

ГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ ОТ ДВИЖУЩЕЙСЯ ПАРЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ СТОЕК, СВЯЗАННЫХ ТОНКОЙ ПЛАСТИНОЙ¹

П. А. Бимбереков

*Сибирский государственный университет водного транспорта,
Новосибирск, Российская Федерация*

Представлены и сопоставляются фотоматериалы волновых картин от движущихся двух последовательно расположенных стоек каплевидного поперечного сечения и тех же стоек с установленной между ними тонкой пластиной, что вводит в рассмотрение не только отдельные последовательно движущиеся источники, но и воссоединяет их в единый объект, взаимодействующий по всей своей длине с системой волн от первого источника. Рассмотрены закономерности волнового поля стоек с установленной между ними пластиной посредством графической обработки. Произведена оценка возможности нахождения переднего мнимого источника кельвиновской картины волн, формирующей корабельную систему волн, на расстоянии как одной, так и двух длин волн перед вершиной носовой подпорной волны. Предлагается способ определения положения фиктивной точки нахождения кормовой кельвиновской системы волн корабельной системы волн по результатам анализа волнового поля при характерных скоростях движения, приводящих к наиболее удачно фиксируемому взаиморасположению волновой картины от носовой и кормовой оконечностей. Приведены фотоизображения прогонки пары стоек вперед тупым концом горизонтального сечения с одинаковой скоростью и фотофиксацией с близкого ракурса, стоек с установленной между ними пластиной при малой скорости движения тупым концом каплевидного поперечного сечения вперед, стоек с пластиной сбоку при движении острым концом каплевидного поперечного сечения вперед и др. Все представленные фотоснимки были сделаны в опытовом бассейне Сибирского государственного университета водного транспорта (Новосибирской государственной академии водного транспорта) в 2006 г.

Ключевые слова: корабельная система волн, волновое поле, структура волнового поля, графическая обработка, тонкая пластина со стойками в оконечностях.

Для цитирования: *Бимбереков П. А.* Графический анализ волновых полей свободной поверхности воды от движущейся пары последовательно расположенных стоек, связанных тонкой пластиной // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 1. С. 45–53. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-45-53.

Введение

Настоящая работа является закономерным продолжением исследований [1], [2], где, в частности, были рассмотрены волновые поля от движущейся пары последовательно расположенных стоек и произведена графическая проработка этих полей. В работах [1], [2] было сделано заключение о целесообразности рассмотрения, сопоставления и анализа волновых полей простых объектов для подхода к совершенствованию расчетных схем волнового сопротивления судов. Как известно, в современной практике расчета волнового сопротивления судов широко используется представление результирующей волновой картины корабельной системы волн в виде двух последовательно идущих друг за другом систем кельвиновских волн от двух (носового и кормового) точечных источников [3–7]. Разработка подходов и установление места расположения этих источников систем кельвиновских волн является важным моментом в формировании уточненной расчетной картины такого представления. Рассматриваемый в настоящей работе объект – пара последовательно расположенных стоек, связанных тонкой пластиной, – является, на наш взгляд, вполне очевидным этапом усложнения объекта исследования, вводящим, хотя и незначительное, но существенное изменение, превращающее пару стоек в единый непрерывный объект.

¹ Автор выражает благодарность М. Т. Азимбаеву, А. Ю. Кононенко, Е. Н. Крыловой за участие в экспериментальных исследованиях со стойками. Особую признательность автор выражает профессору А. Ш. Готман за подвижность в исследовании проблемы волнового сопротивления судов и привлечение других к этой увлекательной тематике.

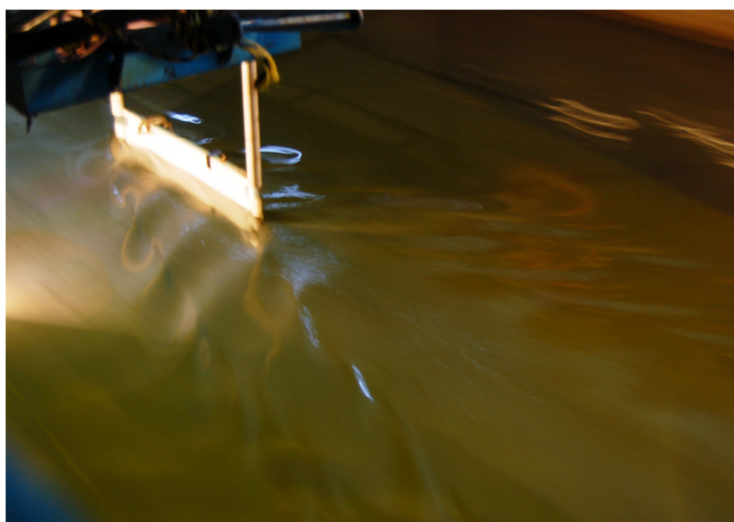
Анализ волновых полей

Сравним волновое поле от движущихся не связанных последовательно стоек с теми же стойками с размещенной между ними тонкой пластиной.

На рис. 1 приведены фотоснимки прогонки в опытном бассейне пары стоек вперед тупым концом каплевидного горизонтального сечения с одинаковой скоростью и фотофиксацией с близкого между собой ракурса как без установленной между стойками пластины (рис. 1, *a*), так и с ней (рис. 1, *б*).



a



б

Рис. 1. Прогонка пары стоек вперед тупым концом горизонтального сечения с одинаковой скоростью и фотофиксацией с близкого ракурса:

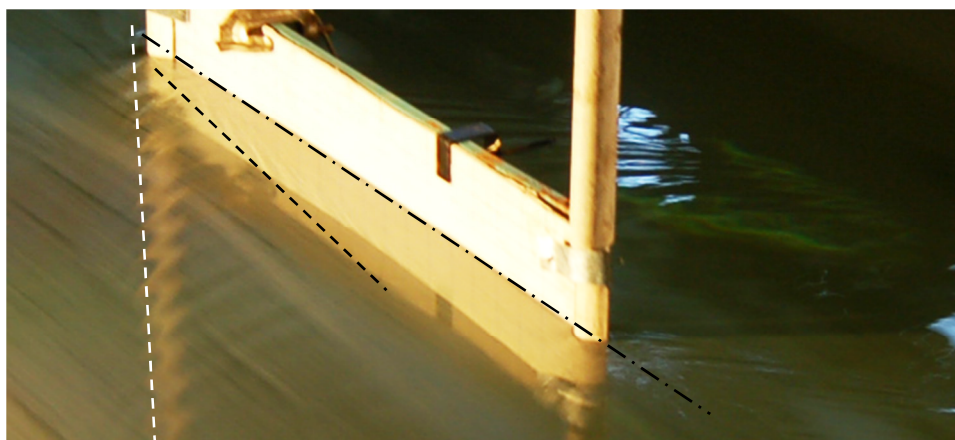
a – без дополнительной пластины; *б* – при установке между стойками пластины (толщиной 4 мм)

Очевидных, привлекающих внимание различий волновой картины на этих снимках не наблюдается.

Приведем на рис. 2 фотоизображение движения стоек со вставленной между ними пластиной в плоскости осевой связывающей стойки, при малой скорости движения, сопровождающейся образованием множественного числа волн в пределах габаритной длины данного объекта (рис. 2, *a* – без графических построений, рис. 2, *б* – с графическими построениями).



a



б

Рис. 2. Фотоизображение стоек с установленной между ними пластиной при малой скорости: *a* – без графических построений; *б* – с графическими построениями

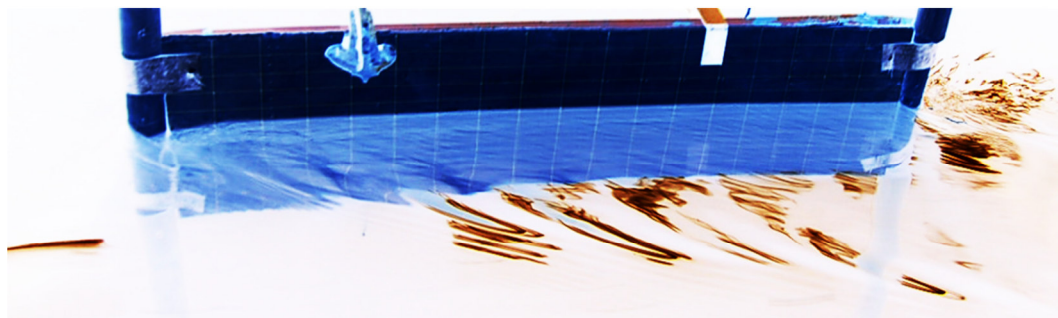
Превалируют поперечные волны, расходящиеся волны внешней границы волнового поля выражены слабо. Около пластины заметна гряда мелких расходящихся волн (их граница зафиксирована черной пунктирной линией на рис. 2, *б*), порождаемая сходящим с носовой стойки потоком и идущая с гораздо меньшим углом к осевой последовательно расположенных стоек (черная штрихпунктирная линия на рис. 2, *б*) относительно внешней границы расходящихся волн (белая пунктирная линия на рис. 2, *б*).

На рис. 3, *a* дано фотоизображение стоек с пластиной, на рис. 3, *б* – его обращенное изображение, позволяющие фиксировать достаточно сложную волновую картину.



a

Рис. 3. Фотоизображение стоек с пластиной сбоку при движении тупым концом каплевидного поперечного сечения вперед: *a* – позитивное фотоизображение стоек с пластиной

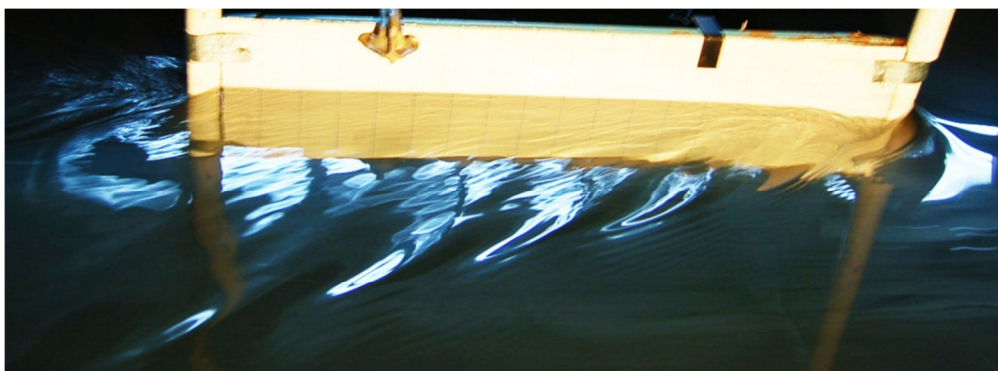


б

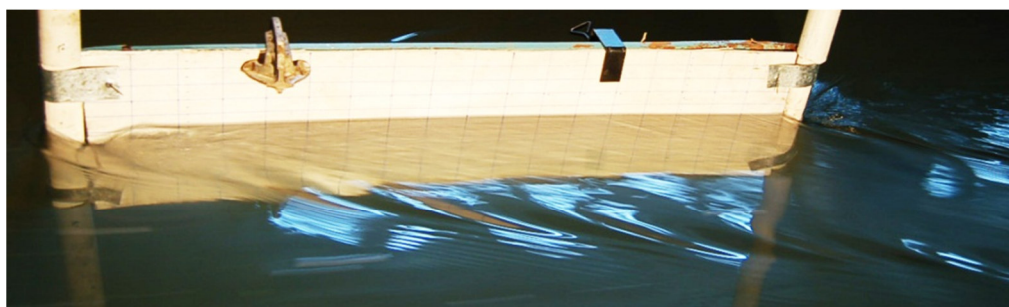
Рис. 3. Окончание. Фотоизображение стоек с пластиной сбоку при движении тупым концом каплевидного поперечного сечения вперед: б – то же, обращенное

Удовлетворительно регистрируются воронки в окончаниях поперечных волн, задняя (по ходу движения) часть которых формирует дополнительный промежуточный гребень – малую промежуточную волну.

Из рис. 4, где помещены фотоснимки движения стоек с пластиной сбоку при движении острым концом каплевидного поперечного сечения вперед (рис. 4, а) и тупым концом (рис. 4, б) каплевидного поперечного сечения вперед с близкой скоростью, фиксируем более резкое понижение уровня воды у передней стойки у варианта на рис. 4, а.



а

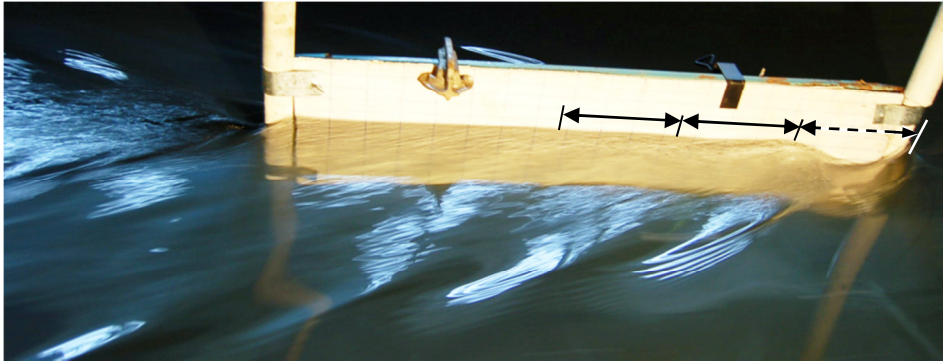


б

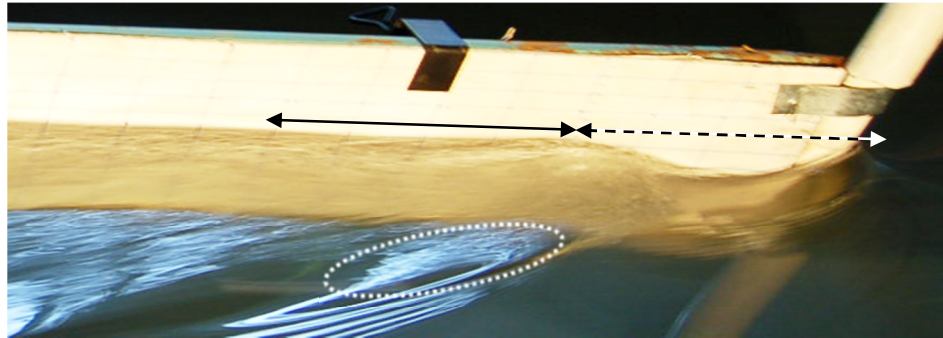
Рис. 4. Фотоизображение стоек с пластиной сбоку при движении: а – острым концом каплевидного поперечного сечения вперед; б – тупым концом каплевидного поперечного сечения вперед

Зримого отличия формы поверхности воды вдоль большей части пластины в корму между стойками для вариантов рис. 4, а, б не фиксируется, что является некоторым подтверждением существования оговоренного в работе [1] принципа локальности эффекта самоуравновешенных внешних нагрузок на форму деформации свободной поверхности.

На рис. 5, а проиллюстрирован вид сбоку на движущиеся стойки с пластиной между ними острым концом каплевидного поперечного сечения стоек вперед. Размерными линиями отмечены гребни подпорной и двух основных волн у пластины.



a



б



в

Рис. 5. Фотоизображение сбоку волновой картины стоек с пластиной при движении острым концом каплевидного поперечного сечения стоек вперед: *a* – полное изображение; *б* – передняя стойка (пунктиром указана турбулизованная зона у воронки, у остальной части воронки на границе неразмытые капиллярные волны); *в* – задняя оконечность; несколько размерных линий длин волн отмечены на *a* и *б*

На рис. 5, *б* дано увеличенное изображение волнового поля у первой по ходу движения стойки, фиксируется сходящий поток и толчея капиллярных волн непосредственно у пластины. Сравнить характер толчеи капиллярных волн у стоек без пластины и с пластиной по наличествующим фотоматериалам достоверно не удалось. Наружу у волнового поля объекта у подпорной и первой за стойкой расходящейся волны регистрируются достаточно четкие капиллярные волны. Кроме того, здесь достаточно четко видна воронка, у которой ближняя от пластины часть турбулезуется потоком у пластины и частично увлекается против хода движения к следующей волне. Капиллярные волны воронки группируются парами с увеличенным промежутком между этими парами.

В волновом поле у задней по ходу движения стойки (рис. 5, *в*) толчея капиллярных волн несколько снижается, регистрируется их преимущественная ориентация, сходная расходящимся волнам на внешней границе волнового поля.

Сопоставляя форму подпорной волны у пары стоек с пластиной движущихся вперед острым (рис. 5) и тупым (рис. 6, 7) концом каплевидного поперечного сечения, фиксируем вполне ожидаемую большую во втором случае полноту подпорной волны.

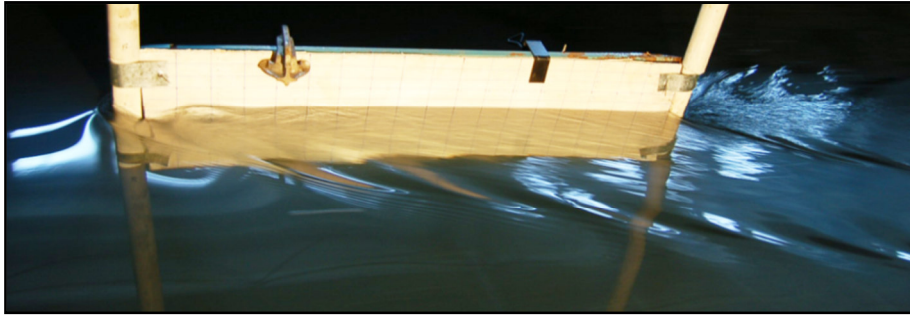
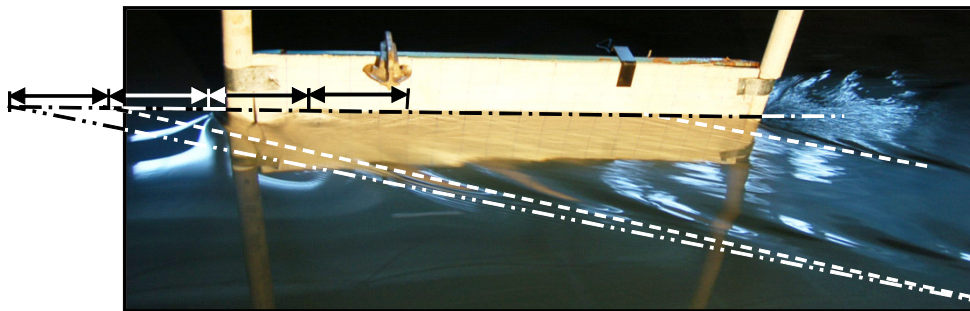
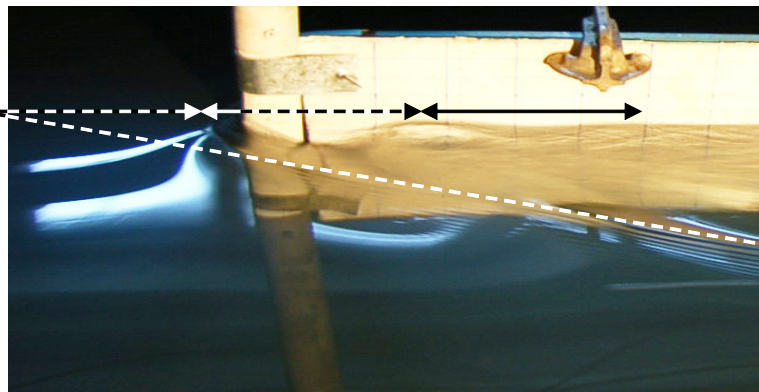


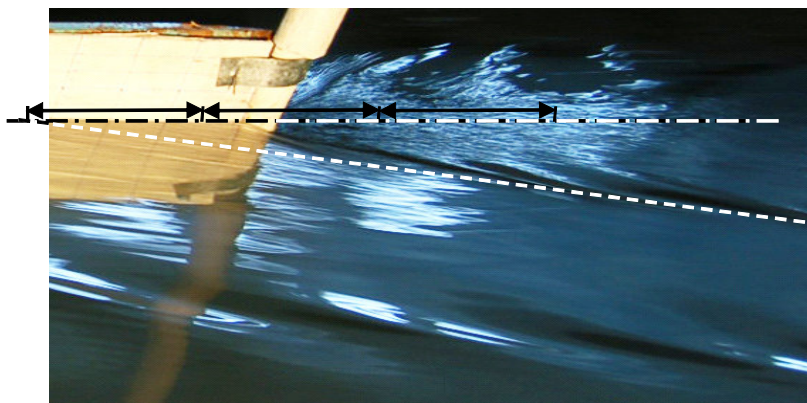
Рис. 6. Фотоизображение сбоку волновой картины стоек с пластиной при движении тупым концом каплевидного поперечного сечения стоек вперед



a



б



в

Рис. 7. Фотоизображение сбоку волновой картины стоек с пластиной по рис. 6 с графическими построениями: *a* – полное изображение с графическими построениями вариантов границы волнового поля и размерных длин волн; *б* – графические построения размерных длин волн у передней стойки; *в* – волновая картина у задней стойки с размерными линиями длин волн

На рис. 7 произведена графическая проработка волнового поля фотоизображения рис. 6. На рис. 7, а построена штрихпунктирная осевая линия, отмечающая линию исходной осадки, и построена черная размерная линия между удовлетворительно фиксируемыми вершинами волн. Далее от нее по ходу движения отложены последовательно три размерные линии длины волны. Первая из них, как это фиксировалось и в работах [1], [2], ожидаемо попала на подпорную волну. К концам по ходу движения двух других размерных линий проведены, соответственно, пунктирная и штрихпунктирная с двумя штрихами линии по внешней границе волнового поля. Последняя проведена в качестве возможной альтернативы пунктирной линии, для оценки возможности расположения фиктивной точки источника. Результат произведенных построений проиллюстрировал принципиальную возможность расположения фиктивной точки носовой системы волн не обязательно на расстоянии одной длины волны от вершины подпорной волны. Знание точного места расположения фиктивной точки носовой системы волн весьма желательно, однако еще более важно знать взаимное расположение фиктивных точек носовой и кормовой систем корабельной системы волн. Именно последнее даст значение расчетной длины объекта для моделирования его волновой картины и построения расчетной модели волнового сопротивления. Для задней по ходу (кормовой) системы волн также построена пунктирная линия границы ее волнового поля.

На рис. 7, б и в соответственно приведены в увеличенном масштабе и графическими построениями размерных длин волн и границы системы волн у передней и задней стойки. Разнонаправленность капиллярных волн (рис. 7, б), вероятно, связана с отражением от пластины.

Заключение

Фиктивная точка источника носовой системы корабельной системы волн более легка для определения. Определение аналогичной точки кормовой системы волн имеет большую трудность в связи с наложением на нее носовой системы волн. Анализируя волновые картины и графические построения по ним, приведенные как в работах [1], [2], так и размещенные в настоящей работе, позволяют предложить, например, нижеследующий способ определения фиктивной точки кормовой системы волн.

Производятся прогонки водоизмещающего исследуемого объекта с последовательно изменяемыми скоростями движения и фиксацией волнового поля (например, фотограмметрическим методом, лазерным сканированием при подкрашенной и/или насыщенной взвесью воде и т. д.), выбираются поля скоростей, при которых длина волны в кормовой системе волн при наложении носовой системы волн имеет минимальное значение, а высота волны наибольшее значение в ближайшем диапазоне скоростей, и фиктивная точка источника кормовой оконечности отсчитывается по вершинам длины волны (например, на второй в нос с кормы вершине высоты волны).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бимбереков П. А. Экспериментальные исследования к вопросу моделирования корабельных волн и расчету волнового сопротивления судна // Scientific achievements of the third millennium. International United Academy of Sciences. Collection of scientific papers on materials VIII International Scientific Conference (Los Angeles, 30 сентября 2018 г.). Los Angeles: LJournal, 2018. С. 4–14.
2. Бимбереков П. А. Графический анализ волновых полей свободной поверхности воды от движущихся судов и пары последовательно расположенных стоек // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2019. № 4. С. 7–22.
3. *Ходкость и управляемость судов*: учеб. для вузов / под ред. В. Г. Павленко. М.: Транспорт, 1991. 397 с.
4. Эпштейн Л. А. Методы теории размерностей и подобия в задачах гидромеханики судов. Л.: Судостроение, 1970. 207 с.
5. *Войткунский Я. И. и др.* Справочник по теории корабля. Т. 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители. Л.: Судостроение, 1985. 768 с.
6. Кадомцев Б. Б., Рыдник В. И. Волны вокруг нас. М.: Знание, 1981. 150 с.
7. Трубецков Д. И., Рожнев А. Г. Линейные колебания и волны. М.: Физматгиз, 2001. 415 с.

Статья поступила в редакцию 04.01.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Бимбереков Павел Александрович – Россия, 630099, Новосибирск; Сибирский государственный университет водного транспорта; д-р техн. наук, доцент; доцент кафедры теории корабля, судостроения и технологии материалов; bimberekov@yandex.ru.



GRAPHICAL ANALYSIS OF FREE-SURFACE WAVE FIELDS FROM MOVING TWO CONSECUTIVE POSTS CONNECTED BY THIN PLATE

P. A. Bimberekov

*Siberian State University of Water Transport,
Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract. The article presents photographic materials of wave pictures from two consecutive posts of teardrop cross-section and the same posts with a thin plate installed between them, which introduces into consideration not only separate sequentially moving sources, but also reunites them into a single object, interacting along its entire length with the system of waves from the first source. The regularities of the wave field of consecutive posts with a plate installed between them by means of graphic processing are considered. The possibility of finding the front imaginary source of the Kelvin wave pattern forming the ship's wave system at the position of both one and two wave-lengths in front of the top of the bow retaining wave is estimated. A method is proposed for determining the position of the fictitious location of the aft Kelvin wave system of the ship's wave system based on the results of the analysis of the wave field at the characteristic speeds of movement, leading to the most successfully fixed inter-location of the wave pattern from the bow and aft extremities. There are shown the pictures of moving forward a pair of posts with a blunt end of a horizontal section at the same speed and photo fixation from a close angle, pictures of moving forward the posts with a plate between them with a blunt end of a teardrop-shaped cross section at a low speed, moving forward posts with a plate at the side with a sharp end of a teardrop-shaped cross section, etc. All presented photographs were taken in the experimental pool of the Siberian state University of water transport (Novosibirsk state Academy of water transport) in 2006.

Key words: ship wave system, wave field, wave field structure, graphic processing, consecutive posts connected by a thin plate.

For citation: Bimberekov P. A. Graphical analysis of free-surface wave fields from moving two consecutive posts connected by thin plate. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;1:45-53. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-45-53.

REFERENCES

1. Bimberekov P. A. Eksperimental'nye issledovaniya k voprosu modelirovaniya korabel'nyh voln i raschetu volnovogo soprotivleniya sudna [Experimental studies on modeling ship waves and calculation of wave resistance of ship]. *Scientific achievements of the third millennium. International United Academy of Sciences. Collection of scientific papers on materials VIII International Scientific Conference (Los Angeles, 30 sentyabrya 2018 g.)*. Los Angeles, LJournal, 2018. Pp. 4-14.
2. Bimberekov P. A. Graficheskij analiz volnovykh polej svobodnoj poverhnosti vody ot dvizhushchihsya sudov i pary posledovatel'no raspolzhenykh stoek [Graphical analysis of wave fields of water free surface from moving vessels and two consecutive racks]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2019, no. 4, pp. 7-22.
3. *Hodkost' i upravlyaemost' sudov: uchebnyk dlya vuzov* [Ship speed and steerability: textbook for universities]. Pod redakciej V. G. Pavlenko. Moscow, Transport Publ., 1991. 397 p.
4. Epshtejn L. A. *Metody teorii razmernostej i podobiya v zadachah gidromekhaniki sudov* [Methods of theory of dimensions and similarities in problems of ship hydromechanics]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1970. 207 p.

5. Vojtkunskij Ya. I. i dr. *Spravochnik po teorii korablya. Vol. 1. Gidromekhanika. Soprotivlenie dvizheniyu sudov. Sudovye dvizhiteli* [Reference book on ship theory. Vol. 1. Hydromechanics. Resistance to ship propulsion. Ship propulsion systems]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1985. 768 p.

6. Kadamcev B. B., Rydnyk V. I. *Volny vokrug nas* [Waves around us]. Moscow, Znanie Publ., 1981. 150 p.

7. Trubeckov D. I., Rozhnev A. G. *Linejnye kolebaniya i volny* [Linear oscillations and waves]. Moscow, Fizmatgiz, 2001. 415 p.

The article submitted to the editors 04.01.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Bimberekov Pavel Aleksandrovich – Russia, 630099, Novosibirsk; Siberian State University of Water Transport; Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Theory of a Ship, Shipbuilding and Technology of Materials; bimberekov@yandex.ru.

