

УДК 629.5

А.О. Канифольский, Ю.М. Ларкин

**ВМЕСТИМОСТЬ МАЛОТОННАЖНОГО СУДНА  
ПЕРЕХОДНОГО РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ**

*В статье рассмотрены современные методики расчета валовой и чистой вместимости судов. Предложены график и формулы для определения коэффициентов общей и продольной полноты корпуса судна до верхней палубы, для судов переходного режима движения. Эти данные могут быть использованы для построения эюры вместимости, которая учитывает современные требования к надводному борту судна и учитывает специфику формы судов переходного режима. Для трансформации эюры вместимости предложено использовать способ Лекенби.*

**Ключевые слова:** вместимость, эюра вместимости, малотоннажное судно, переходный режим движения.

*У статті розглянуті сучасні методики розрахунку валової і чистої місткості суден. Запропоновано графік і формули для визначення коефіцієнтів загальної та поздовжньої повноти корпусу судна до верхньої палуби, для суден перехідного режиму руху. Ці дані можуть бути використані для побудови еюри місткості, яка враховує сучасні вимоги до над-водного борту судна і специфіку форми корпусу суден перехідного режиму. Для трансформації еюри місткості запропоновано використовувати спосіб Лекенбі.*

**Ключевые слова:** вместимость, эюра вместимости, малотоннажное судно, переходный режим движения.

*The methods of calculating gross and net tonnage are considered in the article. The formulas for calculation of the block and longitudinal prismatic coefficients to the upper deck, for vessels of transitional mode, are proposed. These data can be used to construct capacity plan, which takes into account the current requirements for freeboard and takes into account the specifics of the hull shape of the fast ships. The method Lekenbi can be used for transformation of the capacity plan.*

**Keywords:** capacity, capacity plan, small ship, transitional mode.

**Постановка проблемы.** Под обеспечением вместимости, в теории проектирования судов, понимают такое соотношение объемов, при котором требуемый объем корпуса, надстроек и рубок соответствует фактическому объему и/или требуемая суммарная площадь палуб, платформ, ярусов судна соответствует его фактической площади. Для графического

описания вместимости всех помещений судна используют эпюру вместимости. Обычно определяют следующие виды грузоместности: теоретическая, киповая, зерновая, с единицами измерения  $\text{м}^3$ . Пассажировместимость и вместимость по накатной технике обычно измеряют числом пассажиров и числом единиц накатной техники. Рассматривая классификацию судов [1], можно отметить, что в переходном режиме движения могут эксплуатироваться пассажирские, грузопассажирские, туристические, лоцманские суда и суда обеспечения. Для этих типов судов, при расчете вместимости характерным будет применение уравнения связывающего требуемые и фактические площади палуб, платформ и ярусов судна. В дальнейшем, после определения минимально необходимых просветов между палубами и высот ярусов надстроек и рубок, можно перейти к объемам.

В настоящее время, существуют требования международной конвенции по обмеру судов, национальные правила и правила обмера судов, проходящих различными каналами (Суэцким, Панамским). Единицы измерения валовой  $GT$  и чистой  $NT$  вместимости, которая получена в результате применения конвенционных и национальных правил, в настоящий момент отсутствуют. При применении Суэцких правил обмера, единица измерения вместимости – регистровая тонна.

Разделение вместимостей на грузоместность и пассажировместимость нашло отражение в формуле для определения конвенционной чистой вместимости  $NT = k_2 V_c \left( \frac{4d}{3D} \right) + k_3 \left( N_1 + \frac{N_2}{10} \right)$ . Первая часть этого уравнения связана с грузоместностью ( $V_c$  – общий объем грузовых пространств), а вторая с пассажировместимостью ( $N_1$  и  $N_2$  – общее число пассажиров на судне). Валовая вместимость судна определяется по формуле  $GT = k_1 V$  и зависит от общего объема всех закрытых пространств на судне  $V$  и коэффициента  $k_1 = 0,2 + 0,02 \lg_{10} V$ .

Оба вида вместимости  $NT$  и  $GT$  заносятся в международное мерительное свидетельство и используются:

- как удостоверение судна;
- как параметр, который характеризует размеры судна, с целью применения к судну тех или иных требований международных конвенций и национальных правил;
- как показатель для получения с судна сборов за эксплуатационные услуги (услуги лоцмана, проход каналов, использование буксиров, доков, причалов и т.д.);
- как статистический показатель;
- определения стоимости фрахтования судна или его продажи.

Вопрос о валовой и чистой вместимости судна является, несомненно, важным, так как напрямую связан с начислением судовых сборов и применимостью к данному судну тех или иных национальных правил и требований международных морских конвенций. Поэтому судовладелец стремится получить судно с минимальными значениями валовой и чистой вместимости, при необходимой грузо- и/или пассажировместимости.

**Цель работы (Части общей проблемы, которые не решены ранее).** Необходимо определить максимальные значения валовой и чистой вместимости, которые будут характеризовать малотоннажное судно переходного режима движения, и предложить способ проектирования эпюры вместимости и ее последующей модификации, с целью придать судну необходимые мореходные и эксплуатационно-экономические качества.

**Изложение основного материала исследования.** Если рассматривать требования различных международных морских конвенций, то можно отметить, что эти требования зачастую применяются к судам длиной более чем 24 метра. В различных национальных Правилах длина малого судна определяется по-разному ( $L < 65\text{ м}$  – Bureau Veritas;  $L < 50\text{ м}$  – Lloyd's Register of Shipping;  $L < 24\text{ м}$  – Register of Shipping of Ukraine). Проблема определения длины, которая характеризует малотоннажное быстроходное судно, решена в [2]. В этой работе доказано, что длина малого быстроходного судна прибрежного района плавания  $L < 38\text{ м}$ .

Для быстроходных судов переходного режима движения, существует диапазон оптимальных значений соотношений их главных размерений. Относительная длина  $\frac{L}{B}$  от 5,5 до 7. Отношение ширины судна к

осадке  $\frac{B}{d}$  лежит в пределах от 4,2 до 5,3. Эти соотношения продиктованы соображениями снижения сопротивления воды движению судна в переходном режиме движения. Как известно, при движении судна с относительной скоростью характеризующейся числами Фруда по водоизмещению от 1 до 3 сопротивление воды движению значительно возрастает и возникает необходимость проектировать судно с параметрами, обеспечивающими минимум этой физической величины. После определения средних значений приведенных выше диапазонов соотношений главных размерений судна, появляется возможность рассчитать ширину и осадку малого судна, которое исследуется:  $L = 38\text{ м}$ ,  $B = 6,1\text{ м}$ ,  $d = 1,3\text{ м}$ . Высота борта может быть связана, для целей настоящего исследования, с требованиями к высоте надводного борта, которые предъявляет международная конвенция о грузовой марке. Например, для судна типа «В», длиной 38 метров и базисным надводным бортом  $F_b = 0,316\text{ м}$  высота борта составит  $D = 1,6\text{ м}$ .

Обычно валовая и чистая вместимости судна рассчитываются по формулам конвенции по обмеру судов. В случаях, когда невозможно по

тем или иным причинам применить формулы конвенции применяется упрощенный метод, который предлагает ИМО [3]. В формуле, для вычисления валовой вместимости,  $GT = aLBD$  учитываются длина, ширина, высота борта судна и коэффициент  $a$ , который зависит от значения кубического модуля  $LBD$ . Для исследуемого судна  $GT = aLBD = 0,58 \times 371 = 215$ . Чистая вместимость  $NT = 0,6GT = 0,6 \times 215 = 129$ . Если рассматривать длину быстроходного судна 24 м, как точку отсчета для применимости национальных украинских правил, то ширина судна, при такой длине, будет 3,8 м, осадка  $d = 0,8$  м и соответственно высота борта  $D = 1,0$  м. Валовая вместимость  $GT = aLBD = 53$ . Чистая вместимость  $NT = 0,6GT = 0,6 \times 53 = 32$ .

Для сравнения конвенционного и упрощенного методов расчета вместимости были выбраны три малотоннажных судна переходного режима движения, с избыточным надводным бортом. Конвенционный тоннаж этих судов был определен специалистами Bureau Veritas. Обычно требования конвенции применяются для судов длиной более чем 24 м. Одно из рассматриваемых судов имеет меньшую длину, но данные о конвенционном тоннаже этого судна есть в Register of ships BV. Результаты расчета вместимости по двум методикам приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета вместимости судов

Название судна	Длина судна	$Fr_L = \frac{v}{\sqrt{gL}}$	Конвенц. $GT$	Конвенц. $NT$	Метод ИМО $GT$	Метод ИМО $NT$
Sanergy Landok	26	0,8	126	37	282	169
Dharti II	13,2	0,45	35	12	90	54
New Frontiers Express	36,5	0,8	139	54	164	98

Формулы для приблизительной оценки  $GT$  и  $NT$ , для малотоннажных судов:  $GT = 1,1\Delta$  и  $NT = 0,34GT$ , где  $\Delta$  – водоизмещение судна.

Правила Регистра судоходства Украины по обмеру морских судов и судов смешанного плавания предлагают определять валовую вместимость судов длиной менее 24 м. по следующей формуле  $GT = 0,25(V_1 + V_2)$ . В эту расчетную формулу входят объем корпуса до верхней палубы  $V_1$  и общий объем всех закрытых пространств выше верхней палубы  $V_2$ . Объем корпуса до верхней палубы рассчитывается по

формуле  $V_1 = 0,68LBD$ . Объем  $V_2$  можно рассчитать  $V_2 = 0,8h_n L_n B_n$ , где  $h_n$ ,  $L_n$  и  $B_n$  – стандартная высота надстройки, ее длина и ширина. Высота стандартной надстройки, в соответствии с требованиями конвенции о грузовой марке 1,8 м, длину надстройки примем равной длине судна, максимально возможное значение. Валовая вместимость малого судна будет равна  $GT = 0,25(V_1 + V_2) = 0,25(0,68LBD + 0,8h_n L_n B_n)$ . После подстановки значений, получим  $GT = 49$ . Чистая вместимость  $NT$  судов составляет 30 % валовой вместимости  $NT = 0,3 \times 49 = 15$ .

Таблица 2

Максимальные значения  $GT$  и  $NT$  малого судна  
с минимальным надводным бортом

Длина судна $L = 38$ м	
Метод ИМО	
GT	NT
215	129

В вышеприведенной формуле, при расчете объема корпуса до верхней палубы  $V_1$ , предполагается, что коэффициент общей полноты корпуса судна до верхней палубы равен  $c_{bud} = 0,68$ ,  $V_1 = 0,68LBD$ . Требуется уточнить значение этого коэффициента для малотоннажных судов переходного режима  $V_1 = c_{bud}LBD$ . Представим объем корпуса до верхней палубы судна как сумму объемного водоизмещения и запаса плавучести  $c_{bud}LBD = c_b Lbd + c_w LBF_b$ . В формуле для запаса плавучести предполагается, что значение коэффициента полноты площади ватерлинии  $c_w$ , длина и ширина судна изменяются незначительно, в пределах высоты надводного борта судна  $F_b$ . После преобразований формула для расчета объема корпуса судна до его верхней палубы примет вид  $c_{bud} = \frac{c_b d}{D} + \frac{c_w F_b}{D}$ . Из этого выражения видно, что коэффициент  $c_{bud}$  зависит от значений коэффициентов общей полноты и полноты ватерлинии, а также от отношений осадки и надводного борта к высоте борта судна. Значения отношений  $\frac{d}{D}$  и  $\frac{F_b}{D} = \frac{D-d}{D} = 1 - \frac{d}{D}$  для судов с минимальным надводным бортом, возможно, определить, используя данные международной конвенции о грузовой марке. Одно из определений этой конвенции – «стандартное судно», которое имеет отношение длины судна к высоте борта  $\frac{L}{D} = 15$ . Используя таблицу базисного надводного борта для судов типа «В», длиной до 38 м, можно получить значение отношения

$\frac{d}{D} = 0,88$ . После подстановки этого значения в формулу для расчета коэффициента  $c_{bud}$ , формула примет вид  $c_{bud} = 0,88c_b + 0,12c_w$ . Для судов с избыточным надводным бортом отношение  $\frac{d}{D}$  можно принять равным 0,67 [4]. Такое значение характерно для быстроходных автомобильно-пассажирских паромов (один из вариантов малотоннажного судна переходного режима движения) и для этого типа судов формула расчета коэффициента  $c_{bud}$  примет вид  $c_{bud} = 0,67c_b + 0,33c_w$ . Приемлемые значения коэффициентов  $c_b$  и  $c_w$ , для судов переходного режима, лежат в довольно узких пределах [5], что продиктовано соображениями снижения сопротивления воды при движении судна. Рекомендуемое значение коэффициента общей полноты судна находится в диапазоне от 0,4 до 0,6. Выбор коэффициента  $c_w$  связан с формой ватерлинии судна и принимает среднее значение около 0,82. Расчеты коэффициента  $c_{bud}$  по обеим формулам представлены на рис. 1.

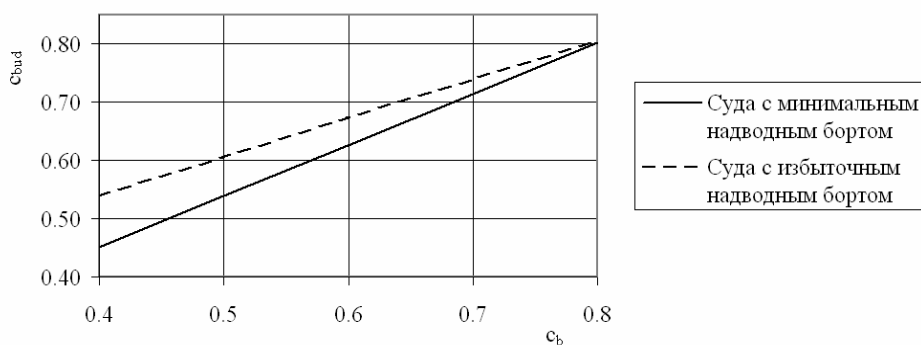


Рис. 1. Значения коэффициента  $c_{bud}$  для судов с различными типами надводного борта

Классическое уравнение грузовместимости

$$W = (k_1 k_2 L - k_3 l_m)(D - h_{\partial\partial})B,$$

предложенное Л.М. Ногидом, учитывает высоты борта  $D$  и двойного дна  $h_{\partial\partial}$ ; длину судна и длину машинного отделения  $l_m$ ; ширину судна  $B$  и ряд коэффициентов, характеризующих устройство и форму корпуса судна. После решения этого уравнения можно приступить к сравнению требуемой и фактической грузовместимости.

Для быстроходных судов, как уже было отмечено, характерными видами грузов будут пассажиры (пассажирский вариант), пассажиры и груз на накатных палубах (грузопассажирский вариант), для туристических и лоцманских судов необходимо обеспечить площади и объемы корпуса для расположения экипажа и отдыхающих. Все эти варианты применения быстроходных судов переходного режима движения предполагают наличие площадей для размещения составляющих весовой нагрузки. Поэтому логичным будет применение уравнений связывающих требуемую и фактическую площадь для размещения всех компонентов входящих в уравнение вместимости [5].

Число пассажиров должно соответствовать числу предназначенных для них мест (спальных или сидячих), а для палубных пассажиров – площади палуб, пригодных для их расположения [6]. В этом же первоисточнике даются рекомендации по проектированию площадей на судах прибрежного плавания. Эти данные также изложены в требованиях к необходимым площадям на судах различных категорий и групп, которые изложены в санитарных правилах для морских судов.

В процессе проектирования важно учесть требования к различным качествам будущего судна. И именно поэтому составляются различные системы уравнений, которые связывают эти качества.

Например, если рассмотреть метод трансформации теоретического чертежа по Лекенби, реализованный в программе FREE!ship (рис. 2), то здесь возможно приведение в соответствие плавучести, ходкости судна и данных, полученных в результате расчета весовой нагрузки судна.

Этот способ трансформации основан на перемещении шпангоутов исходного чертежа в другие точки по длине судна. Следствием этой операции будет перемещение ординат строевой по шпангоутам.

Для определения приращения  $dx$  Лекенби предлагает следующую формулу:  $dx = C(1-x)(x+a)$ . Далее вводятся граничные условия:

- при  $x = 1$ ,  $dx = 0$ ;
- при  $x = p$ ,  $dx = dp = C(1-p)(p+a)$ ;
- $dc_p = \int_0^1 \int_0^1 dx dy$ .

После преобразований получим

$$dc_p = C \int_0^1 (x - x^2 - p + px) dy + \frac{dp}{1-p} \int_0^1 (1-x) dy.$$

Так как  $\int_0^1 dy = 1$ ;  $\int_0^1 x dy = \varphi$ ;  $\int_0^1 x^2 dy = 2c_p l_c$ , то после интегриро-

вания получим  $dc_p = C(c_p - 2c_p l_c - p + pc_p) + \frac{dp}{1-p}(1-c_p)$ .

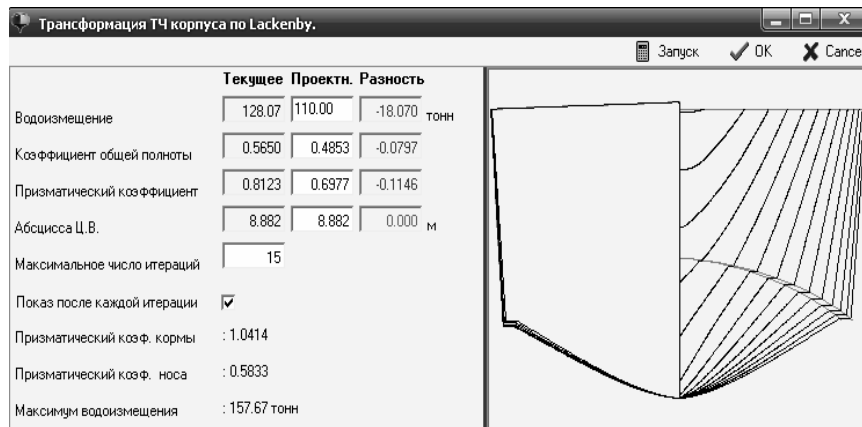


Рис. 2. Трансформация теоретического чертежа судна в программе FREE!ship

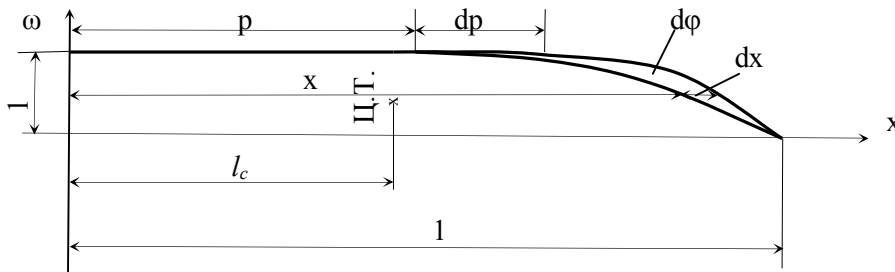


Рис. 3. Изменение строевой по шпангоутам по методу Лекенби

После определения коэффициентов  $C$  и  $a = \frac{dp}{C(1-p)} - p$  и подстановки их в формулу  $dx = dp = C(1-p)(p+a)$  получим

$$dx = (1-x) \left[ \frac{dp}{1-p} + \frac{x-p}{A} \left( dc_p - dp \frac{1-c_p}{1-p} \right) \right].$$

В этой формуле  $A = c_p(1-2l_c) - p(1-c_p)$ . В частном случае, когда  $p$  – длина цилиндрической вставки в долях полудлины судна равна 0 и ее приращение  $dp = 0$ , формула для определения приращения абсциссы шпангоута  $dx$  примет вид

$$dx = \frac{x(1-x)}{1-2l_c} \frac{dc_p}{c_p}.$$

В выше формулах  $\omega$  – площади шпангоутов в долях площади мидель-шпангоута;  $x$  – абсциссы шпангоутов в долях полудлины судна;  $dx$  – приращения этих абсцисс;  $p$  – длина цилиндрической вставки в в долях полу-



длины судна;  $l_c$  – абсцисса центра величины рассматриваемой половины судна.

Используя метод Лекенби можно получить строевую по шпангоутам с заданным коэффициентом продольной полноты, что является одним из факторов, который будет обеспечивать судну минимум сопротивления воды при движении судна. Используя данные о надводном борте  $F$ , которые предложены конвенцией о грузовой марке и зная ширину проектируемого судна можно построить эпюру вместимости для этого судна (рис. 4). Примечателен тот факт, что конвенция не предъявляет требований к высоте надводного борта в кормовой части судна  $F_a$  и содержит ограничения для надводного борта в носовой части судна и на миделе. Для проектирования кормового надводного борта возможно применение Правил [7] к судам длиной менее чем 24 м. Минимальная высота надводного борта в корме, на кормовом перпендикуляре при наибольшем расчетном дифференте на корму, должна составлять не менее половины высоты надводного борта в носу.

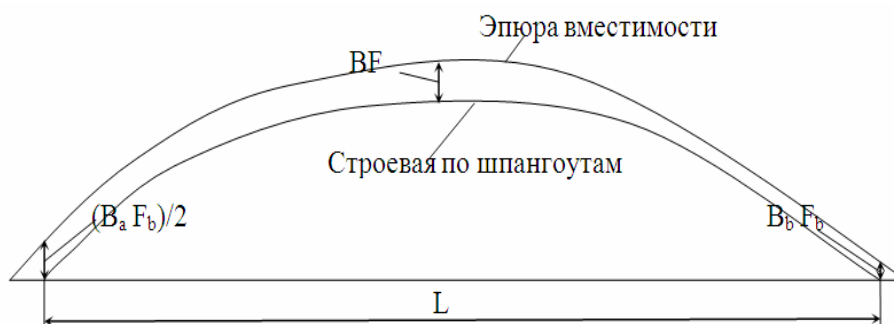


Рис. 4. Формирование эпюры вместимости с учетом требований к надводному борту судна и его ходкости

Для судов портового и рейдового плавания допускается снижение высоты надводного борта в носу и в корме. При этом высота в носу должна оставаться не менее 0,5 м, а высота в корме – не менее минимальной высоты в средней части судна. Данные об изменении ширины судна, в зависимости от расположения поперечного сечения по длине корпуса, можно получить, исследуя кривые предложенные Власовым. Анализ этих кривых, для носовой части ватерлинии, предложен в [5] и выбрана оптимальная кривая для судов переходного режима движения.

Полученную таким образом эпюру вместимости можно трансформировать, используя метод Лекенби, предварительно заменив коэффициент продольной полноты  $c_p$  на коэффициент продольной полноты корпуса судна до верхней палубы  $c_{pud}$ , в формуле для расчета

$$dx = (1-x) \left[ \frac{dp}{1-p} + \frac{x-p}{A} (dc_{pud} - dp \frac{1-c_{pud}}{1-p}) \right].$$

Значение коэффициента  $c_{pud}$  может быть получено следующим образом. Как известно коэффициент продольной полноты корпуса судна может быть получен в результате деления коэффициента общей полноты на коэффициент полноты

площади мидель-шпангоута  $c_p = \frac{c_b}{c_m}$ . Проведем аналогию между коэффициентом общей полноты корпуса судна  $c_b$  и коэффициентом общей полноты корпуса до верхней палубы  $c_{bud}$ , можно записать  $c_{pud} = \frac{c_{bud}}{c_{mud}}$ . Используя приведенные выше формулы для коэффициента  $c_{bud}$  и учитывая, что коэффициент полноты площади мидель-шпангоута мало изменится в результате изменения осадки судна, считая от проектной ватерлинии до верхней палубы  $c_m \approx c_{mud}$ , получим формулы для судов с минимальным и избыточным надводным бортом соответственно  $c_{pud} = 0,88c_p + 0,12 \frac{c_w}{c_m}$  и  $c_{pud} = 0,67c_p + 0,33 \frac{c_w}{c_m}$ . Используя эти формулы и метод Лекенби, появляется возможность изменять эпюру вместимости проектируемого судна.

**Выводы.** Из приведенных выше рассуждений видно, что при применении упрощенной методики ИМО, значения валовой и чистой вместимости, а значит и требования к судну и расходы, связанные с его эксплуатацией значительно выше, чем при применении требований Правил. Такая же картина наблюдается и при сравнении упрощенного метода ИМО и метода предлагаемого в конвенции по обмеру судов.

Валовая вместимость малого судна с минимальным надводным бортом  $GT < 215$ . Чистая вместимость малотоннажного судна  $NT < 129$ . Возможно применение графиков и формул, предложенных в статье, для определения коэффициентов общей и продольной полноты корпуса судна до верхней палубы. Эти данные рекомендованы для судов переходного режима движения.

Предложенный способ построения эпюры вместимости основан на современных требованиях к надводному борту судна и учитывает специфику формы судов переходного режима.

Способ Лекенби для получения трансформированных строевых по шпангоутам может быть применен при проектировании эпюры вместимости.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бронников А.В. Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1991. – 319 с.
2. Канифольский А.О. Термин «быстроходное малое судно прибрежного плавания» // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2010. – № 29. – С. 17-25.
3. MSC/Circ.653. Simplified tonnage calculation for existing ships which do not have their gross tonnage determined in accordance with the 1969 tonnage convention. – 2 с.
4. Канифольский А.О. Определение главных размерений быстроходных однокорпусных водоизмещающих судов на начальных стадиях проектирования: Дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук / А.О. Канифольский; Одесский национальный морской университет. – Одесса, 2003. – 153 с.
5. Канифольский А.О. Анализ основных параметров формы быстроходных однокорпусных водоизмещающих судов // Вісник ОДМУ. – 2001. – № 6. – С. 62-68.
6. Регистр судоходства Украины. Правила освидетельствования судов. – К.: Регистр судоходства Украины, 2005. – 573 с.
7. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. – Т. 3. – СПб., 2007.

Стаття надійшла до редакції 09.09.2014 р.

#### Рецензенти:

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **О.В. Демідюк**

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