисунок 1 – Відхилення проміння Fanbeam при хитавиці судна

Розрахуємо теоретичний діапазон лазерного спостереження. Розрахунки проведемо для відстані спостереження на 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 метрів. Це ті відстані на котрих зазвичай знаходиться рефлектор від Fanbeam протягом ДП операцій.

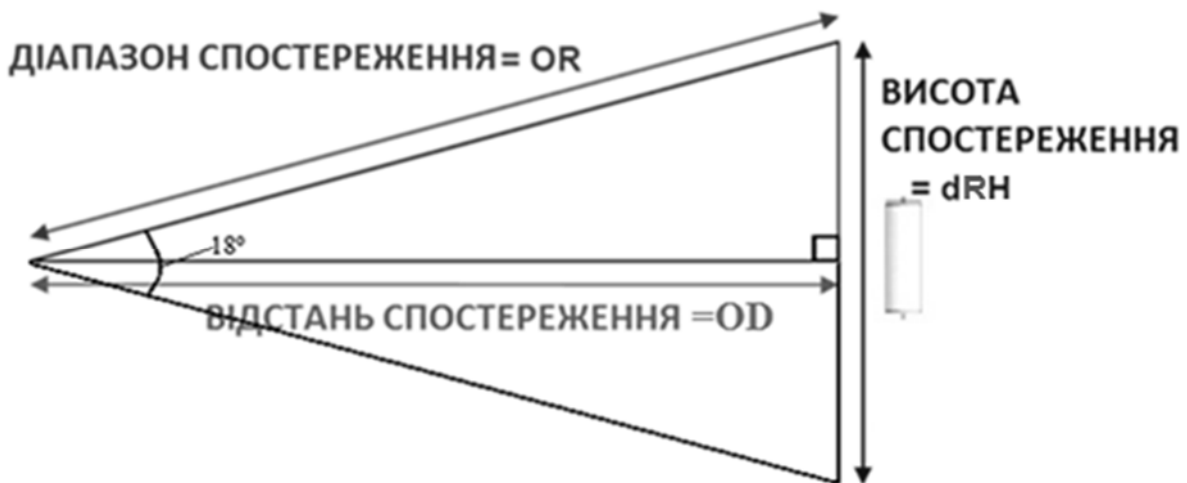


Рисунок 2 – Діапазон спостереження проміння Fanbeam

$$dHR = OR * \sin \frac{\alpha}{2} * 2 = \frac{OD}{\cos \frac{\alpha}{2}} * \sin \frac{\alpha}{2} * 2;$$

$$OR = \frac{OD}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

Таблиця 1 – Залежність висоти спостереження проміння Fanbeam від відстані спостереження

<i>Відстань спостереження, м</i>	<i>Висота спостереження при куті проміння 18°, м</i>	<i>Відстань спостереження, м</i>	<i>Висота спостереження при куті проміння 18°, м</i>
20	6,3	55	17,4
25	7,9	60	19,0
30	9,5	65	20,6
35	11,1	70	22,2
40	12,7	75	23,8
45	14,3	80	25,3
50	15,8		

В залежності від типу виконуваних операцій, судно може розташуватися відносно нафтової платформи під любими кутами. При виконанні робіт з підводним дистанційно керованими апаратами, або водолазними роботами, судно зазвичай намагається розташуватися лагом до нафтової платформи, так занурення апарата або водолаза у багатьох випадках виконується саме з борту судна. Також, лагом до платформи судно розташовується у тих випадках, коли довжина карна нафтової платформи не достатня для вивантаження, або завантаження усієї палуби, чи коли вага вантажу велика, і для операцій з великим вантажем стріла крана повинна бути піднята максимально в гору, що дуже скорочує робочу відстань крана. В усіх інших випадках, судно частіше підходить до платформи кормовою частиною перпендикулярно до нафтової платформи.

З отриманих теоретичних даних, можемо розрахувати максимальні кути нахилу судна в процесі хитавиці для коректної роботи референс системи типу Fanbeam.

Хитавицю судна поділяють на три типи: кильова хитавиця, бортова хитавиця, вертикальна хитавиця.

Кильовою хитавицею називають коливальні рухи, що здійснюються судном навколо поперечної осі. Кильова качка виникає головним чином при русі судна поперек хвилі. При плаванні судна в розріз хвилі кильова качка представляє собою тільки вимушені коливання з періодом хвилі, що набігає.

Бортовою хитавицею називають коливальні рухи, що здійснюються судном проходячи навколо діаметральної площині поздовжньої осі судна. Вона викликається хвилюванням при положенні судна лагом до хвилі, тобто, паралельно гребням хвиль, або у разі косоного курсу до хвилі.

Вертикальною хитавицею називають коливальні рухи, що здійснюються судном у вертикальній площині вгору і вниз, які викликані зміною сил підтримки при проходженні хвилі під судном. Якщо гребінь хвилі знаходиться під середньою частиною, тобто, більш повної, ніж край, сила підтримки збільшується, і судно спливає. Коли під середньою частиною судна знаходиться підшва хвилі, сила підтримки зменшуються, і судно занурюється глибше.

Максимальні кути нахилу судна для коректної роботи Fanbeam для кожного судна є індивідуальними, тому що вони залежать від довжини судна, висоти встановлення Fanbeam, осадки судна, та місця розташування Fanbeam відносно діаметральної площині. Як правило, Fanbeam встановлюється по діаметральній площині судна, зверху навігаційного містка, розгорнутим у кормову частину судна, але ця система не є фіксована и також при необхідності може бути перенесена на крила навігаційного містка судна по необхідності і за наявності відповідного підключення.

Розглянемо максимальні кути для кожного типу хитавиці окремо.

При бортовій хитавиці (рис. 3) положення Fanbeam змінюється відносно стану спокою на висоту  $\Delta H_r$  відносно поверхні води та напрям лазерного сканеру на кут  $\theta_{r1}, \theta_{r2}$ . У нашому випадку  $H=25\text{м}$  стан завантаженого судна.

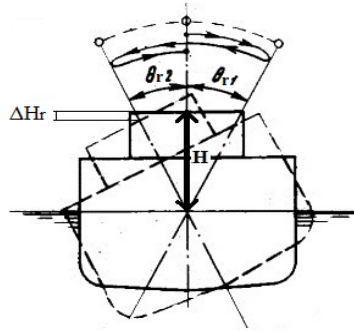


Рисунок 3 – Бортова хитавиця судна

Знаходимо  $\Delta H_r$  за наступною формулою:

$$\Delta H_r = H - H * \cos(\theta).$$

Таблиця 2 – Залежність зміни висоти Fanbeam від кута крену

Кут крену судна при бортовій хитавиці, °	Висота положення Fanbeam після нахилу, $\Delta H_r$ , м	Кут крену судна при бортовій хитавиці, °	Висота положення Fanbeam після нахилу, $\Delta H_r$ , м
1	0,004	9	0,308
2	0,015	10	0,380
3	0,034	11	0,459
4	0,061	12	0,546
5	0,095	13	0,641
6	0,137	14	0,743
7	0,186	15	0,852
8	0,243		

При вертикальній хитавиці положення Fanbeam змінюється відносно вертикальній площині вгору і вниз на висоту  $(\pm)\Delta H_h$ , та змінюється пропорційно тому, наскільки судно занурено в воду, або навпаки сплигло відносно спокійної води.

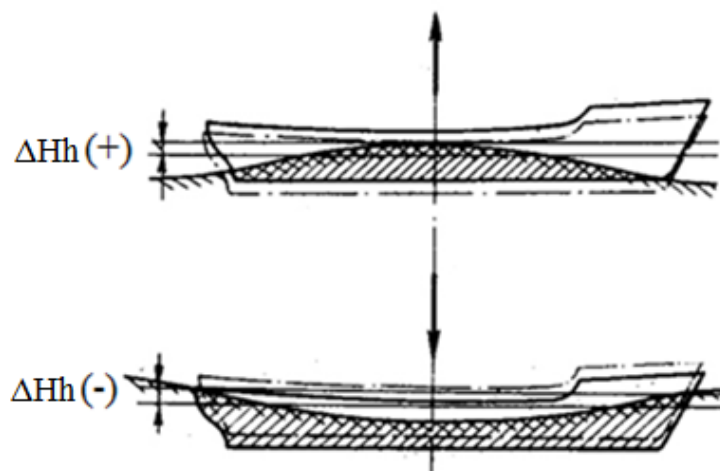


Рисунок 4 – Вертикальна хитавиця судна

При кильовій хитавиці положення Fanbeam змінюється відносно стану спокою на висоту  $\Delta H_p$  відносно поверхні води та напрям лазерного сканеру на кут  $\theta_1, \theta_2$ . У нашому випадку  $H=25\text{м}$  стан завантаженого судна. Також зміна  $\Delta H_p$  залежить від відстані встановлення Fanbeam від площини мідель-шпангоута, тобто, чим більша відстань Fanbeam від площини мідель-шпангоута тим зміна  $\Delta H_p$  буде більша та навпаки. Для того щоб знайти  $\Delta H_p$ , з початку потрібно знати наскільки далеко встановлен Fanbeam відносно площини мідель-шпангоута розташований у напрямку носу судна, та на якій висоті від поверхні води, коли судно знаходиться у стані спокою.

$$\Delta H_p = \frac{H}{\sin(\alpha p)} * \sin(\alpha p \pm \theta p);$$

$$\alpha p = \arctg\left(\frac{H}{L_f}\right),$$

де  $dH_p$  – зміна висоти Fanbeam при кильовій качці;  $L_f$  – положення Fanbeam відносно площини мідель-шпангоута (10 м);  $\alpha p$ – кут відхилення Fanbeam відносно поверхні води.

Таблиця 3 – Залежність зміни висоти Fanbeam від кута деференту судна

Кут деференту судна при кильовій хитавиці, °	Різниця висоти положення Fanbeam після нахилу, $H \pm \Delta H_p$ , м	Кут деференту судна при кильовій хитавиці, °	Різниця висоти положення Fanbeam після нахилу, $H - \Delta H_p$ , м
1	0,171	6	0,908
2	0,334	7	1,032
3	0,489	8	1,148
4	0,637	9	1,256
5	0,776	10	1,357

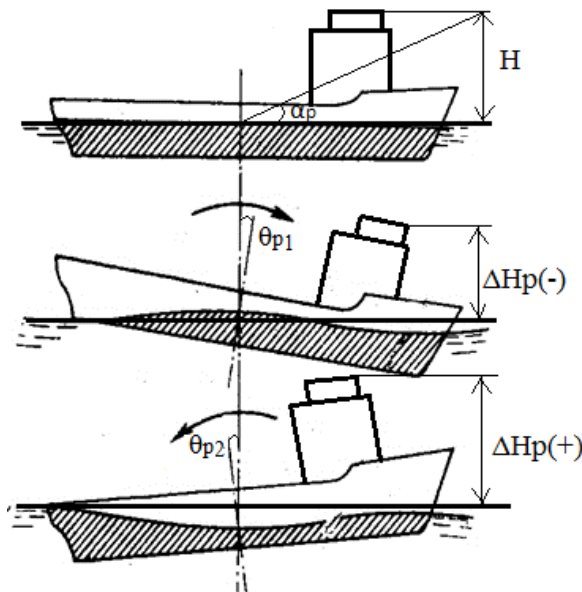


Рисунок 5 – Кильова хитавиця судна

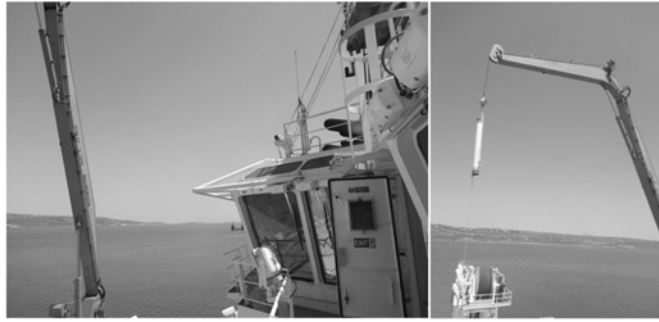


Рисунок 6 – Виконання практичної частини експерименту з підвішуванням рефлектору

Встановивши Fanbeam у нульове положення, щоб середина випромінюваного проміння була перпендикулярна поверхні води у спокійному стані, та увімкнули режим сканування цілей. Підвісили рефлектор типу відбивної трубки довжиною 1000 мм та діаметром 120 мм за допомогою палубного крану MACGREGOR на відстані 20 метрів так, щоб цент рефлектора був відповідно центра випромінювання Fanbeam. Усі вимірювання проводилися відносно центра рефлектора. Захватили ціль рефлектор у системі управління Fanbeam та переконались в стабільності сигналу та достовірності отриманих даних від рефлектора (рис. 7). Прийняли Fanbeam до ДП системи та також переконались у коректній роботі ДП системи з системою Fanbeam (рисунок 8). За допомогою векторного датчика обертання виробника «AOSP» вимірювали максимальні кути при яких Fanbeam працював стабільно у ДП системі. Максимально можливий кут для коректній роботі Fanbeam є приблизно  $8^\circ$  при піднятті та опусканні рефлектора, це ми можемо бачити з рис. 9 та 10.

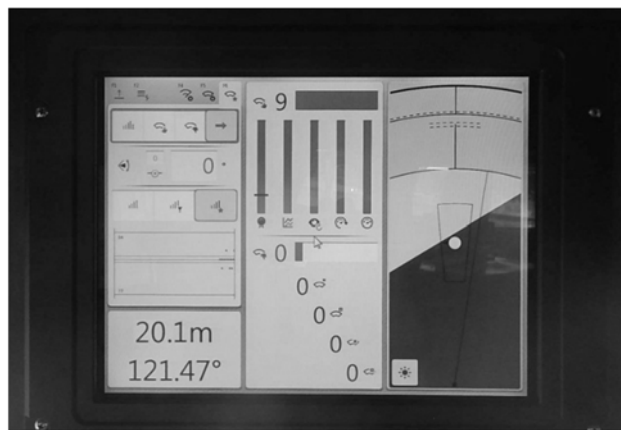


Рисунок 7 – Вікно системи управління Fanbeam

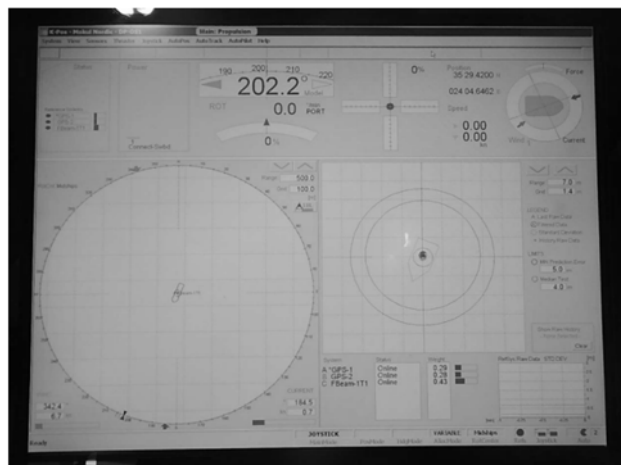


Рисунок 8 – Вікно управління ДП системи з коректною роботою Fanbeam

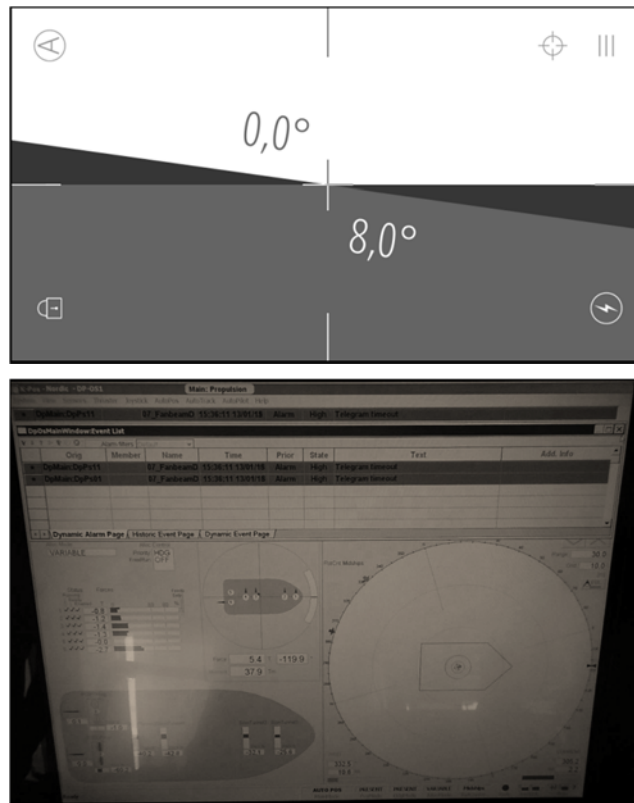


Рисунок 9 – Відхилення Fanbeam ДП системою при досягненні максимального кута при підйманні

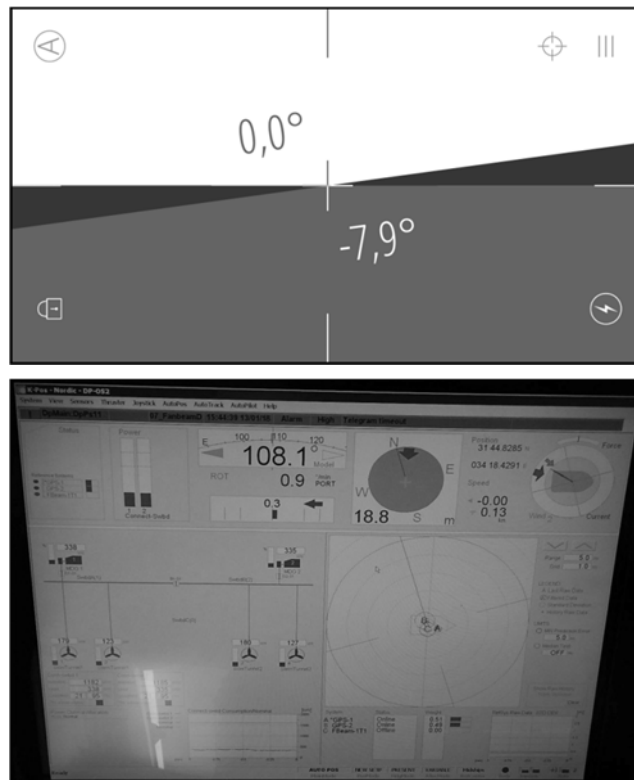


Рисунок 10 – Відхилення Fanbeam ДП системою при досягненні максимального кута при опусканні

**Висновки.** Таким чином, можна зробити висновки, що:

1. Кожен з видів качки може суттєво вплинути на стабільну роботу лазеро-оптичної системи опорного позиціонування Fanbeam.

2. При різних видах хитавиці судна використання Fanbeam, може призвести до відхилення її ДП систему якщо буде досягнутий кутовий ліміт.

3. Знання кутового ліміту Fanbeam дає можливість ДП оператору спрогнозувати ситуацію та розташувати своє судно щоб уникнути виходження рефлектора за кутовий ліміт, якщо є така можливість.

4. Коректна робота системи Fanbeam на кожному судні індивідуальна і залежить прямо від розмірів судна та розташування Fanbeam.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Снопков В. И. Управление судном / В. И. Снопков – М. : Транспорт, 2004. – 344 с.
2. Шарлай Г. Н. Управление морским судном: учебное пособие / Г. Н. Шарлай. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2010. – 509 с.
3. Fanbeam®4.2 OperatorsManual, Issue #1. 2011.
4. Kongsberg Maritime, Fanbeam 4.2, Combined Installation, Technical and Operations Manual, Issue #10, 2007.
5. The International Marine Contractors Association (IMCA) M 170 Part 1, A Review of Marine Laser Positioning Systems– MK IV Fanbeam, 2003.

## REFERENCES

1. Снопков В. И. Управление судном / В. И. Снопков – М. : Транспорт, 2004. – 344 с.
2. Шарлай Г. Н. Управление морским судном: учебное пособие / Г. Н. Шарлай. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2010. – 509 с.
3. Fanbeam®4.2 OperatorsManual, Issue #1. 2011.
4. Kongsberg Maritime, Fanbeam 4.2, Combined Installation, Technical and Operations Manual, Issue #10, 2007.
5. The International Marine Contractors Association (IMCA) M 170 Part 1, A Review of Marine Laser Positioning Systems– MK IV Fanbeam, 2003.

### **Моисеенко В. С. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ДИАПАЗОНОВ ЛАЗЕРО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПОРНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ FANBEAM ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВОЛНЕНИЯ МОРЯ**

*Во время проведения грузовых или других операций у оффшорных объектов суда-снабженцы должны занимать позиции, которые являются лучшими для проведения этих операций. Часто во время проведения операций позицию нужно менять и подходить к объекту на наименьшее возможное расстояние, что значительно повышает опасность столкновения с объектом. Это особенно важно во время плохой погоды при наличии качки. Поэтому определение и содержание позиции суда с наибольшей точностью есть предел необходимым.*

*В работе предложены принципы определения рабочих диапазонов, при использовании лазерно-оптической системы опорного позиционирования Fanbeam при различных условиях волнения моря.*

*В настоящее время системы динамического позиционирования работают на разных физических принципах, однако вопрос точности их измерения позиции суда, определения погрешностей этих измерений под влиянием волнения остаются актуальными.*

*В работе описаны основные виды качки судна а также определение структуры работы лазерно-оптической системы опорного позиционирования Fanbeam, что обеспечивает автоматическое управление и содержание позиции судна.*

*При наличии качки различных типов (бортовой, килевой и вертикальной, а также их комбинаций) поведение судна отличается и это также нужно принимать во внимание при исследовании работы лазерно-оптической системы опорного позиционирования Fanbeam. Это учтено при проведении исследований на борту судна.*

*Проведены исследования по подвешиванию рефлектора для определения максимально рабочего диапазона, и были обнаружены максимальные углы при которых ГП система корректно работала. Этим было смитированы наклон судна в процессе качки.*



*В результате исследованы установленные пределы углов наклона судна в различных плоскостях, при которых лазерно-оптической системы опорного позиционирования Fanbeam может нормально функционировать.*

*Особенность проведенных исследований заключается в том, что они дают возможность ГП оператору определить безопасное местоположение судна у нефтедобывающих платформ в плохих погодных условиях.*

**Ключевые слова:** Fanbeam, рефлектор, диапазон, качка, луч, ГП система, угол отклонения.

**Moiseienko V. DETERMINATION OF OPERATING RANGES OF THE LASER-OPTICAL SYSTEM OF REFERENCE POSITIONING OF FANBEAM UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF SEA CONDITIONS**

*When carrying out cargo or other operations near offshore facilities, the ship-suppliers must occupy positions that are best suited for these operations. Often during the operations, the position must be changed and approach the object at the least possible distance, which greatly increases the risk of collision with the object. This is especially important during bad weather when there is a hovering effect. Therefore, determining and maintaining the position of the vessel with the highest accuracy is an edge necessary.*

*The paper proposes the principles of determining the operating ranges when using the laser-optical reference positioning system Fanbeam under different conditions of sea waves.*

*Currently, dynamic positioning systems operate on different physical principles, but the question of the accuracy of their measurement of the position of the vessel, the determination of the errors of these measurements under the influence of excitement remain relevant.*

*The paper describes the main types of rolling vessel, as well as the definition of the structure of the laser-optical reference positioning system Fanbeam, which provides automatic control and hold the position of the vessel.*

*If there are different types of rolling (board, pitching and vertical, and their combinations) behavior of vessel is different and it also must be taken into account in the study of laser-optical reference positioning system Fanbeam. This has been taken into account when conducting research on board a vessel.*

*A study with the suspension of the reflector to determine the maximum operating range was carried out, and the maximum angles at which the DP system worked correctly were revealed. This was simulated with the slope of the vessel during the pitching.*

*As a result, the limits of the tilting angles of the vessel in different planes have been investigated, in which the laser-optical system of the positioning of the Fanbeam can function normally.*

*The peculiarity of the research is that they enable the DP operator to determine the safe location of the vessel near the oil platforms in bad weather conditions.*

**Keywords:** Fanbeam, reflector, range, rolling, ray, DP system, angleofdeviation.

© Мойсеєнко В. С.

Статтю прийнято  
до редакції 2.11.18