Таким образом распределенный объект может быть представлен в виде совокупности передаточных функций, что позволяет говорить о его структурном представлении.

1. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. – М.: Высшая школа, 2003. – 299 с.
2. Майрансаев З.Р., Чернышев А.Б. Обзор методов исследования различных классов систем управления // Современные фундаментальные и прикладные исследования. – 2018. – № 4 (31). – С. 23-26.
3. Майрансаев З.Р., Чернышев А.Б. Использование функции Грина в импульсных системах управления // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 45-8. – С. 65-68.
4. Чернышев А.Б. Обобщение методов анализа устойчивости для распределенных систем. // Современная наука и инновации. – 2015. – № 3 (11). – С. 16-22.
5. Чернышев А.Б., Антонов В.Ф., Ильющин Ю.В. Моделирование релейно-импульсных распределенных систем. – Пятигорск: изд-во ПГГТУ, 2012. – 248 с.
6. Чернышев А.Б. Модифицированный годограф пространственно-апериодического звена // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2010. – № 2(1). – С. 159-163.
7. Першин И.М. Синтез систем с распределенными параметрами. – Пятигорск: Изд-во РИА-КМВ, 2002. – 212 с.
8. Чернышев А.Б., Козлов В.А., Багдамян В.Е. Оценка интервалов времени включения управляющих воздействий в процессе стабилизации температурного поля // Научное обозрение. – 2013. – № 5. – С. 98-104.
9. Martirosyan A.A., Martirosyan K.V., Chernyshev A.B. Methods of distributed systems' structured modelling. // Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIConRusNW 2016. – 2016. – С. 283-289.
10. Martirosyan A.A., Martirosyan K.V., Chernyshev A.B. Application of Fourier series in distributed control systems simulation // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2019. – 2019. – С. 609-613.

Ермолаев К.А., Гудим С.Д.

Зависимость величины тактического диаметра при циркуляции от основных характеристик сухогрузных судов

*Новосибирский государственный университет водного транспорта
(Россия, Новосибирск)*

doi: 10.18411/lj-01-2021-237

idsp: ljjournal-01-2021-237

Аннотация

В работе приведены исследования тактического диаметра циркуляции грузовых судов при заходе на циркуляцию при различных углах перекадки руля. Был произведен расчет с последующим выводом аппроксимации и визуализирован в виде графического анализа.

Ключевые слова: судно; циркуляция; тактический диаметр; перекадка руля; аппроксимация; расчет; грузовое судно.

Abstract

The paper presents studies of the tactical diameter of the circulation of cargo ships when entering the circulation at various angles of the rudder shift. The calculation was performed with the subsequent derivation of the approximation and visualized in the form of graphical analysis.

Keywords: vessel; circulation; tactical diameter; steering wheel shift; approximation; payment; cargo ship.

Актуальность данной темы выражается ее специфичной тематикой на фоне схожих работ [8], которые в свою очередь акцентируют внимание на циркуляции в общем, а не на отдельных этапах.

Расчет циркуляции транспортных средств зачастую связан с огромным количеством вычислений затрат времени и сил и не всегда полученный результат будет удовлетворять проектанта. Для того, чтобы быть уверенными в получении верного результата, но при этом не делать колоссальное количество расчетов, используется аппроксимация данных с целью получения предварительных результатов, в следствие чего можно решить, уточнять данные для истинно верных значений или изменять предварительные данные. Аппроксимация под своими разовыми затратами, обеспечивает последующую экономию одного ресурса незначительными ухудшениями другого. Это дает возможность произвести расчет тактического диаметра судна при различных углах перекладки руля с пренебрежением некоторых данных. В свою очередь тактическим диаметром считают расстояние между положением диаметральной плоскости судна до начала поворота и в момент изменения курса на 180°

Для получения формулы расчета тактического диаметра, необходимо выделить однотипные суда в данном случае грузовые, по которым будет производиться статистический анализ.

Выбранные суда в Таблице 1 были заимствованы из справочников серийных судов, объединенных в библиотеки Е.Л.Смирнова [1].

Таблица 1

Основные характеристики грузовых судов

Проект судна	Размерность									
	В, м	Т, м	L, м	δ	$\bar{l}_k$, м	$\sum S_{пв}$, м ²	$\sum S_{пз}$, м ²	n_n	d_v , м	v, м/с
1557	13	3,5	110,5	0,818	0,461	6,3	-	2	1,6	5,5
1565	16,5	3,53	135	0,851	0,473	0	-	2	1,8	5,7
1566	16,5	3,98	236,5	0,851	0,485	0	-	2	1,8	4,58
1570	13	3,54	115,4	0,823	0,470	6	-	2	1,6	5,64
1577	16,5	3,58	128,6	0,845	0,482	0	-	2	1,55	5,56
1743	14,8	2,69	109,8	0,817	0,472	0	3	0	-	6,31
1810	12,2	3,3	84	0,795	0,468	0	3,45	0	-	5,83
1814	12	3,3	83,3	0,809	0,468	0	3,45	0	-	5,69
2036	12,5	1,8	85	0,817	0,465	0	0	2	1,2	5,28
19610M	16	3,75	135	0,81	0,472	2,5	0	2	1,8	6
19610O	16	4,48	136	0,871	0,473	2,5	0	2	1,8	5,9
19620	12	2,93	83,6	0,882	0,460	0	8	0	-	4,86
81110	15	1,6	78	0,825	0,475	0,78	0,78	0	-	3,88

Где

- В – ширина судна, м;
- Т – осадка судна, м;
- L – длина судна, м;
- δ – коэффициент общей полноты;
- $\bar{l}_k$ – отстояние ДРК от центра тяжести (далее ЦТ), м;
- $\sum S_{пв}$ – суммарная площадь пера руля вне струи, м²;
- $\sum S_{пз}$ – суммарная площадь пера руля за двигателем, м²;
- n_n – число насадок;
- d_v – диаметр винта, м;
- v – скорость судна, м/с.

Для наглядности подтверждения актуальности аппроксимации, производился расчет для углов перекадки на 15 и 35 градусов, так же задаются параметры, которые больше всего влияют на тактический диаметр судна:

- зависимость тактического диаметра от водоизмещения и скорости(1). Чем больше водоизмещение и скорость, тем хуже поворотливость судна, соответственно и больше диаметр:

$$D_j = \left(LBT \frac{v}{\delta} \right)^{\frac{1,5}{50000}} + 240, \text{ м.} \quad (1)$$

Где L - длина судна, м;
 B - ширина судна, м;
 T - осадка судна, м;
 v - скорость судна, м/с;
 δ - коэффициент общей полноты.

- коэффициент влияния площади пера руля на диаметр циркуляции(2). Чем больше перо вне струи, тем быстрее происходит поворот судна, соответственно и меньше диаметр циркуляции. Следующий расчет действует по принципу:

- влияние площади пера на маневренность судна;
- влияние расстояния расположения руля от ЦТ.

$$D_{\Pi} = \left(L \bar{l}_k \sum S_{\Pi B} \right)^{\frac{0,5}{0,3}}, \text{ м.} \quad (2)$$

Где L - длина судна, м;
 $\bar{l}_k$ - отстояние ДРК от центра тяжести (далее ЦТ), м;
 $\sum S_{\Pi B}$ - суммарная площадь пера руля вне струи, м².

- перо руля за движителем(3). Перо находится за движителем в струе:

$$D_d = \left(L \bar{l}_k \sum S_{\Pi 3} \right)^2, \text{ м.} \quad (3)$$

Где L - длина судна, м;
 $\bar{l}_k$ - отстояние ДРК от центра тяжести (далее ЦТ), м;
 $\sum S_{\Pi 3}$ - суммарная площадь пера руля за движителем, м².

- коэффициент влияния удаленности поворотной насадки от ЦТ на диаметр циркуляции(4). Чем больше площадь насадки, тем больше создаваемый поток, соответственно лучше управляемость, а значит диаметр циркуляции меньше.

$$D_n = \left(L \bar{l}_k n_n d_v^2 \right)^3, \text{ м.} \quad (4)$$

Где L - длина судна, м;
 $\bar{l}_k$ - отстояние ДРК от центра тяжести (далее ЦТ), м;
 n_n - число насадок;
 d_v - диаметр винта, м.

Учитывая приведённые выше факторы, влияющие на диаметр циркуляции, производится предварительный вывод результата, а именно из фактора способствующего уменьшению управляемости, факторов повышающих эту самую управляемость:

$$D_{\text{рез}} = D_j - D_{\Pi} - D_d - D_n, \text{ м.} \quad (4)$$

Для проведения анализа, результаты проделанной работы вписаны в Таблицу 2 для 15 градусов и в Таблицу 3 для 35 градусов соответственно:

Таблица 2

Значения данных влияющих на диаметр циркуляции судна, при углах перекладки в 15 градусов

Проект	15 градусов				
	D_j	$D_{п}$	$D_{д}$	$D_{н}$	$D_{рез}$
1557	564,27	179,14	0	80,74	318,73
1565	727,38	0	0	101,70	582,18
1566	1148,66	0	0	136,31	1012,35
1570	582,45	180,39	0	83,32	322,41
1577	699,83	0	0	86,2	625,67
1743	563,98	0	77,73	0	486,25
1810	511,50	0	67,81	0	443,49
1814	503,82	0	67,24	0	436,58
2036	465,27	0	0	53,34	389,54
19610M	810	126,21	0	101,60	613,54
19610O	886,05	126,81	0	102,08	657,16
19620	476,23	0	153,82	0	304,39
81110	457,75	53,75	14,44	0	411,93

Таблица 3

Значения данных влияющих на диаметр циркуляции судна, при углах перекладки в 35 градусов

Проект	35 градусов				
	D_j	$D_{п}$	$D_{д}$	$D_{н}$	$D_{рез}$
1557	588,05	179,14	0	322,99	85,91
1565	776,66	0	0	406,83	338,24
1566	1085,86	0	0	545,26	540,60
1570	613,94	180,39	0	333,28	100,26
1577	749,83	0	0	345,16	375,19
1743	587,61	0	249,38	0	317,38
1810	498	0	232,91	0	265,08
1814	482	0	231,94	0	250,06
2036	373,5	0	0	213,38	160,21
19610M	850	126,21	0	406,40	369,84
19610O	910,344	126,81	0	408,33	404,67
19620	411,96	0	350,79	0	61,17
81110	338,04	53,75	107,51	0	176,77

В качестве эталонных значение диаметра циркуляции судна взяты значения расчета (Таблица 4) из компьютерной программы под название «SHIP» созданной на кафедре «Теории и устройства корабля» ФГБОУ ВО «СГУВТ», по формулам приведенным в [2-4].

Таблица 4

Данные полученные в программе «SHIP»

Проект	$h_{рез}, 15$ градусов	$h_{рез}, 35$ градусов
1557	434	216
1565	463	250
1566	1212	612
1570	471	234
1577	575	254
1743	444	235
1810	345	175
1814	341	173
2036	262	138
19610M	476	273
19610O	518	279
19620	355	144
81110	244	135

На Рис 1 и Рис 2 приведены зависимости проекта от параметра аппроксимации ($D_{рез}$), по которому можно сказать, на сколько близко проходит эталонных данных из программы «SHIP».

Рис. 1. Диаграмма зависимостей проекта от тактического диаметра, параметра аппроксимации, водоизмещения, пера вне струи, пера за двигателем, насадки для перекладки в 15 градусов

Рис. 2. Диаграмма зависимостей проекта от тактического диаметра, параметра аппроксимации, водоизмещения, пера вне струи, пера за двигателем, насадки для перекладки в 35 градусов

Для наглядной оценки построена зависимость Рис 3 и Рис 4 тактического диаметра эталонного расчета, и предварительного расчета аппроксимации для разных углов перекладки.

Рис. 3. Диаграмма зависимости эталонного тактического диаметра от параметра аппроксимации при 15 градусах

Рис. 4. Диаграмма зависимости эталонного тактического диаметра от параметра аппроксимации при 35 градусах

Данные на графика довольно близки, но для получения наиболее близкого значения на Рис 5 и Рис 6 построен зависимость через которую проложена квадратичная полиномиальная линия, с которой выведена формула:

Для 15 градусов:

$$y = 0,0022D_{\text{рез}}^2 - 1,6694D_{\text{рез}} + 682,57; \quad R^2 = 0,924. \quad (5)$$

Для 35 градусов:

$$y = 0,0035D_{\text{рез}}^2 - 1,2914D_{\text{рез}} + 272,2; \quad R^2 = 0,905. \quad (6)$$

Рис. 5. Диаграмма зависимости тактического диаметра от параметра аппроксимации при угле перекладки в 15 градусов

Рис. 6. Диаграмма зависимости тактического диаметра от параметра аппроксимации при угле перекладки в 35 градусов

При пересчете по аппроксимационным формулам тактического диаметра, значения получаются более точными Рис 7 и Рис 8.

Рис. 7. Диаграмма зависимости эталонного диаметра от диаметра посчитанного по аппроксимационной формуле при 15 градусах

Рис. 8. Диаграмма зависимости эталонного диаметра от диаметра посчитанного по аппроксимационной формуле при 35 градусах

Подводя итог, можно сказать что данный расчет крайне полезен для получения предварительных расчетов при проектировании судна, когда получение более точных значений не требуются или не представляется возможным. Выведенные формулы 5,6 позволяют при объективно высоком проценте точности >90% гарантировать высокую точность исчислений.

1. Войткунский Я.И. и др. Справочник по теории корабля. – Л.: Судостроение, 1983.
2. Вьюгов В.В. Управляемость водоизмещающих речных судов. - Новосибирск, изд. НГАВТ, 1999. - 200 с
3. Лебедев О.Ю., Рыбников Д.Ю., Руденко А.В. Математическая модель движения судна для определения основных характеристик маневров в произвольном сносящем потоке., научные исследования XXI века, 2020
4. Павленко В.Г., Бавин В.Ф. и др. Ходкость и управляемость судов. - Транспорт, 1991.- 400 с.
5. Смирнов Е.Л. Речная справочная книжка // URL: <https://russrivership.ru/ships> (дата обращения 10.11.2020)
6. Цурбан А.И. Определение маневренных элементов судна. – М.: Транспорт, 1977.
7. Экспериментальное и теоретическое определение маневренных элементов судов НМП для составления формуляров маневренных характеристик. Отчет о НИР УДК. 629.12.072/076. – Новороссийск, 1989.
8. Юдин Ю.И., Позняков С.И. Маневренные характеристики судна как функции параметров его математической модели. – Москва, изд МГТУ, 2006.