

УДК 6656.62.052

ЛИНЕЙНЫЕ СКОРОСТИ СУДОВ НА ЦИРКУЛЯЦИИ: НОВОЕ РЕШЕНИЕ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ МАНЕВРИРОВАНИЯ СУДОВ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОВОДЬЯ

Токарев Павел Николаевич¹, доцент, к.т.н., доцент кафедры

e-mail: kaf_sbs@vsuwt.ru

Смирнов Никита Дмитриевич¹, курсант

e-mail: vsnikita@mail.ru

¹Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты исследования зависимости линейных скоростей судов на установившейся циркуляции от отношения осадки к глубине акватории. Установлено, что линейные скорости на установившейся циркуляции в условиях мелководья и на глубокой воде практически равны, что позволяет существенно упростить расчет параметров циркуляции на «мелководье».

Ключевые слова: маневренные качества судна, ограниченная глубина, гидродинамические характеристики, поворотливость судна, параметры установившейся циркуляции, линейная скорость.

SHIP LINEAR VELOCITIES ON CIRCULATION: A NEW SOLUTION FOR CALCULATING MANEUVERING PARAMETERS IN SHALLOW WATER CONDITIONS

Pavel N. Tokarev¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

e-mail: kaf_sbs@vsuwt.ru

Nikita D. Smirnov¹, Cadet

e-mail: vsnikita@mail.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article presents the results of a study examining the relationship between linear ship speeds during steady-state circulation and the ratio of draft to water area depth. The research investigates how linear ship speeds on steady-state circulation depend on the ratio of draft to water depth. The study has revealed that linear speeds on steady-state circulation remain virtually identical both in shallow water conditions and in deep water.

Keywords: Maneuvering qualities of a vessel, limited depth, hydrodynamic characteristics, vessel turning ability, steady-state circulation parameters, linear speed.

Практика управления судном и теоретические исследования показывают, что ограниченные глубины оказывают значительное влияние на управляемость судов. Изменяются скоростные и маневренные качества судна, что необходимо учитывать судоводителю в практической работе при выполнении выбранного маневра в сложившейся ситуации.

Информация о скоростных, инерционных качествах и параметрах поворотливости на «глубокой воде» имеется на каждом судне. Информации о том, как изменяются перечисленные качества в зависимости от запаса воды под днищем судна недостаточно. Это объясняется тем, что проведение натурных испытаний судов при различных отношениях осадки судна к глубине пути требует значительных затрат времени и выбора надлежащей акватории. Поэтому такую информацию получают обычно расчетными методами [1-3].

Систематические расчеты параметров установившейся циркуляции судов различных проектов на глубокой воде и на «мелководье» выявили, что все параметры изменяются в широком диапазоне в зависимости от отношения осадки судна к глубине пути за исключением линейной скорости на установившейся циркуляции.

В качестве примера приведены расчетные данные параметров циркуляции для теплохода «ВОЛГОНЕФТЬ» проекта 630 на глубокой воде и «мелководье» при отношениях осадки судна к глубине 0,5; 0,7; и 0,9. при движении судна в режиме «полный ход». Расчет скорости движения судна на «мелководье» выполнен по методике, приведенной в работе [4].

Таблица 1. Параметры установившейся циркуляции теплохода «Волгонефть» (проект 630) на глубокой воде ($V=5,28$ м/с)

Параметры	Угол перекладки рулевых органов α_p , град		
	15	25	35
Угол дрейфа по ЦМ $\beta_{ц}$, град	21,1	25,7	29,1
Безразмерная угловая скорость $\bar{\omega}$	0,66	0,94	1,20
Безразмерная линейная скорость $\bar{v}$	0,60	0,44	0,35
Линейная скорость на циркуляции V , м/с	3,2	2,3	1,8
Угол дрейфа по корме β_k , град	40,8	53,9	65,2
Относительный радиус циркуляции $\bar{R}$	1,52	1,06	0,83
Радиус циркуляции R , м	203,8	142,1	111,3

Таблица 2. Параметры установившейся циркуляции теплохода «Волгонефть» (проект 630) при отношении $T/H=0,5$ ($V=4,51$ м/с)

Параметры	Угол перекладки рулевых органов α_p , град		
	15	25	35
Угол дрейфа по ЦМ $\beta_{ц}$, град	11,1	12,8	14,0
Безразмерная угловая скорость $\bar{\omega}$	0,62	0,85	1,07
Безразмерная линейная скорость $\bar{v}$	0,63	0,49	0,39
Линейная скорость на циркуляции V , м/с	2,8	2,2	1,8
Угол дрейфа по корме β_k , град	28,7	37,2	44,6
Относительный радиус циркуляции $\bar{R}$	1,62	1,18	0,94
Радиус циркуляции R , м	218,0	157,8	125,7

Таблица 3. Параметры установившейся циркуляции для теплохода типа «Волгонефть» (проект 630) при отношении $T/H=0,7$. ($V=3,95$ м/с)

Параметры	Угол перекладки рулевых органов α_p , град		
	15	25	35
Угол дрейфа по ЦМ β_u , град	6,5	7,4	8,0
Безразмерная угловая скорость $\bar{\omega}$	0,51	0,72	0,91
Безразмерная линейная скорость $\bar{v}$	0,70	0,56	0,46
Линейная скорость на циркуляции V , м/с	2,8	2,2	1,8
Угол дрейфа по корме β_k , град	21,0	27,8	33,9
Относительный радиус циркуляции $\bar{R}$	1,97	1,40	1,10
Радиус циркуляции R , м	263,8	187,6	147,8

Таблица 4. Параметры установившейся циркуляции для теплохода типа «Волгонефть» (проект 630) при отношении $T/H=0,9$ ($V=3,49$ м/с)

Параметры	Угол перекладки рулевых органов α_p , град		
	15	25	35
Угол дрейфа по ЦМ β_u , град	4,0	4,5	4,9
Безразмерная угловая скорость $\bar{\omega}$	0,41	0,58	0,75
Безразмерная линейная скорость $\bar{v}$	0,78	0,65	0,54
Линейная скорость V , м/с	2,7	2,3	1,9
Угол дрейфа по корме β_k , град	15,7	21,3	26,4
Относительный радиус циркуляции $\bar{R}$	2,45	1,72	1,33
Радиус циркуляции R , м	329,5	231,3	178,9

Равенство линейных скоростей на установившейся циркуляции на глубокой воде и при ограниченной глубине, дает возможность перейти к расчету параметров установившейся циркуляции на «мелководье» по упрощенной методике.

Так как линейная скорость судна на циркуляции на глубокой воде равна линейной скорости на циркуляции на «мелководье» т.е.

$$V_{ц}^{гл} = V_{ц}^{мелк} \text{ или}$$

$$\overline{V_{ц}^{гл}} \times V_0 = \overline{V_{ц}^{мелк}} \times V_{ц}^{мелк}, \quad (1)$$

преобразуя выражение (1), получим безразмерную линейную скорость на мелководье.

$$\overline{V_{ц}^{мелк}} = \frac{\overline{V_{ц}^{гл}} \times V_0}{V_0^{мелк}}. \quad (2)$$

Зная зависимость безразмерной линейной скорости на циркуляции от угловой скорости $\bar{\omega}$, (формула В.Г. Павленко).

$$\bar{v} = \frac{1}{\left(\sqrt[3]{1 + 2,7\bar{\omega}^2} \right)^2} \quad (3)$$

выразим из выражения (3) безразмерную угловую скорость.

$$\bar{\omega} = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{v_u^2}\right)^{0,75} - 1}}{2,7}. \quad (4)$$

Безразмерный радиус циркуляции определяется по выражению.

$$\bar{R} = \frac{1}{\bar{\omega}} \quad (5)$$

Угол дрейфа судна находится по диаграмме зависимости угла $\beta_{\text{ц}}$ от $\bar{\omega}$ на глубокой воде и на мелководье при различных отношениях T/H (Рис. 11.1 с.162) [5].

Значения параметров установившейся циркуляции по предлагаемой методике определения основных параметров поворотливости судов при различных глубинах фарватера для теплохода типа «Волгонефть» представлен в таблицах 6-8.

Таблица 5. Параметры установившейся циркуляции для теплохода типа «Волгонефть» (проект 630) при отношении $T/H=0,5$

Параметры	Угол перекадки рулевых органов $\alpha_{\text{р(н)}}$, град		
	15	25	35
Угол дрейфа по ЦМ $\beta_{\text{ц}}$, град	9,0	12,0	14,0
Безразмерная угловая скорость $\bar{\omega}$	0,51	0,78	1,03
Безразмерная линейная скорость $\bar{v}$	0,70	0,52	0,40
Угол дрейфа по корме $\beta_{\text{к}}$, град	23,7	34,6	43,6
Относительный радиус циркуляции $\bar{R}$	1,95	1,27	0,97
Радиус циркуляции R , м	261,8	170,3	129,9

Таблица 6. Параметры установившейся циркуляции для теплохода типа «Волгонефть» (проект 630) при отношении $T/H=0,7$

Параметры	Угол перекадки рулевых органов $\alpha_{\text{р(н)}}$, град		
	15	25	35
Угол дрейфа по ЦМ $\beta_{\text{ц}}$, град	4,9	7,2	9,0
Безразмерная угловая скорость $\bar{\omega}$	0,39	0,67	0,90
Безразмерная линейная скорость $\bar{v}$	0,80	0,59	0,46
Угол дрейфа по корме $\beta_{\text{к}}$, град	16,0	26,3	34,8
Относительный радиус циркуляции $\bar{R}$	2,59	1,50	1,11
Радиус циркуляции R , м	347,2	201,5	149,2

Таблица 7. Параметры установившейся циркуляции для теплохода типа «Волгонефть» (проект 630) при отношении $T/H=0,9$

Параметры	Угол перекадки рулевых органов $\alpha_{\text{р(н)}}$, град		
	15	25	35
Угол дрейфа по ЦМ $\beta_{\text{ц}}$, град	3,1	4,0	4,5
Безразмерная угловая скорость $\bar{\omega}$	0,25	0,55	0,78

Безразмерная линейная скорость $\bar{v}$	0,90	0,67	0,52
Угол дрейфа по корме β_K , град	10,1	19,8	26,8
Относительный радиус циркуляции $\bar{R}$	4,09	1,81	1,28
Радиус циркуляции R , м	548,2	243,6	172,3

Анализ результатов расчетов параметров установившейся циркуляции на «мелководье» по предложенной методике (таблицы 5-7) и методик, требующих расчетов значительного количества исходных данных изменяющихся от отношения Т/Н (таблицы 2-4) показывает, что параметры циркуляции судна близки по значениям. Это позволяет сделать вывод о том, что предложенная методика благодаря своей простоте, при необходимости, может быть использована для расчета параметров циркуляции судна с учетом «мелководья» в судовых условиях.

Список литературы:

1. Управление судами и составами [Текст]: учебник для ин-товводн. тр-та / Н. Ф. Соларев [и др.]; доп. Управлением кадров и учеб. заведений Минречфлота РСФСР для ин-товводн. тр-та. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. 296 с.
2. Ходкость и управляемость судов [Текст]: Учебник для вузов/В.Ф.Бавин, В.И.Зайков, В.Г.Павленко, Л.Б.Сандлер; Под ред. В.Г.Павленко. – М: Транспорт, 1991. 397
3. Маневрирование и управление судном [Текст]: метод. указания к выполн. курс. работ для студ. очн. Изачн. обучения спец. 260505 / А. Н. Клементьев, П. Н. Токарев, Р. С. Хвостов. - Н.Новгород: ВГУВТ, 2017. - 33 с.
4. Токарев П.Н. Расчет скоростных и инерционных характеристик судна на мелководье и в канале /П.Н.Токарев // Н.Новгород. Вестник ВГАВТ. – 2016. – №49. – С. 242–248.
5. Справочник по теории корабля: В трех томах. Том 3. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания/Под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. - 544 с.

