

УДК 656.61.052.4

Ю.Г. Мусинов, инженер-судоводитель*Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**yuriymusinov@rambler.ru***ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ СУДОВ СНАБЖЕНИЯ ФЛОТА ШЕЛЬФА, ОБОРУДОВАННЫХ СИСТЕМОЙ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

Производится теоретический анализ с использованием математического моделирования пропульсивных комплексов среднеразмержного судна флота шельфа для определения количества и расположения движителей, необходимых для сохранения маневренности и способности судна противостоять воздействиям окружающей среды.

Ключевые слова: динамическое позиционирование, движительно-рулевой комплекс, судно снабжения, флот шельфа.

В настоящее время на судах флота шельфа применяются различные виды движительно-рулевых комплексов, проектируемые и сводимые в отдельные конфигурации. Основное требование, предъявляемое к таким судам, состоит в выборе минимального их количества, соответствующего требуемому классу динамического позиционирования. Вследствие структурных особенностей специализированных судов размеры движительно-рулевых комплексов (ДРК) обычно строго определены. Это ограничение вместе с желанием минимизировать количество ДРК на сколько это возможно поставило вопрос о необходимой максимальной плотности ДРК. И хотя увеличение плотности движителей ведет к снижению их суммарной эффективности, касательно судов, оборудованных системами динамического позиционирования (СДП), этот вопрос остается неизбежной необходимостью.

В ходе анализа последних публикаций выявлен ряд исследований, основанных на создании компьютерных моделей судна, разработанных отдельными программами и приложениями [1], с их последующим применением в условиях суммарного воздействия от осредненных параметров ветра, волн и течения, приближенных к реальным значениям [2].

Целью данной статьи является теоретическое определение критериев оптимальной конфигурации ДРК на математической модели и ее сравнение с существующими конфигурациями судов снабжения флота шельфа, оборудованных СДП различных классов.

Надежные и эффективные ДРК особо необходимы для управления судном. Выбор необходимых для судна ДРК зависит от следующих критериев:

- размер судна;
- назначение судна;
- географический район эксплуатации судна.

При этом предиктивным методом задания количества и расположения ДРК остается использование компьютерной модели судна и как следствие расчет необходимых контр усилий сопротивления силам воздействия внешней среды.

Рассмотрим математическую модель выбора необходимой конфигурации с силами F_x , F_y и моментом M , производимыми n -ным количеством выбранных ДРК с координатами i -го ДРК — x_i и y_i [1]:

$$F_x = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{\mathbf{F}}_{x_i} \quad (1)$$

$$F_y = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{\mathbf{F}}_{y_i} \quad (2)$$

$$M = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot \overrightarrow{\mathbf{F}}_{y_i} - y_i \cdot \overrightarrow{\mathbf{F}}_{x_i}). \quad (3)$$

Перепишем уравнения (1) и (2) с учетом $(F_x)_n$ и $(F_y)_n$ как функции от остальных сил. После преобразования уравнения примут следующий вид:

$$\overrightarrow{\mathbf{F}}_{x_n} = F_x - \sum_{i=1}^{n-1} \overrightarrow{\mathbf{F}}_{x_i}$$

$$\overrightarrow{\mathbf{F}}_{y_n} = F_y - \sum_{i=1}^{n-1} \overrightarrow{\mathbf{F}}_{y_i}$$

Подставляя в уравнение (3), получаем:

$$\begin{aligned} M &= \sum_{i=1}^{n-1} (-y_i \cdot \overleftarrow{\epsilon_{x_{i-1}}} + x_i \cdot \overleftarrow{\epsilon_{y_{i-1}}}) + x_n \cdot \left(F_y - \sum_{i=1}^{n-1} \overleftarrow{\epsilon_{y_{i-1}}} \right) - y_n \cdot \left(F_x - \sum_{i=1}^{n-1} \overleftarrow{\epsilon_{x_{i-1}}} \right) = \\ &= \sum_{i=1}^{n-1} \overleftarrow{\epsilon_{y_{i-1}}} - y_i \cdot \overleftarrow{\epsilon_{x_{i-1}}} + x_i \cdot \overleftarrow{\epsilon_{y_{i-1}}} - y_n \cdot F_x + x_n \cdot F_y. \end{aligned} \quad (4)$$

Теперь предположим, что $x_n \neq x_{n-1}$ и перепишем (4), выразив $\overleftarrow{\epsilon_{y_{n-1}}}$, как функцию от остальных сил:

$$\begin{aligned} \overleftarrow{\epsilon_{y_{n-1}}} &= \frac{M + y_n \cdot F_x - x_n \cdot F_y - \sum_{i=1}^{n-1} \overleftarrow{\epsilon_{y_{i-1}}} - y_i \cdot \overleftarrow{\epsilon_{x_{i-1}}} - \sum_{i=1}^{n-2} \overleftarrow{\epsilon_{x_{i-1}}} - x_i \cdot \overleftarrow{\epsilon_{y_{i-1}}}}{x_{n-1} - x_n} = \\ &= \underbrace{\frac{M + y_n \cdot F_x - x_n \cdot F_y}{x_{n-1} - x_n}}_C + \sum_{i=1}^{n-1} \underbrace{\left(\frac{y_i - y_n}{x_{n-1} - x_n} \cdot \overleftarrow{\epsilon_{x_{i-1}}} \right)}_{C_1(i)} + \sum_{i=1}^{n-2} \underbrace{\left(\frac{x_n - x_i}{x_{n-1} - x_n} \cdot \overleftarrow{\epsilon_{y_{i-1}}} \right)}_{C_2(i)}, \end{aligned}$$

где C – часть поперечной составляющей $(n-1)$ -го ДРК; $C_1(i)$ – часть поперечной составляющей $(n-1)$ -го ДРК, как коэффициент от $(n-1)$ -ых продольных составляющих; $C_2(i)$ – часть поперечной составляющей $(n-1)$ -го ДРК, как коэффициент от $(n-2)$ -ых поперечных составляющих.

С учетом постоянных уравнение примет следующий вид:

$$\overleftarrow{\epsilon_{y_{n-1}}} = C + \sum_{i=1}^{n-1} C_1(i) \cdot \overleftarrow{\epsilon_{x_{i-1}}} + \sum_{i=1}^{n-2} C_2(i) \cdot \overleftarrow{\epsilon_{y_{i-1}}};$$

Аналогично для $(F_y)_n$:

$$\overleftarrow{\epsilon_{y_{n-1}}} = F_y - \sum_{i=1}^{n-2} \overleftarrow{\epsilon_{y_{i-1}}} + C_2(i) \cdot \overleftarrow{\epsilon_{y_{i-1}}} - C - \sum_{i=1}^{n-1} C_1(i) \cdot \overleftarrow{\epsilon_{x_{i-1}}}.$$

Для полученной конфигурации необходимо принять условия, при которых суммарная работа ДРК будет минимальна. Формула для общей работы будет выглядеть следующим образом:

$$f(\overleftarrow{\epsilon_{x_1}}, \dots, \overleftarrow{\epsilon_{x_{n-1}}}, \overleftarrow{\epsilon_{y_1}}, \dots, \overleftarrow{\epsilon_{y_{n-2}}}) = \sum_{i=1}^n \sqrt{\overleftarrow{\epsilon_{x_{i-1}}}^2 + \overleftarrow{\epsilon_{y_{i-1}}}^2}.$$

Для упрощения данного выражения необходимо найти силы, при которых частные производные от мощности равны нулю. Это можно выразить в виде системы:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial \overleftarrow{\epsilon_{x_1}}} &= 0, \\ \dots \\ \frac{\partial f}{\partial \overleftarrow{\epsilon_{x_{n-1}}}} &= 0, \\ \frac{\partial f}{\partial \overleftarrow{\epsilon_{y_1}}} &= 0, \\ \dots \\ \frac{\partial f}{\partial \overleftarrow{\epsilon_{y_{n-2}}}} &= 0. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Данная математическая модель была применена в среде MatLab для судна с длиной 100 м и шириной 20 м. Все ДРК были установлены симметрично относительно ДП, и их моменты считались относительно центра тяжести модели. Были приложены следующие силы: ветер ($F_x = 3$ Н, $F_y = 8$ Н), волны ($F_x = 7$ Н, $F_y = 7$ Н), течение ($F_x = -5$ Н, $F_y = 5$ Н). Все они были приложены к центру тяжести судна, поэтому их собственными моментами можно пренебречь. Требуемая результирующая сила движения F ($F_x = -2$ Н, $F_y = 10$ Н). На рисунке 1 представлены три результата вычислений для трех, четырех и шести ДРК. Минимальные показатели затраченной энергии для трех конфигураций составили 12,34; 12,21;

12,44 відповідно. В результаті, оцінюючи енергетичні показники та ефективність ДРК, можна зробити висновок, що для вибраного судна найбільш оптимальною є конфігурація з 4-х ДРК (рисунк 1).

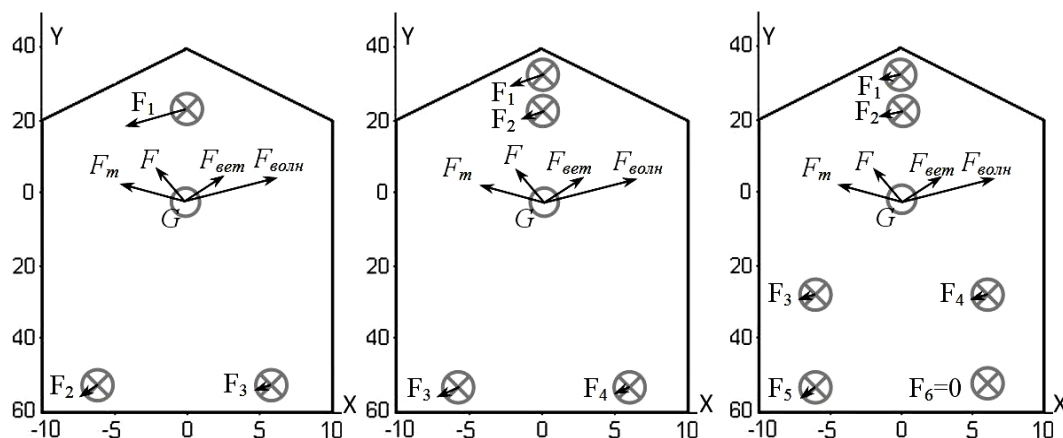


Рисунок 1 – Отображение расчетных моделей с конфигурациями 3-х, 4-х и 6-ти ДРК

Таку теоретичну модель можна взяти за основу при виборі необхідної конфігурації і, використовуючи параметри корпусної діаграми управляємості, а так же і інші параметри, характеризуючі управляємість судна при впливі вітру, хвиль і течії, можна підібрати такі ДРК, які забезпечать судну задані маневренні якості. Знання цих величин ще не забезпечує однозначності вибору ДРК, так як число варіантів, типів, розмірів і режимів роботи, що задовольняють заданим значенням параметрів, практично безгранично. Розміри ДРК напряму залежать від площі парусності і поглиненої частини судна, а так же географічного району і, як наслідок, погодних умов, в яких воно буде експлуатуватися. Останній критерій виражається в формі вітру (швидкості і напрямку), хвиль (висоти, періода і напрямку) і течії (швидкість, напрямку).

На практиці для того, щоб спростити вирахування можна передположити, що практично завжди (особливо в «свіжій» погоді) напрямку вітру збігається з напрямком хвиль. Для кожної швидкості вітру можна виділити оформившийся набір послідовностей гребней і як залежність свести в табличні спектри (JONSWAP – Північне море; Pierson-Moskowitz – Північна Атлантика; Doubly-Peaked – Норвезьке море [2]).

Для течії вибирається середнє значення, скажемо 1 вузол, і задається найбільш впливаюче впливання – на траверзі судна. Результатом слугить побудова діаграми можливості ДП (Capability Plot) (рисунк 2).

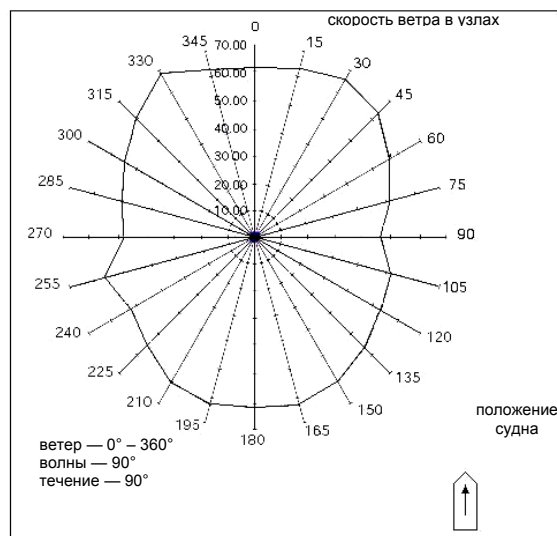


Рисунок 2 – Диаграмма возможности динамического позиционирования

Такая диаграмма может быть построена как для целого комплекса ДРК, так и для отдельных компонентов при возможном выходе из строя одного или нескольких движителей. Границы контура диаграммы представляют значение скорости ветра в узлах при заданном курсовом угле, т.е. максимально возможные условия позиционирования судна.

Теоретическую модель можно взять за основу при выборе необходимой конфигурации для среднеразмерных судов снабжения флота шельфа и используя параметры корпусной диаграммы управляемости, а так же остальные параметры, характеризующие управляемость судна при влиянии ветра, волн и течения, можно подобрать такие ДРК, которые обеспечат судну заданные маневренные качества.

Перспективным является дальнейшее рассмотрение выбора конфигурации ДРК для судов, оборудованных СДП.

Бibliографический список использованной литературы

1. J. Wills. Dynamic Positioning Simulator, Interim report / J.D. Wills. — Netherlands, 2007. — 79 p.
2. Fossen T. Identification of dynamically positioned ships. / T.I. Fossen, S.I. Sagatun, A.J. Sorensen // Department of engineering cybernetics, Norwegian university of Science and Technology. — Norway, Nov. 1995. — 8 p.
3. Alstom. Guide to Dynamic Positioning of vessels. // Alstom power conversion. — France, 2000. — 136 p.
4. Гофман А.Д. Теория и расчет поворотливости судов внутреннего плавания / А.Д. Гофман. — Л.: Судостроение, 1971. — 130 с.

Поступила в редакцию 3.10.2010 г.

Мусінов Ю.Г. Вибір критеріїв оптимальної конфігурації суден постачання флоту шельфу, обладнаних системою динамічного позиціонування

Виконується теоретичний аналіз з використанням математичного моделювання пропульсивних комплексів середньорозмірного судна флоту шельфу для визначення кількості та розташування рушіїв, які є необхідними для збереження маневреності та здатності судна протистояти діям навколишнього середовища.

Ключові слова: динамічне позиціонування, рушійно-рульовий комплекс, судно постачання, флот шельфу.

Musinov Y.G. Choosing criteria for optimal configuration of the supply ships of the shelf fleet equipped with the system of dynamic positioning

In order to define quantity and profile of thrusters, necessary for ship station keeping and to withstand external forces, it is required to perform theoretical analysis using mathematical modeling of ship thruster's configuration.

Keywords: dynamic positioning, thruster configuration, supply vessel, offshore.