

УДК 629.125.1/3

А.О. Канифольский, Ю.М. Ларкин

**НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
МАЛЫХ ОДНОКОРПУСНЫХ СУДОВ ПЕРЕХОДНОГО РЕЖИМА**

*В статье определены направления развития теории проектирования малых однокорпусных судов переходного режима движения. Эти суда выделены в отдельную группу и доказано, что для эффективного создания их проектов требуется специальное исследование. Описаны начальные стадии разработки проекта. Сделаны предположения о выборе методов оценки проекта, с применением теорем подобия и «структурирования функций качества».*

**Ключевые слова:** малотоннажное судно, переходный режим движения, теория проектирования судов, начальные стадии проекта.

*У статті визначені напрямки розвитку теорії проектування малих однокорпусних суден перехідного режиму руху. Ці судна виділені в окрему групу й доведено, що для ефективного створення їх проектів потрібне спеціальне дослідження. Описано початкові стадії розробки проекту. Зроблено припущення про вибір методів оцінки проекту, із застосуванням теорем подібності та «структурування функцій якості».*

**Ключові слова:** малотоннажне судно, перехідний режим руху, теорія проектування суден, початкові стадії проекту.

*Directions for the development of the theory of designing small monohull vessels of the transitional mode are defined in this article. These vessels are in a separate group. A special study is required to effectively create the projects of such vessels. The initial stages of the project are described. Assumptions about the choice of methods for evaluating the project, using similarity theorems and «Quality Functions Deployment» were made.*

**Keywords:** small monohull vessels, the transitional mode, methods for evaluating the project, the initial stages of the project.

**Постановка проблемы и анализ публикаций.** В книге Л.М. Ногида [7] приведено следующее высказывание: «Методы теории проектирования судов применимы к судам и кораблям любого типа и класса. Однако в пределах каждого типа и класса имеются свои специфические условия, определяющие ту или иную постановку задачи. В соответствии с этим и методика определения элементов судна в ее конкретной интерпретации может претерпевать значительные изменения... Поэтому теория проектирования судов не может охватить все возможные на практике случаи, и принуждена ограничиться рассмотрением вопросов, имеющих более или менее общее значение.

---

© Канифольский А.О., Ларкин Ю.М., 2017

Это дает основание излагать специфические вопросы, касающиеся проектирования отдельных типов судов, в специальных трудах».

Малые суда представляют собой особую группу плавсредств, для классификации, проектирования, постройки и эксплуатации которых требуются специфические подходы. Разные классификационные общества, в разное время по-своему определяли «малость» судна. Например, Bureau Veritas (BV) выделяет группу судов длиной менее чем 65 м [11]. Lloyd's Register of Shipping считает малыми металлические суда длиной менее 50 м и суда длиной менее 30 м, корпуса которых построены из пластика или дерева. Регистр судоходства Украины рассматривает судно как малое, если его длина менее 24 м [9]. Зачастую такой подход к определению критерия «малости» судна связан с внешними условиями, в которых предполагается эксплуатировать судно, а также соображениями обеспечения его прочности.

Во многих международных конвенциях (МК) предъявлены требования к судам длиной более чем 24 м. Такой подход наблюдается в требованиях МК о грузовой марке и МК по обмеру судов. Правила МК СОЛАС [13] применимы к грузовым судам валовой вместимостью менее 500. Применяя для расчета валовой вместимости упрощенный метод ИМО, можно сделать следующие выводы. Согласно с этим методом валовая вместимость судна определяется по формуле:  $GT_p = aV_E$ . Коэффициент  $a$  зависит от значения кубического модуля  $V_E = LBD$  и выбирается из соответствующей таблицы. Для судна имеющего кубический модуль равный 500, коэффициент  $a$  принимает значение 0,54. Подставив в формулу  $V_E = LBD$  среднестатистические относительные величины  $\frac{B}{d} = 3$ ,  $\frac{L}{B} = 6$  и отношение высоты борта к осадке характерное для судов с минимальным надводным бортом  $\frac{D}{d} = 1,25$  получим значение длины судна около 45 м.

Кроме того как отмечено в книге [4] суда с динамическим поддержанием требуют большую мощность энергетической установки и именно поэтому размеры этих судов невелики: весовое водоизмещение  $\Delta \leq 500$  т.

Попытка определить критерий малости судна, основываясь на его прочностных характеристиках, была сделана в работе [8]. В этой работе предполагается, что малое судно имеет длину менее, чем 24 м.

**Цель исследования.** Выяснить возможность и необходимость разработки основных направлений теории проектирования для малых однокорпусных судов переходного режима. Определить основные методы исследования.

**Изложение основного материала исследования.** Из большого разнообразия корпусов, которые могут эксплуатироваться в переходном режиме движения (однокорпусные, катамараны, тримараны, суда с малой площадью ватерлинии и т. д.), необходимо выделить группу однокорпус-

ных судов, так как в одной работе нет возможности рассмотреть все возможные варианты.

Что касается переходного режима движения судов, то этот режим изучен еще недостаточно и требуется уточнение существующей информации по этому типу движения и создание новых положений необходимых для проектанта. Некоторые существующие работы по определению главных размерений скоростных судов [1; 14; 15] не могут охватить все вопросы процесса создания безопасного и эффективного судна, как не сможет этого сделать и это исследование. Поэтому в данной работе предполагается учесть новые направления развития международных нормативных документов и выяснить те «белые пятна» в теории проектирования судов, которые требуют дополнительного, более тщательного внимания.

В современной версии МК СОЛАС [13] дается следующее определение быстходного судна: «Высокоскоростное судно – это судно, способное развивать максимальную скорость (м/с) равную или превышающую  $v_{\max} = 3,7V^{0,1667}$ ». Представив число Фруда по водоизмещению в виде  $v = 3,13Fr_v \nabla^{0,1667}$ , можно сделать вывод, что судно можно считать высокоскоростным при  $Fr_v \geq 1,18$  [6]. Значение этой относительной скорости характерно для начала переходного режима движения судна,  $1,0 \leq Fr_v \leq 3,0$ . При этом типе движения наблюдается рост гидродинамических сил, что ведет к уменьшению осадки и росту дифферента на корму.

В труде А.В. Бронникова [2] выделены две основные части теории проектирования судов: *содержательная и формально-математическая*. В обеих частях существуют *внешняя и внутренняя* задачи. Предназначение формально-математической части – разработка математических методов решения задач содержательной части и автоматизация процессов их решения.

В данной работе *формально-математическая часть* рассматриваться не будет, так как она достаточно полно изложена в курсах теории корабля и теории проектирования судов. Стоит отметить, что в настоящее время существует достаточно много версий программного обеспечения, которое предназначено для решения вопросов связанных с автоматизацией процессов реализации математических методов в области теории проектирования судов. Например: AutoCAD, FREEship, Dialog Statika.

Что касается *содержательной* части теории проектирования малых однокорпусных судов переходного режима движения, то она будет рассмотрена детально с точки зрения решения ее *внутренней и внешней* задач.

В теории проектирования малых однокорпусных судов переходного режима движения возможно применение некоторых положений общей теории проектирования судов, но специфика режима эксплуатации

малых быстроходных плавсредств требует более основательной проработки некоторых моментов.

К области *внешней задачи содержательной части* теории проектирования обычно относят: разработку способов оптимизации флота; задачу пополнения флота; установление общих требований к судам.

На рисунке 1 приведена одна из возможных классификаций морских судов. Можно отметить, что эксплуатация в переходном режиме движения может быть характерна для пассажирских, грузопассажирских судов, для судов специального назначения и разъездных. Также существует достаточное количество катеров и кораблей военно-морского флота, которые эксплуатируются при относительных скоростях переходного режима. Подход с применением изучения полной классификации морских судов используется с целью выделить из общей массы типов судов малые быстроходные суда.

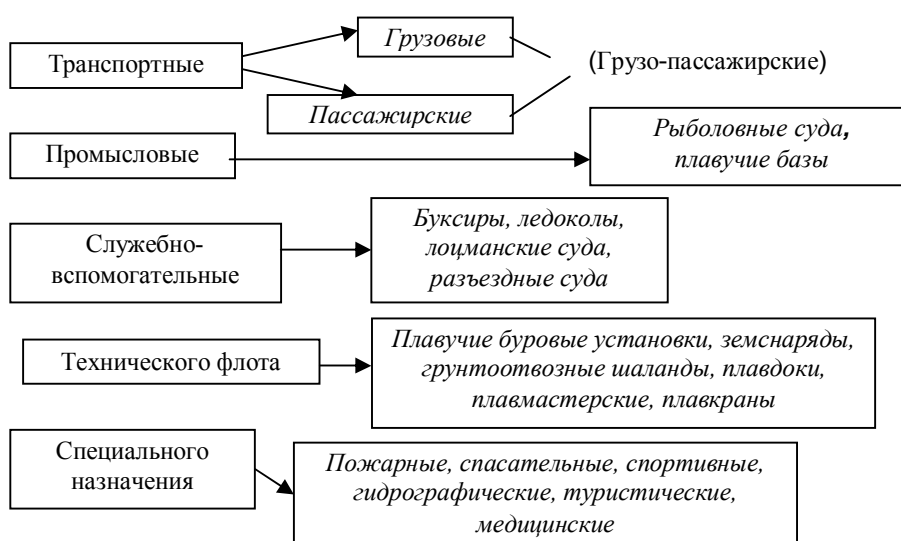


Рис. 1. Вариант классификации судов

Одной из основных задач, которая будет стоять перед проектировщиком, будет *задача по снижению сопротивления среды* (воды и воздуха) при движении в переходном режиме. Как известно в этом режиме наблюдается так называемый горб сопротивления. Также известно, что для этого варианта движения характерно появление гидродинамических подъемных сил  $Y$ , в результате действия которых судно всплывает, его объемное водоизмещение уменьшается до значения  $V_1$ , возникает дифферент на нос, затем на корму и в результате возрастает волнообразование. Уравнение равновесия сил веса и сил поддержания принимает вид  $\Delta = \gamma V_1 + Y$ .

Добиться решения общей задачи, по снижению сопротивления среды, возможно решив несколько частных задач: *выбор оптимальной формы обводов и безразмерных характеристик корпуса; снижение веса конструкций за счет выбора материала корпуса и формы его обводов; выбор необходимой центровки корпуса судна.*

Не менее важной задачей является обеспечение непотопляемости судна. В настоящее время существуют два официально признанных метода оценки непотопляемости судов: графо-аналитический (предельных длин отсеков) метод и вероятностный. Причем вероятностному методу отдается предпочтение. Это следует из дополнений к конвенции СОЛАС, в последней версии которой сделана попытка применить вероятностный метод оценки непотопляемости ко всем типам новых судов, но область быстроходных судов осталась не охваченной. Кроме того в последнее время появились предложения внести в Кодекс по высокоскоростным судам изменения в подходах к определению размеров вероятного повреждения корпуса. Предлагается увеличить длину возможного повреждения судна до 55 % от длины судна в носовой части и до 35 % от длины судна на остальной протяженности. International Code of Safety for High Speed Craft (HSC Code), применительно к быстроходным судам категории А, содержит сведения о возможной длине повреждения равной  $0,1L$ , или  $3m+0,03L$ , или 11 метров, в зависимости от того, что меньше. Для судов категории В, длина повреждения днища увеличивается на 50 %, в случае повреждения носовой части судна ( $0,5L$ ). Новое положение этого кодекса содержит новый подход к оценке размеров повреждений. Длина бортового повреждения зависит от  $V$  – объемного водоизмещения, соответствующего расчетной ватерлинии ( $m^3$ ),  $l_d = 0,75V^{1/3}$  или  $(3 м + 0,225V^{1/3})$ , или 11 м, смотря по тому, что меньше. Главное отличие нововведения, по сравнению со старыми версиями – это применение в расчетных формулах объемного водоизмещения вместо длины. Для решения общей задачи по обеспечению непотопляемости быстроходного малого судна необходимо решить *частную задачу о возможных размерах пробоины корпуса*. Решать эту задачу необходимо, учитывая кинетическую энергию судна. В этом же разделе необходимо рассмотреть важные, прямо и косвенно связанные с непотопляемостью, *частные задачи по заливаемости, запасу плавучести и надводному борту.*

Остойчивость судов переходного режима недостаточно изучена. Например, в HSC Code рассмотрены требования к остойчивости судов двух режимов движения: водоизмещающего и глиссирующего. Предлагается показать, что во время перехода из одного режима в другой остойчивость судна изменяется незначительно. Методы расчета не предлагаются. Предполагается в сфере развития теории проектирования малых судов переходного режима движения решить *общую задачу обеспечения остойчивости* путем решения *частных задач, по определению сил, действующих на корпус быстроходного судна во время его движения.*

В настоящее время существуют так называемые «параграфные» суда, то есть применение тех или иных требований международных конвенций или национальных Правил к судам зависит от их валовой вместимости. Необходимо определиться с термином «малое судно» рассматривая его с точки зрения его валовой и чистой вместимости. Для решения этой задачи возможно применения методов расчета *вместимости*, которые предлагает ИМО.

В области выбора оптимальной формы обводов и безразмерных характеристик корпуса судов существует ряд рекомендаций, которые приводят различные исследователи, например [10]. Следует отметить, что ранее никем не рассматривалось решение задачи о *максимально возможном значении относительного удлинения корпуса*  $\frac{L}{\sqrt[3]{V}}$ . Остается нерешенным вопрос о влиянии *килеватости* корпуса на *снижение веса его конструкций*.

Внесение ряда изменений в действующую конвенцию о грузовой марке, вызывает необходимость в рассмотрении задач по *заливаемости, запасу плавучести и надводному борту применительно к малому быстроходному судну*.

В теории проектирования судна, несомненно, необходимо ставить во главу угла такие параметры судна как его *безопасность, надежность и эффективность*. Эти параметры могут быть обеспечены только после решения задач о мореходных качествах судна, с применением элементов теории корабля и строительной механики корабля.

Все эти вопросы напрямую связаны с *теорией проектирования судна*, так как при их решении предполагается рассматривать их с точки зрения нахождения оптимальных элементов судна, которое проектируется. Такая постановка решения *обратной задачи* предложена А.В. Бронниковым. Более того в теории проектирования малых однокорпусных судов переходного режима движения предполагается следовать рекомендациям [7], то есть применять «...*комплексный подход к проектируемому судну*...».

Для внедрения такого подхода к проекту судна, уже на первых стадиях, необходимо разработать ряд критериев, позволяющих оценить, то или иное качество судна. Для решения этой задачи применимы теоремы подобия,  $\pi$ -теорема Бэкингема, которая гласит: общую функциональную зависимость, связывающую между собой  $A$  переменных величин при  $B$  основных единицах их измерения, можно представить в виде зависимости между  $(A-B)$  безразмерных комплексов этих величин (критериев). Эти подходы используются в кораблестроении достаточно давно: вывод критериев Фруда и Рейнольдса, критерий погоды.

Более подробно метод вывода критериев можно рассмотреть на примере формулы для расчета коэффициента перегрузки

$$n = \frac{F}{\Delta} = 0,3Fr_v^2 = 0,3 \frac{v^2}{g^{\frac{2}{3}}\sqrt{V}}$$

(отношение силы удара оконечности о волну и водоизмещения судна) [5]. Формула получена на основе анализа экспериментальных данных и информации, представленной классификационными обществами GL и BV. Для судна, находящегося в пресной воде, можно записать

$$\frac{F}{\Delta} = 0,3 \frac{v^2}{g^{\frac{2}{3}}\sqrt{\Delta}}.$$

Переменных величин четыре, основных единиц измерения три, возможных критериев – один. Критерий будет описан формулой

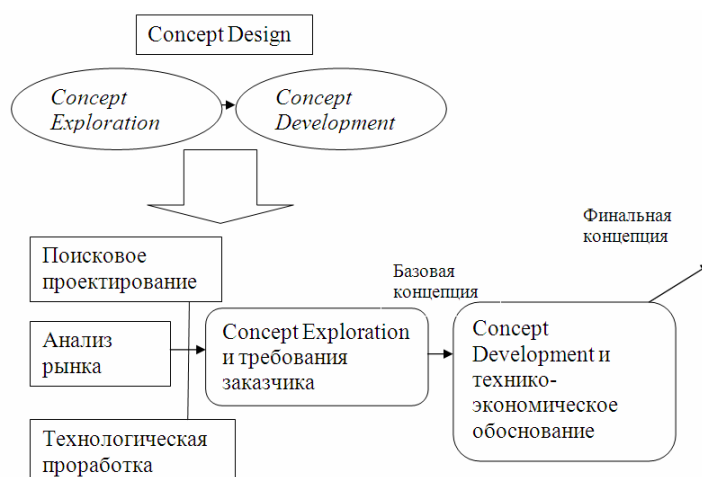
$$Lo = 0,3 \frac{v^2}{ng^{\frac{2}{3}}\sqrt{\Delta}} = \frac{0,3Fr_v^2}{n}.$$

Пользуясь этим выражением, можно сравнивать суда на основании данных об их относительной скорости и перегрузках.

На ранних стадиях проектирования судна уже необходимо применять комплексный подход с использованием новых критериев. Для этого возможно применение японского метода, известного как «структурирование функции качества» или «дом качества» [3].

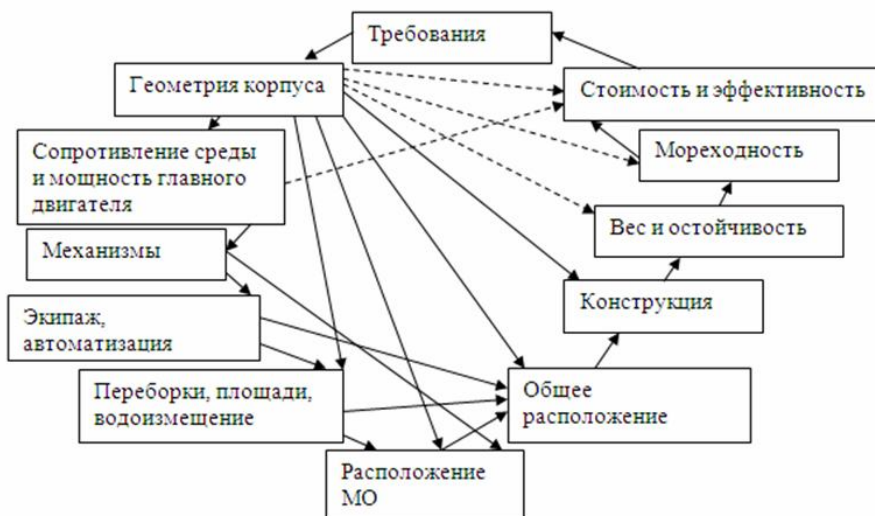
Для более точного определения термина «ранние стадии проектирования» ниже будет приведена текстовая информация и рисунки, позволяющие сравнить различные подходы к этому вопросу. Стадии разработки проекта судна достаточно полно описаны в [12]. Первая ступень проектирования Concept Design включает две фазы этого процесса: концептуальное исследование (Concept Exploration) и разработку концепции (Concept Development). Вторая и третья ступени – это Contract Design и Detail Design. Иногда применяют дополнительные стадии, например, Preliminary Design может быть включен в состав Contract Design или рассматриваться как отдельная ступень. Рассматривают отдельно стадию Class Design, которая по сути базируется на Contract Design и предусматривает проверку проекта судна на соответствие требованиям Правил классификационного общества.

Результатами первой фазы Concept Exploration (рис. 2) являются: предварительная оценка затрат и эффективности; выбор технологии и базовой концепции с основными характеристиками, предварительная («one digit») оценка веса, рисков.



*Рис. 2. Составляющие стадии Concept Design*

Вторая фаза (Concept Development), рисунок 3, представляет собой традиционную спираль проектирования. Результат этого процесса – более подробная проработка геометрии судна и составляющих веса («two – digit» оценка), предварительная комплектация судна, эскиз теоретического чертежа, предварительная проработка общего расположения и оценка мореходных качеств.



*Рис. 3. Спираль проектирования Concept Development*

Пунктиром показаны связи, добавленные одним из авторов этого исследования, так как геометрия корпуса будет оказывать влияние на такие характеристики как: стоимость и эффективность, мореходность, вес



и остойчивость. Сопротивление среды и мощность главного двигателя связаны со стоимостью и эффективностью будущего судна.

Анализируя приведенную выше информацию о стадиях проектирования, можно отметить, что технический проект и Contract Design находятся примерно на одинаковом уровне работ. Detail Design соответствует стадии разработки рабочей конструкторской документации. Составляющие общего проекта: техническое задание, техническое предложение и эскизный проект – это уровень Concept Design.

**Выводы.** Малые однокорпусные суда переходного режима движения относятся к специфической группе судов и для их эффективного проектирования необходимо дальнейшее развитие теории проектирования судов. Ниже приведены основные направления развития теории проектирования судов в этой области.

Снижение сопротивления среды судов переходного режима можно осуществить за счет: выбора оптимальной формы обводов и безразмерных характеристик корпуса; снижения веса конструкций, учитывая материал корпуса и форму его обводов; выбора необходимой центровки корпуса судна. Ранее никем не рассматривалось решение задачи о максимально возможном значении относительного удлинения корпуса  $\frac{L}{\sqrt[3]{V}}$  и в вопросе влияния килеватости корпуса на снижение веса его конструкций.

При обеспечении непотопляемости быстроходного малого судна необходимо определиться с возможными размерами пробоины корпуса, в соответствии с новыми международными требованиями. Возможно, для решения этой задачи необходимо разработать новые подходы, которые учитывают кинетическую энергию судна.

Необходимо определиться с термином «малое судно», рассматривая его с точки зрения его валовой и чистой вместимости.

Ряд изменений конвенции о грузовой марке вносит свои коррективы в рассмотрение задач по заливаемости, запасу плавучести и надводному борту применительно к малому быстроходному судну.

Необходимо, развивая теорию проектирования малых судов переходного режима движения, решить задачу по определению сил, действующих на корпус быстроходного судна во время его движения

Комплексный подход к проектируемому судну на начальных стадиях проекта можно базировать на новых критериях, которые могут быть получены с применением теорем Бэкингема и инструмента проектирования, известного как «дом качества».

Применение вышеупомянутых теорем показано на примере вывода формулы для критерия

$$Lo = 0,3 \frac{v^2}{ng^3 \sqrt{\Delta}} = \frac{0,3Fr_v^2}{n}.$$

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баадер Х. Разъездные, туристские и спортивные катера. – Л.: Судостроение, 1977. – 382 с.
2. Бронников А.В. Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1991. – 319 с.
3. Джон Р. Хойзер, Дон Клодинг. Дом качества. Курс на качество № 1. – Калуга, 1992. – С. 85-102.
4. Жинкин В.Б. Ходкость быстроходных судов. – Л.: ЛКИ, 1980. – 91 с.
5. Канифольский А.О. Относительная длина малых судов прибрежного плавания переходного режима движения: Зб. наук. праць національного університету кораблебудування. – Миколаїв: Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, 2010. – № 5. – С. 35-39.
6. Канифольский А.О. Термин «быстроходное малое судно прибрежного плавания»: Зб. наук. праць ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2010. – № 29. – С. 17-25.
7. Ногид Л.М. Теория проектирования судов. – Л.: Судпромгиз, 1955. – 480 с.
8. Опыт проектирования и постройки, состояние и перспективы малотоннажного судостроения: Тез. докл. научно-техн. конф. – Вып. НТО им. акад. А.Н. Крылова 79. – 1966. – 140 с.
9. Регистр судоходства Украины. Правила классификации и постройки малых судов. – В 3-х т. – Т. 1. – 70 с.
10. Справочник по малотоннажному судостроению / М.М. Аливагабов, Д.Л. Бирюкович, Ю.Л. Бирюкович, К.Л. Бирюкович, В.И. Васильев, Л.Г. Махаринский, Э.Ф. Мирошниченко, Б.Г. Мордвинов, А.И. Немзер, А.И. Павлов, И.А. Разгоняева, Д.И. Сквирский, А.Р. Скубко, В.П. Соколов, Е.И. Фишбейн, Л.Л. Хейфец, П.С. Якиширов. – Л.: Судостроение, 1988. – 573 с.
11. Bureau Veritas. Rules and Regulations for the Classification of Ships of less than 65 m in length. Part II-B. Hull Structure. Chapter 13. Light highspeed ships. – France: Imprimerie strasbourgeoise, 1990. – 16 p.
12. David Cash. Design Report Agile Surface Combatant (ASC) VT Total Ship Systems Engineering. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004. – 108 p.
13. International Maritime Organisation. SOLAS, London, 2009. – 421 p.

14. Prabhat K Pal, Dugald Peacock. *Preliminary design of high-speed monohull ferries // The Naval Architect.* – 2001. – № 9. – P. 19-22.
15. Per Werenskiold, Tor H. Vollen. *Preliminary design of semi-planing craft // Ship & Boat International.* – 1971. – № 2. – P. 20-22.

Стаття надійшла до редакції 24.03.2017

**Рецензент** – кандидат технічних наук, доцент, технічний директор Морського інженерного бюро **В.І. Тонюк**