

ДИНАМІЧНЕ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СУДНА ПРИ ВІДХИЛЕННЯХ ПАРАМЕТРІВ УПРАВЛІННЯ, ВЕЛИЧИНА ЯКОГО ПОРІВНЯНА З ПОХИБКАМИ ЙОГО ВИЗНАЧЕННЯ

Мальцев А. С., д.т.н., професор Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: maltsev-as@nav.onma.edu.ua, ORCID: 0000-0002-2389-230X

Метою дослідження є вдосконалення методів визначення параметрів зовнішніх збурень від вітру, хвилювання і течії, що викликають зсув осі бура від заданого положення і формування коригуючих зусиль для приведення системи буріння у заданому стані.

Проаналізовано метод математичного моделювання процесу динамічного позиціонування бурового судна. У результаті встановлено, що він займає багато часу для виконання необхідних розрахунків по впливу вітру, хвилюванню і течії, внаслідок чого необхідна інформація запізнюється на час прийняття рішення по управлінню процесом коригування, що ускладнює позиціонування і зменшує його безпеку.

Запропоновано метод експертної оцінки визначення величини зносу бурового судна щодо заданої позиції буріння, яка визначена високоточними геодезичними способами і виміром поточного положення бура шляхом перерахунку координат супутникової антени на вісь бура. Це дозволяє виключити необхідність розрахунку величини зміщення від вітру, хвилювання і течії й істотно підвищує швидкодію системи позиціонування.

Стаття містить розробку оптимального методу оперативного розрахунку величини зміщення осі бура, під дією зовнішніх збурень, методом експертної оцінки і підвищення точності динамічного позиціонування. Результати досліджень можуть застосовуватися при розробці нових навігаційних систем і при навчанні в морських навчальних закладах.

Ключові слова: математичне моделювання; експертна оцінка; зовнішні обурення; бурове судно; зміщення осі бура; система позиціонування.

DOI: 10.33815/2313-4763.2019.2.21.016-025

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. При аналізі роботи бурового судна, який позиціонує в заданій точці, головну увагу дослідника викликає вплив на його положення з боку зовнішніх чинників і їх відпрацювання судновою системою динамічного позиціонування (ДП). Вплив зовнішніх факторів специфічно і пов'язане з наявністю на борту бурового обладнання. В першу чергу до нього віднесемо бурову вишку (надводне обладнання) і бурову колону (підводне обладнання). Перша змінює вітровий вплив на судно, друга викликає вплив течії. Робота систем динамічного позиціонування також специфічна і не завжди прозора для судноводія. Досвід роботи з системою досягається не відразу і вимагає вдумливого аналізу експлуатаційних випадків, що вимагають людського втручання, на що здатний не кожен судноводій.

Технічна документація розробників проекту судна з системами ДП зазвичай містить радіальні діаграми швидкостей вітру, при яких можливо утримання судна за допомогою його рушійного-рульового комплексу. Однак, як показує практика експлуатації бурових суден, граничні значення швидкостей вітру, при яких можлива безаварійна робота бурового судна, істотно менше тої, яка встановлюється технічною документацією розробників проекту систем динамічного позиціонування. Тому оцінка безпеки виконання динамічного позиціонування бурового судна є актуальною проблемою.

Свою специфіку мають також рушії, які працюють при утриманні бурового судна на точці: носові допоміжні пристрої (НДП) і поворотні гвинтові колонки (ПГК), які працюють у групі, що істотно змінює умови їх обтікання, створюючи складні скоси потоків на них, і зусилля, що розвиваються ними. Цю специфіку судноводій може освоювати інтуїтивно в робочому режимі, послідовно накопичуючи і вдосконалюючи досвід роботи з системою, що вимагає значного часу і певних практичних навичок.

Альтернативою суб'єктивності в питанні оцінки безпеки виконання динамічного позиціонування бурового судна може бути математичне моделювання системи (моделі судна, бурового обладнання, рушіїв, зовнішніх впливів, моделі спільної роботи) і

комп'ютерне оцінювання безпеки роботи на основі таких моделей. Нагальна потреба такого моделювання гарантує актуальність цього дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У роботі [1] описані принципи побудови, алгоритми експлуатації і правила використання технічних засобів динамічного позиціонування при виконанні бурових робіт. Однак такі дані можуть бути використані тільки для загального ознайомлення з принципами побудови систем позиціонування. У роботі [2] описані принципи організації робіт по використанню систем динамічного позиціонування при виконанні бурових робіт при добуванні газу та правила технічної експлуатації відповідного обладнання.

У роботі [3] приведена методика розрахунку вітрових навантажень на надводну частину бурового судна, значення яких використовується для вибору коригуючих зусиль при виборі величини компенсаційних управляючих дій для утримання бурового пристрою в заданій позиції. Однак величина хвильових сил, яка діє на надводну частину не розглядається, що значно знижує точність отриманих результатів.

У роботі [4] розглянуті способи покращання роботи технічних засобів за рахунок зміни складу їх елементів та удосконалення локальних зв'язків між ними, для оптимізації роботи системи.

У роботі [5] описані питання безпечної експлуатації суден під час бурових робіт та визначення граничних значень зовнішніх впливів для оцінки умов, при яких роботу можливо продовжувати.

У роботі [6] приведено програмне забезпечення для оцінки параметрів стану системи та вибору режиму позиціонування методом математичного моделювання. Однак приведений метод вимагає визначення параметрів зовнішніх впливів та розрахунок величини зсуву для вибору режиму коригування. Це вимагає затрат часу для виконання розрахунків, в результаті чого дані запізнюються до моменту прийняття рішення по коригуванню.

Через вказані причини необхідно прискорити момент отримання даних про недопустимий зсув для оперативного прийняття рішення по коригуванню управляючих впливів.

Формулювання мети статті, постановка задачі. Метою дослідження є оцінка безпеки виконання динамічного позиціонування бурового судна методами експертної оцінки. Для досягнення поставленої мети в дослідженні необхідно вирішити такі завдання:

- визначити геодезичними способами задані координати осі бурового пристрою;
- визначити високоточними способами місце супутникової приймальної антени судна;
- перерахувати координати супутникової антени на координати осі бурового пристрою;
- розробити модель, що описує вектор відхилення осі бурового пристрою від заданого;
- розробити модель, що описує роботу підрулюючих пристроїв, для формування вектора компенсації зсуву, шляхом створення рівнодіючої сили, яка дорівнює за величиною силі збурення і протилежна їй за напрямком;
- на підставі часткових моделей створити комплексну модель системи, що описує поведінку бурового судна в режимі динамічного позиціонування.

Об'єктом дослідження є бурове судно, оснащене системою динамічного позиціонування, яке працює в режимі утримання судна в точці буріння при зміні зовнішніх збурень. **Предметом дослідження** є розробка алгоритму коригування відхилення бурового судна, під дією зовнішніх збурень.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. При виконанні роботи застосовувався експериментально-теоретичний метод дослідження. Експериментальна розрахункова частина полягала в обробці результатів

експериментів по визначенню зміщення бурового пристрою від зовнішніх збурень високоточними способами щодо заданого положення осі бура.

При виконанні процесу коригування зміщення використовується два способи управління роботою керувальних пристроїв: ручний та автоматичний. При ручному способі виникає проблема зайнятості судноводія, який вибирає та реалізує алгоритм використання пультів управління пристроями.

Для вирішення проблеми використання зайнятості робочого часу судноводія, зазвичай [7] вводять критерій залежності ймовірності безпомилкового прийняття рішення по управлінню процесом і коефіцієнта завантаження судноводія рішенням навігаційних завдань. Коефіцієнт K_3 визначається виразом:

$$K_3 = t_p / \Delta t, \tag{1}$$

де t_p – час, необхідний для рішення визначеної задачі, наприклад при оцінці обстановки розходження суден і виконанні потрібних розрахунків з максимально можливою швидкістю; Δt задана дискретність рішення задачі або час, який має судноводій.

Таку залежність характеризують графіком, приведеним на рис. 1.

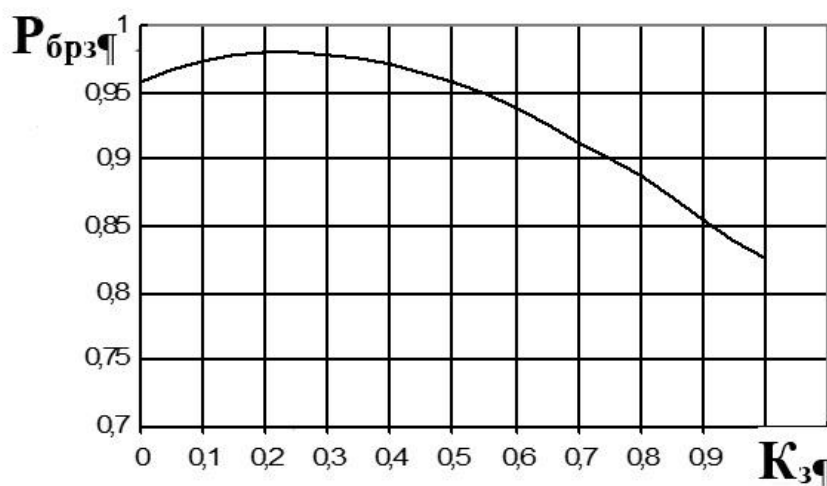


Рисунок 1 – Залежність $P_{брз}$ від коефіцієнту K_3 , $P_{брзmax} = 0,981$, $K_3 = 0,26$.

З графіка видно, що максимальне значення ймовірності безпечного рішення задачі (РБРЗ) рівно 0,981 при оптимальному коефіцієнті зайнятості судноводія $K_{3opt} = 0,26$. Представимо зв'язок цих величин у табл. 1 виведення результатів розрахунку $P_{брз} = f(K_3)$.

При класичному контролі над рухом судна і виконанні операцій зі зняття відліку приладу визначення місця, нанесення на карту і прийняття рішення щодо коригування руху, якщо з'явилось відхилення, займає близько 2-х хвилин.

Таблиця 1 – Залежність безпомилкового прийняття рішення від зайнятості судноводія

$P_{брз}$	0,958	0,973	0,978	0,981	0,978	0,971	0,957	0,939	0,912	0,888	0,855	0,825
K_3	0	0,1	0,2	0,26	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Таким чином, для забезпечення безпомилкового вирішення навігаційних завдань при коригуванні відхилення бура з ймовірністю 0,95, як того вимагається рекомендаціями ММО, то дискретність контролю відхилення на підставі рис. 1 дорівнює коефіцієнту запасу $K_3 = 0,26$. Час на візуальне визначення відхилення буру і прийняття рішення складає 5 с, оптимальний інтервал часу для контролю відхилення – $\Delta t = t_p / K_3 = 0,083 / 0,26 = 19,1$ с.

Скорочення раціонального інтервалу часу Δt призведе до зменшення ймовірності

Р_{брз}. У разі використання ЕКНІС раціональна дискретність контролю обстановки складає $\Delta t \approx 5$ хв. У проміжках між операціями на ЕКНІС вахтовий помічник може виконувати інші свої функції. Однак, перед поворотом або при зближенні з іншими суднами спостереження повинні проводитися частіше, а при виконанні динамічного позиціонування навіть безперервно.

Через ці особливості потрібна висока точність попереднього планування координат осі буру геодезичними методами, автоматизація обробки інформації для забезпечення швидкодії всієї системи управління пристроями утримання судна в позиції буріння.

При виконанні вимірювань параметрів руху кожний із них визначається з певною похибкою, яка, зазвичай, приводиться в паспортних даних навігаційного приладу. Однак при подальшому використанні даних параметрів до них добавляється спадкова похибка процесу розрахунку.

Аналіз спадкових похибок результатів обчислень, які приведені в табл. 2, в роботах [8, 9] були зроблені наступні висновки відносно способів зменшення їх значення. Відомо, що похибки, в залежності від їх походження, розглядають як інструментальні, методичні і спадкові. Інструментальні похибки визначаються точністю приладів, які вимірюють даний параметр. Методичні похибки обумовлені використанням спеціальних чисельних методів при розрахунку різних функцій – тригонометричних, логарифмічних і т.д. Спадкові похибки виникають через їх трансформацію вихідних даних при виконанні обчислень. При цьому розповсюдження спадкових похибок при виконанні обчислюваних процедур здійснюється за певними закономірностями [8, 9], які наведені в табл. 2.

На підставі аналізу закономірностей формування похибок встановлено:

- при складанні чи відніманні довгої послідовності чисел потрібно спочатку оперувати з найменшими по модулю числами;
- потрібно уникати складання чисел, які відрізняються на декілька порядків;
- для зменшення похибок округлення чисел, проміжкові дії рекомендується виконувати, зберігаючи після коми на 1–2 знака більше, чим необхідно в результаті.

Таблиця 2 – Розповсюдження спадкових похибок при обчисленнях

<i>Операція обчислення</i>	<i>Вигляд функції</i>	<i>Абсолютна похибка</i>	<i>Відносна похибка</i>
Складання	x_1+x_2	$\Delta x_1 + \Delta x_2$	$(\Delta x_1+\Delta x_2)/ x_1+x_2 $
Віднімання	x_1-x_2	$\Delta x_1 + \Delta x_2$	$(\Delta x_1+\Delta x_2)/ x_1-x_2 $
Множення	$x_1 \times x_2$	$\Delta x_1 \times x_2 + \Delta x_2 \times x_1 $	$\Delta x_1/ x_1 + \Delta x_2/ x_2 $
Розподіл	x_1/x_2	$(\Delta x_1 \times x_2 + \Delta x_2 \times x_1) / x_2$	$\Delta x_1/ x_1 + \Delta x_2/ x_2 $
Зведення у ступінь	X^n	$\Delta x \times n \times x ^{n-1}$	$ n \times \Delta x/ x $

Це питання важливо тому, що при використанні систем ППР ми зобов'язані призначити допустиму величину параметру, при значенні якого система повинна коригувати фактичне значення до планових значень. Проблема виникає тоді, коли відхилення параметра від планової величини дорівнює чи близько по значенню похибці вимірювань та обчислень.

Тому, перед початком бурових робіт необхідно визначити задані координати точки буріння геодезичними способами, значення яких залишається незмінним протягом всього часу виконання бурових робіт в даній точці.

Для визначення величини відхилення осі бура від потрібного положення необхідно визначити координати місця супутникової антени судна високоточними способами, використовуючи диференційний режим. При цьому точність повинна бути близькою до геодезичних способів.

Після того як визначили місце супутникової антени судна, її координати необхідно перерахувати на вісь бура, як приведено на рис. 2.

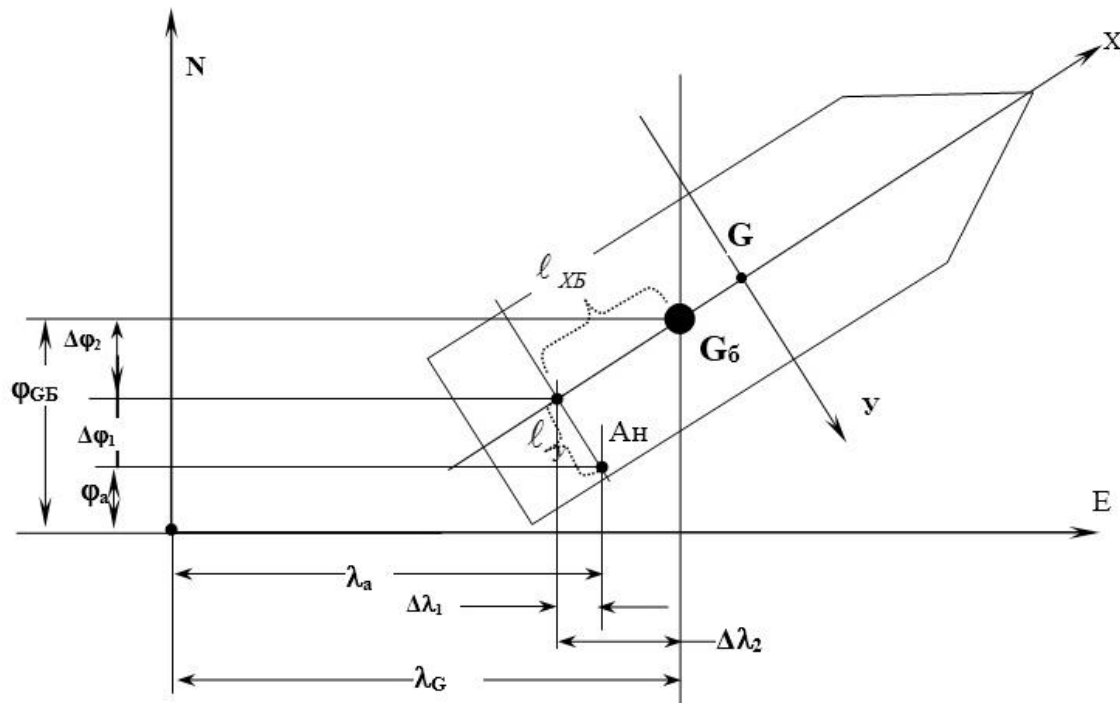


Рисунок 2 – Приведення координат антени до осі бура

Геометричний аналіз алгоритму розрахунку поправок координат при перерахунку показав, що їх величина не являється постійною [10]. Вона міняється в залежності від координат супутникової антени, місця її розташування на судні та текучого значення курсу.

Координати ЦБ φ_{GB} и λ_{GB} розраховуються по φ_a и λ_a при курсі K в діапазоні $0^\circ \leq K \leq 90^\circ$, з урахуванням рис. 2, при умові $\varphi_a \geq 0$, $\lambda_a \geq 0$, за наступними залежностями:

$$\varphi_G = \varphi_a + \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 = \varphi_a + \Delta\varphi_G \text{ і } \lambda_G = \lambda_a - \Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2 = \lambda_a + \Delta\lambda_G, \quad (2)$$

де $\Delta\lambda_1$ – проекція відстані точки розташування антени A_n від ДП, в милях; $\Delta\lambda_2$ – проекція відстані точки розташування антени від центра бура (ЦБ), у милях; $\Delta\varphi_1$ – проекція відстані точки розташування антени від ДП на вісь φ , у милях; $\Delta\varphi_2$ – проекція відстані точки розташування антени від ЦБ на вісь φ , у милях; $\Delta\lambda_G$ и $\Delta\varphi_G$ – поправки координат ЦБ.

У розвернутому вигляді рівняння (2) можна записати так:

$$\Delta\lambda_1 = l_y \cdot \cos K; \Delta\lambda_2 = l_x \cdot \sin K, \quad (3)$$

$$\Delta\varphi_1 = l_y \cdot \sin K; \Delta\varphi_2 = l_x \cdot \cos K. \quad (4)$$

Тоді, після підстановки (3) і (4) в (2) отримаємо текучі координати буру:

$$\lambda_{GB} = \lambda_a - l_y \cdot \cos K + l_{xB} \cdot \sin K \quad (5)$$

$$\varphi_{GB} = \varphi_a + l_y \cdot \sin K + l_{xB} \cdot \cos K \quad (6)$$

Після того як текучі координати буру визначені можна приступати до автоматичного розрахунку величини зсуву між заданими геодезичними координатами φ_r, λ_r і текучими $\varphi_{GB}, \lambda_{GB}$ за такими формулами:

$$PД = \lambda_{GB} - \lambda_{Г}. \quad (7)$$

$$PШ = \varphi_{GB} - \varphi_{Г}. \quad (8)$$

Значення меридіональних частин в екваторіальних хвилинах для еліпсоїда Красовського може бути обчислено за формулою:

$$MЧ = 3437,7468 \cdot \ell n \left\{ \operatorname{tg} (45^{\circ} + \varphi / 2) \left(\frac{1 - e \cdot \sin \varphi}{1 + e \cdot \sin \varphi} \right)^{e/2} \right\}, \quad (9)$$

де $MЧ$ – меридіональна частина паралелі φ , екв. хв.; φ – географічна широта; e – ексцентриситет земного еліпсоїда.

Найменування $MЧ$ однаково з найменуванням широти φ . Для отримання різниці меридіональних частин ($PMЧ$) необхідно розрахувати $MЧ_{GB}$, потім $MЧ_{Г}$, і після цього алгебраїчну різницю:

$$PMЧ = MЧ_{GB} - MЧ_{Г}, \quad (10)$$

Найменування $PMЧ$ вказується від $MЧ_{Г}$ до $MЧ_{GB}$, тобто відповідає найменуванню $PШ$. Напрямок знесення IK_3 розраховують за формулою:

$$\operatorname{tg} IK_3 = \frac{\lambda_{GB} - \lambda_{Г}}{PMЧ}. \quad (11)$$

Напрямок знесення отримують у четвертному рахунку і для перерахунку в круговий необхідно враховувати, що перша буква чверті відповідає найменуванню $PШ$, а друга $PД$. Тоді напрям вектора рівнодіючої коригуючих сил IK_{kop} можна розрахувати по залежності:

$$IK_{kop} = IK_3 + 180^{\circ}. \quad (12)$$

Величину зсуву визначають за формулою:

$$d_{\text{тек}} = PШ \cdot \sec IK_3. \quad (13)$$

Розрахунки за наведеними формулами (5)–(13) мають ту особливість, що обчислення відбуваються в районі понад малих відстаней, які вимагають розрахунків до десятитисячних доль хвилини. Цю вимогу необхідно виконувати для того, щоб зменшити обчислювальні похибки до мінімуму після округлення результатів. Оскільки значення $MЧ$ в таблиці МТ 2000 дано з точністю до 0,1 екваторіальної хвилини, то необхідно проводити розрахунок $MЧ$ за формулою (9) з точністю до п'ятого знака, з наступним округленням останньої цифри.

Для полегшення роботи оператора по управлінню коригуванням відхилення бура і підвищення наочності процесу управління необхідно ввести в склад пульта управління індикатор, який зображає відхилення осі бура від геодезичних координат точки буріння. Вісь буде знаходитися в центрі, з характерними колами, радіус яких буде дорівнювати радіальній СКП похибки визначення положення осі бура M_0 та допустимому відхиленню бура за рахунок зовнішніх впливів $d_{\text{дон}}$, при якому буровий пристрій зберігає свою робочу здатність, як показано на рис. 3.

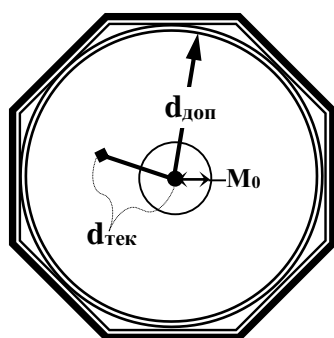


Рисунок 3 – Індикатор зсуву

Для перевірки роботи комп’ютерної програми зробимо розрахунок контрольного прикладу вручну, при значенні $d_{доп} = 10м$.

При роботі судна в координатах $\varphi_{Г}=20^{\circ}14,6000' S$, $\lambda_{Г}=5^{\circ}22,7000' W$ отримали місце з використанням супутникової системи в диференційному режимі з радіальною СКП рівною $\pm 1м$ і $\varphi_{ГБ} = 20^{\circ}14,605' S$, $\lambda_{ГБ} = 5^{\circ}22,703' W$

Для того, щоб показати порядок величин, з якими автоматичному пристрою доведеться працювати, розглянемо контрольний приклад з гранично малим відхиленням. Результати виконаних розрахунків наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Розрахунок малих значень параметрів зносу зовнішніми впливами

$\lambda_{ГБ} = 5^{\circ}22,703' W$		$\varphi_{ГБ} = 20^{\circ}14,605' S$		$МЧ_{ГБ} = 1432,705'$	
$\lambda_{Г} = 5^{\circ}22,7000' W$		$\varphi_{Г} = 20^{\circ}14,6000' S$		$МЧ_{Г} = 1432,7'$	
$\lambda_{ГБ} - \lambda_{Г}$	$0^{\circ}0,003' K W$	РШ	$0^{\circ} 0,005' K S$	РМЧ	$= 0,005' K S$
$\lambda_{ГБ} - \lambda_{Г}$	$0,003' K W$	РШ	$0, 005' K S$		
Напрямок зносу IK_c					
РД	$0,003 K W$	$lg = -2,5229$			
РМЧ	$0,005' K S$	$lg = -2,3010$			
IK_3	$30^{\circ}53'$	$lg tg IK_3$	$-0,2219$		
IK_3	$210^{\circ}53'$	$tg IK_3$	$0,598$		
Розрахунок відстані зносу $d_{тек}$					
РШ	$0, 005' K S$	$lg = -2,3010$		Оскільки $d_{тек} > M_0$ то це означає, що відбулося недопустиме відхилення і коригування потрібне	
IK_c	$210^{\circ}53'$	$lg sec IK_c = -0,0614$			
$d_{тек}$	$0,005' = 9.3м$	$lg d_{тек}$	$-2,3624$		

Безперервний моніторинг зміщення автоматично дозволяє своєчасно оцінити неприпустиме зміщення щодо планових координат буру, визначених високоточним геодезичним способом, та компенсувати вплив зовнішніх збурень для безпечного виконання бурових робіт.

Оскільки потрібне коригування пристроєм динамічного позиціонування, то необхідно виконати розрахунок напрямку і величини вектора компенсуючого впливу. Напрямок вектору сили визначається по формулі (12). Для формування величини сили, необхідної для адекватного реагування на величину впливу зовнішніх факторів, необхідно розробити спеціальний пристрій. Формалізована модель такого пристрою залежить від типу рушійного-рульового комплексу, який установлений на судні, тому заздалегідь синтезувати

його на всі типи силових установок неможливо. Тому це питання потребує окремого розгляду і не являється предметом дослідження в даній роботі.

Висновки і перспектива подальшої роботи в даному напрямку. Розроблені методи оцінки безпечного виконання динамічного позиціонування бурового судна способами експертної оцінки відрізняються від відомих, які використовують математичне моделювання, тим що відпадає необхідність виміряти параметри зовнішніх збурень та розраховувати їх величину. Подальші розрахунки вимагають часу, якого обмаль, у результаті втрачається оперативність і визначення команди на пристрої позиціонування запізнюється до моменту прийняття рішення.

Подальший напрямок досліджень полягає в необхідності підвищення точності визначення текучого місця осі бура, скорочення спадкових похибок обчислень та розробці системи формування коригуючих зусиль для компенсації зовнішніх впливів.

Результати досліджень можуть застосовуватися при розробці нових навігаційних систем і при навчанні в морських навчальних закладах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Hubert, Fay (1990). *Dynamic Positioning Systems. Principles. Design and Applications*. Editions OPHRYS.
2. РД 51-10. – 98. Организация службы динамического позиционирования. РАО «Газпром». 2009. 182 с.
3. Барахта А. В., Юдин Ю. И., Пашенцев С. В. Расчет ветровых нагрузок на буровую вышку бурового судна. *Эксплуатация морского транспорта*. 2010. № 3 (61). С. 40–42.
4. Барахта А. В., Юдин Ю. И. Структура и принципы работы систем динамического позиционирования. *Вестник МГТУ : Труды Мурман. гос. техн. ун-та*. 2009. Т. 12, № 2. С. 255–258.
5. Юдин Ю. И., Барахта А. В. Проблемы обеспечения функционирования, безопасности и качества при эксплуатации судов с динамическими системами управления. *Вестн. МГТУ : Труды Мурман. гос. техн. ун-та*. 2009. Т. 12, № 2. С. 259–262.
6. Оценка безопасности функционирования буровых судов на точке : св-во об офиц. рег. прогр. для ЭВМ № 2011610166. Рос. Федерация / С.В. Пашенцев, А.В. Барахта, А.Ю. Юдин; правообладатель ФГОУ ВПО «Мурман. гос. техн. ун-т». №2011610166 ; зарег. 11.01.2011.
7. Кушнарев А. Г., Михальский В. А. Проблемы оценки навигационной безопасности плавания кораблей. *Программные продукты и системы*. Санкт-Петербург : Изд-во ГИИНТИ. 2016. № 1 (11). С. 51–55. doi: 10.15827/0236-235X.113.051-055.
8. Пристрій для інформаційного забезпечення лоцманської проводки морського судна : Пат. 78679 Україна, МПК G08G 3/00, B63B 49/00. / А. С. Мальцев, І. І. Ворохобін, В. В. Голюков, В. І. Соколенко. № u 2012 11569; заявл. 08.10.2012 ; опубл. 25.03.2013, Бюл. № 6.
9. Соколенко В. И. Система поддержки принятия решения при движении морского судна в стесненных условиях. *Материалы XX Международной конференции по автоматическому управлению*, 25-27 сентября 2013 г. Николаев : НУК, 2013. С. 256.
10. Maltsev S. E., Maltsev A. S., Sokolenko V. I. The navigation device for converting the coordinates of the satellite antenna of the vessel to the center of gravity. Навигационное устройство пересчета координат спутниковой антенны судна на центр тяжести. *Судовождение : сб. научн. трудов*. Одесса: ИздатИнформ, 2018. Вып. 28. С. 210–221.

REFERENCES

1. Hubert Fay. (1990). *Dynamic Positioning Systems. Principles. Design and Applications*. Editions OPHRYS.
2. RD 51-10. – 98. (2009). Organizaciya sluzhbih dinamicheskogo pozicionirovaniya. RAO «Gazprom».
3. Barakhta, A. V., Yudin, Yu. I. & Pashencev, S. V. (2010). Raschet vetrovihkh nagruzok na burovuyu vihshku burovogo sudna. *Ehkspluataciya morskogo transporta*, 3 (61), 40–42.
4. Barakhta, A. V. & Yudin, Yu. I. (2009). Struktura i principih rabotih sistem dinamicheskogo pozicionirovaniya. *Vestnik MGTU : Trudi Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, V.12, № 2, 255–258.
5. Yudin, Yu. I. & Barakhta, A. V. Problemi obespecheniya funkcionirovaniya, bezopasnosti i kachestva pri ehkspluatacii sudov s dinamicheskimi sistemami upravleniya. *Vestnik MGTU : Trudi Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, V.12, № 2, 259–262.
6. Ocenka bezopasnosti funkcionirovaniya burovihkh sudov na tochke : svidetelstvovo № 2011610166. Ros. Federaciya / С. В. Pashencev, А. V. Barakhta, А. Yu. Yudin; pravoobladatelj FGOU VPO «Murman. gos. tekhn. un-t»b, zareg. 11.01.2011.
7. Kushnarev, A. G. & Mikhaljskiyj, V. A. (2016). Problemih ocenki navigacionnoj bezopasnosti plavaniya korableyj. *Programmnihe produktih i sistemih*. Sankt-Peterburg: Izd-vo GIINTI, 1 (11), 51–55. doi: 10.15827/0236-235X.113.051-055
8. *Prystrij dlia informatsiinoho zabezpechennia lotsmanskoi provodky morskoho sudna* : patent 78679 Ukraina, MPK G08G 3/00, V63V 49/00. ; Maltsev A. S., Vorokhobin I. I., Holikov V. V., Sokolenko V. I. ; # U 2012 11569; zaiavl. 08.10.2012; opubl. 25.03.2013. Biul. # 6.
9. Sokolenko, V. I. (2013). Sistema podderzhki prinyatiya resheniya pri dvizhenii morskogo sudna v stesnennihkh usloviyakh. *Materialih XX Mezhdunarodnoj konferencii po avtomaticheskomu upravleniyu*. Nikolaev : NUK, 256.
10. Maltsev, S. E., Maltsev, A. S. & Sokolenko, V. I. (2018). The navigation device for converting the coordinates of the satellite antenna of the vessel to the center of gravity. *Sudovozhdenie : Sbornik nauchnikh trudov*, V. 28 Odessa : «IzdatInform», 210–221.

Мальцев А. С. ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ СУДНА ПРИ ОТКЛОНЕНИЯХ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ, ВЕЛИЧИНА КОТОРЫХ СРАВНИМА С ПОГРЕШНОСТЬЮ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Целью исследования является совершенствование методов определения параметров внешних возмущений от ветра, волнения и течения, вызывающих смещение оси бура от заданного положения и формирования корректирующих усилий для приведения системы бурения в заданное состояние.

Выполнен анализ метода математического моделирования процесса динамического позиционирования бурового судна. В результате установлено, что он занимает много времени для выполнения необходимых расчетов во воздействие ветра, волнения и течения, вследствие чего необходимая информация запаздывает ко времени принятия решения по управлению процессом корректировки, что усложняет позиционирование и уменьшает его безопасность.

Предложен метод экспертной оценки определения величины сноса бурового судна относительно заданной позиции бурения, которая определена высокоточными геодезическими способами и измерение текущего положения бура путем пересчета координат спутниковой антенны на ось бура. Это позволяет исключить необходимость расчета величины смещения от ветра, волнения и течения и существенно повышает быстродействие системы позиционирования.

Статья содержит разработку оптимального метода оперативного расчета величины смещения оси бура, под действием внешних возмущений, методом экспертной оценки и повышение точности динамического позиционирования. Результаты исследований могут применяться при разработке новых навигационных систем и при обучении в морских учебных заведениях.

Ключевые слова: математическое моделирование; экспертная оценка; внешние возмущения; буровое судно; смещение оси бура; система позиционирования.

Maltsev A. S. DYNAMIC SHIP POSITIONING IN DECLINING OF THE CONTROL PARAMETER, THE QUANTITY OF WHICH IS COMPARABLE WITH THE ERRORS OF ITS DETERMINATION

The aim of the study is to improve methods for determining the parameters of external disturbances of wind, waves and currents, causing the drill axis to shift from a given position and to form corrective forces to bring the drilling system to a predetermined state.

The analysis of the method of mathematical modeling of the process of dynamic positioning of a drilling vessel has been carried out. As a result, it has been found that it takes a lot of time to perform the necessary calculations on the effects of wind, waves and currents, as a result of which the necessary information is late by the time the decision is made to manage the adjustment process, which complicates positioning and reduces its safety.

A method for expert evaluation of determining the drift value of a drilling vessel relative to a given drilling position, which is determined by high-precision geodetic methods and measuring the current position of the drill by converting the coordinates of the satellite antenna to the drill axis, is proposed. This eliminates the need to calculate the amount of displacement from the wind, waves and currents and significantly increases the speed of the positioning system.

The methods of estimation of safe performance of dynamic positioning of a drilling vessel by methods of expert estimation differ from the known ones that use mathematical modeling, in that there is no need to measure the parameters of external perturbations and to calculate their magnitude. Further calculations take time, which is not enough, as a result, the efficiency is lost and the determination of the command on the positioning device is delayed until the decision is made.

A further direction of research is the need to improve the accuracy of determining the current location of the storm axis, to reduce hereditary errors of calculations, and to develop a system of forming corrective efforts to compensate for external influences.

The research findings can be applied to the development of new navigation systems and to training in maritime schools.

Keywords: *mathematical modeling; expert review; external disturbances; drilling vessel; drill axis offset; positioning system.*

© Мальцев А. С.

Статтю прийнято
до редакції 30.09.19