

УДК 656.61.052.48

Голиков В.В., Костенко П.А., Демченко Н.М.  
ОНМА.

## **ОСОБЕННОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ СУДНА С ВИНТО- РУЛЕВЫМИ КОЛОНКАМИ В БИТЫХ ЛЬДАХ НЕАРКТИЧЕСКОГО МОРЯ**

Постановка проблемы в общем виде связана с необходимостью осуществлять маневры судну ледового класса: в битом льду при самостоятельном плавании, в ледовом канале в составе каравана судов или движении за ледоколом при его буксировке. Если самостоятельное плавание судна обычно осуществляется в мелкобитом льду, то следование в ледовом канале за ледоколом осуществляется в битом льду сплоченностью 8-10 баллов. В последнем случае происходит интенсивное взаимодействие корпуса и винторулевого комплекса (ВРК) судна как с крупно так и мелкобитыми льдинами. В этих случаях, как и при движении в сплошном льду, важной остается работа двигателей на номинальной мощности для расталкивания льдин и предотвращения заклинивания судна.

Использование традиционных видов маневров требует изменения направления и частоты вращения движителя ВРК [1].

Целью рассматриваемых исследований явилось создание режимов управляемого изменения скорости прямолинейного движения судна с ВРК при работе двигателей на номинальной мощности для разгона льдин и сохранения максимального упора движителей ВРК.

Идея такого вида торможения связана с лыжным спортом, когда лыжник подтормаживает клином: носами лыж во внутрь.

В задачи исследования входило:

-имитационное моделирование процесса подтормаживания судна клином;

-обработка результатов моделирования, и их обсуждение.

Решение поставленных задач осуществлено с использованием полномасштабного тренажера компании Transas "Navi-Trainer 5000 Pro" и математической модели судна типа река-море (водоизмещение 6716 тонн, версия V 17). Размеры судна: длина по КВЛ 134,0 м; ширина 16,6 м; осадка 3,7 м; мощность двигателей 2×971 кВт; тип движителей FPP.

В процессе моделирования контролировались и вычислялись следующие конечные параметры:

- положение ручек ВРК  $\alpha_{п,л}$  от 0 до 360°;
- падение скорости  $|-V|$  от 0 до 20 узлов;
- период торможения  $T$  от 0 до 520 с;
- период максимального торможения  $T_{min}$  от 33 до 120 с;
- период хода «Вперед» до смены направления движения  $T_0$  от 104 до 123с;

В таблице 1 приведены кинематические данные имитационного моделирования динамического процесса торможения вышеуказанного судна клином при положении ручек ВРК от 0 до 180° расположенных «накрест» относительно оси диаметральной плоскости.

Обработка результатов моделирования позволила установить нелинейную связь между модулем падения скорости движения судна управляемого ВРК по типу «накрест» относительно диаметральной оси судна при торможении клином.

Экспериментальная зависимость  $|-V| = f(\alpha_{п,л})$  получена в виде кусочно-линейной функции, прямолинейные участки которой аппроксимированы по методу наименьших квадратов.

$$|-ΔV| = \begin{cases} 0,02\alpha_{п,л} & \text{при } 0 \leq \alpha_{п,л} \leq 30^\circ; \\ 0,19\alpha_{п,л} - 5,1 & \text{при } 30 < \alpha_{п,л} \leq 90^\circ; \\ 0,128\alpha_{п,л} + 0,48 & \text{при } 90 < \alpha_{п,л} \leq 145; \\ 19,4 & \text{при } 145 < \alpha_{п,л} \leq 180^\circ. \end{cases}$$

Аналогичную величину  $|-ΔV|$  можно получить графоаналитическим методом построения компонент суммарного вектора скорости судна:

$$|-ΔV| = V_H (1 - \cos \alpha_{п,л}).$$

Для определения погрешности формул (1) и (2) в сравнении с результатами имитационного моделирования (табл. 1) составим сравнительную таблицу 2.

Таблица 1. Кинематические и динамические характеристики судна с РПК при торможении «НАКРЕСТ» со скорости 12,00 узлов

№ п/п	Положение ручек ВРК $\alpha_n/\alpha_{n-1}$ , град	$ \Delta V $	$ \Delta V $	$T$	$-\Delta S$	$-a$	$-\tau$	$T_{\min}$	$-\Delta S_{\min}$	$-a_{\min}$	$-\tau_{\min}$	$T_0$
		узлы	%	с	м	м·с <sup>-2</sup>	с <sup>2</sup> ·м <sup>-1</sup>	с	м	м·с <sup>-2</sup>	с <sup>2</sup> ·м <sup>-1</sup>	с
1	0/0 (360)	0/12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	10/10 (350)	0,009	0,075	33,0	0,153	$1,4 \cdot 10^{-4}$	7127,4	33,0	0,153	$1,4 \cdot 10^{-4}$	7127,4	
3	20/20 (340)	0,235	1,96	518,0	62,62	$2,3 \cdot 10^{-4}$	4285,1	72,5	8,8	$16,7 \cdot 10^{-4}$	599,2	
4	30/30 (330)	0,60	5,0	259,0	79,3	$11,9 \cdot 10^{-4}$	839,2	119,0	36,7	$25,9 \cdot 10^{-4}$	385,6	
5	40/40 (320)	2,2	18,3	340	384,8	$33,3 \cdot 10^{-4}$	300,4	87,2	94,2	$129,8 \cdot 10^{-4}$	77,05	
6	50/50 (310)	4,47	37,2	350,3	805,5	$65,6 \cdot 10^{-4}$	152,3	77,5	178,2	0,0297	33,7	
7	60/60 (300)	7,11	59,25	340,0	1243,5	0,0108	92,9	71,8	262,6	0,0509	19,63	
8	70/70 (290)	9,25	77,1	265,0	1260,9	0,01795	55,7	57,3	272,6	0,083	12,04	
9	80/80 (280)	10,7	88,89	256,0	1409,0	0,0215	46,51	62,85	345,9	0,0875	11,42	
10	90/90 (270)	12,0	100,0	292,0	1802,4	0,0211	47,3	56,23	347,1	0,11	9,11	
11	100/100	13/(-1)	108,33	256,0	1711,9	0,0261	38,3	54,5	364,45	0,1227	8,15	129
12	110/110	14,3/(-	119,7	303	2229,0	0,0243	41,2	79,0	581,1	0,0931	10,74	112
13	120/120	15,7/(-	130,8	350,6	2795,0	0,023	43,4	102,5	827,8	0,0788	12,7	122,4
14	130/130	17,1/(-	142,7	321,2	2829,5	0,0274	36,5	73,35	646,1	0,12	8,33	106,2
15	140/140	18,4/(-	153,1	305,5	2887,6	0,0309	32,32	82,1	776,0	0,115	8,69	107,8
16	150/150	19/(-7,0)	158,3	304,3	2976	0,0321	31,15	77,2	754,5	0,1266	7,9	110,2
17	160/160	19,4/(-	161,5	292	2910,2	0,0341	29,3	78,2	779,4	0,1275	7,85	104,2
18	170/170	19,4/(-	161,5	273,4	2724,8	0,0364	27,4	79,4	791,3	0,1255	7,97	108
19	180/180	19,4/(-	161,5	280	2790,6	0,0356	28,1	75	747,5	0,133	7,525	106
Среднее значение				300±50				74,3±24				112±12

Таблица 2. К определению погрешностей обработки результатов имитационного моделирования торможения судна при  $V_H=12,0$  узлов.

$\alpha_{п}/\alpha_{пл}$ , град	$ \Delta V $ , узлы	Формулы		$\alpha_{п}/\alpha_{пл}$ , град	$ \Delta V $ , узлы	Формулы	
		(1)	(2)			(1)	(2)
10/350	0,009	0,2	0,182	100/260	13,0	12,32	14,08
20/340	0,235	0,4	0,72	110/250	14,3	14,56	16,1
30/330	0,60	0,6	1,61	120/240	15,7	15,84	18,0
40/320	2,2	2,5	2,8	130/230	17,1	17,12	19,71
50/310	4,47	4,40	4,28	140/220	18,4	18,4	21,2
60/300	7,11	6,3	6,0	150/210	19,4	19,4	22,4
70/290	9,25	8,2	7,9	160/200	19,4	19,4	23,3
80/280	10,7	10,1	9,91	170/190	19,4	19,4	23,82
30/270	12,0	12,0	12,0	180/180	19,4	19,4	24,0

Анализ данных табл.2 показывает на недостаточную выраженность эффекта торможения судном при  $\alpha_{пл} \leq 30^\circ (330^\circ)$  и после реверса ВРК «НАЗАД» при  $90^\circ (270^\circ) < \alpha_{пл} \leq 130^\circ (230^\circ)$  в сравнении с графоаналитическими данными формула (2). Это, повидимому, связано с формой корпуса судна при его движении вперед и назад, а также учетом фактора его инерционности.

### Заключение

В условиях ледового плавания, когда на первое место выходит аспект безопасности, торможение судна клином при работе двигателей на 100% мощности не позволяет крупным льдинам скапливаться вокруг судна и предотвращает заклинку винтов.

В процессе реверса движения судна следует учитывать неоднозначность носовой и кормовой формы корпуса из-за чего номинальная скорость заднего хода при  $\alpha_{пл} = 360^\circ/360^\circ$  снижается до  $0,6 V_H$ , т. е. до 60% от скорости ПП при  $\alpha_{пл} = 0/0$ .

Период переходного процесса в среднем составляет 300 с, что вполне приемлемо для судов такого класса.

Торможение клином исследовано на глубокой и тихой воде, поэтому физические возмущения со стороны внешней среды будут увеличивать период торможения и уменьшать величин  $|\Delta V|$ .

Сравнительный анализ разгонных характеристик судна при торможении клином указывает на отличие значений кинематического показателя  $|\Delta V|$  при острых углах образовавшегося клина  $\beta=180 - (\alpha_n + \alpha_n) < 90$ .

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

Голиков В.В. Расчетная схема определения элементов движения судна управляемого рулевыми поворотными колонками /В.В. Голиков// Сборник научных трудов НГМА, вып. 1(6). – Новороссийск: Изд-во МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2014. – С.18 – 20.