



**Yuriy N. Korobanov**  
Коробанов  
Юрий  
Николаевич

УДК 629.5.001  
К 68

## DESIGNS THAT CAN AFFECT THE STABILITY OF SOME SMALL AND HIGH-SPEED VESSELS

**КОНСТРУКЦИИ, СПОСОБНЫЕ ВЛИЯТЬ НА ОСТОЙЧИВОСТЬ НЕКОТОРЫХ МАЛЫХ И СКОРОСТНЫХ СУДОВ**

DOI 10.15589/SMI20170112

**Yuriy N. Korobanov**

Ю. Н. Коробанов, д-р техн. наук  
yuriy.korobanov@nuos.edu.ua  
ORC ID: 0000-0002-1017-3939

**Anatoliy I. Kuznetsov**

А. И. Кузнецов, к-т техн. наук  
anatolii.kuznetsov@nuos.edu.ua  
ORC ID: 0000-0001-5149-3181

**Alla A. Korobanova**

А. А. Коробанова, студ.  
111016@nuos.edu.ua  
ORC ID: 0000-0002-2841-1659



**Anatoliy I. Kuznetsov**  
Кузнецов  
Анатолий  
Иванович

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev*

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев*

**Abstract.** Constructive designs used in shipbuilding of high-speed catamarans with a small waterline area for increase of their operation reliability have been subjected to analysis. The paper deals with possibilities of increasing the longitudinal stability and implementing the constructional designs described in the publications of various authors. General dependencies are devised for determining the main constructional elements of the equipment which allows for increasing stability. Critical remarks on some defects of the mentioned designs are made.

**Keywords:** constructional designs, high-speed catamarans, small waterline area, operation reliability.

**Анотация.** Анализу подвергнуты конструктивные решения, используемые в судостроении скоростных катамаранов с малой площадью ватерлинии способные привести к повышению надежности их эксплуатации. Речь идет о возможных путях повышения продольной остойчивости, о реализации конструктивных мер, описываемых в литературных источниках. Получены общие зависимости, позволяющие определять основные конструктивные элементы устройств, способных повышать остойчивость. Даны также критические замечания по некоторым недостаткам описанных конструкций.

**Ключевые слова:** конструктивные решения, скоростные катамараны, малая площадь ватерлинии, надежность эксплуатации.

**Анотація.** Анализу підведені конструктивні рішення, які використовуються в суднобудуванні швидкісних катамаранів з малою площею ватерлінії, здатні підвищити надійність їх експлуатації. Мова йде про можливі шляхи підвищення продовжної остійності, а також про реалізацію конструктивних заходів, що описані в літературних джерелах. Отримані загальні залежності, які дозволяють визначити основні конструктивні елементи пристроїв здатних підвищувати остійність. Приведено також критичні зауваження стосовно деяких недоліків описаних конструкцій.

**Ключові слова:** конструктивні рішення, швидкісні катамарани, мала площина ватерлінії, надійність експлуатації.

### References

- [1] Korobanov Yu., Kuznetsov A., Korobanova A. *Constructive tendencies of speed increase of small and high-speed vessels*. Shipbuilding and marine infrastructure, 2014, no.2(2), p. 65–78.
- [2] Tokmakov A.A. *Podvodnye transportnyye suda* [Underwater transport vessels]. Leningrad, Sudostroeniye Publ., 1965. 267 p.
- [3] Mitsui Dzosen K.K. *Ustroystvo dlya stabilizatsii plavaniya malogo sudna* [Device for the small vessel stabilization]. Patent Japan no. 58–14357.
- [4] Mitsui Dzosen K.K. *Reguliruyushcheye ustroystvo dlya sozdaniya podyomnoy sily vytesneniya vody na polupogruzhnom sudne* [Adjustment device for creating a lifting force by water displacement on a semisubmersible vessel]. Patent Japan no. 58–24315.



**Alla A. Korobanova**  
Коробанова  
Алла  
Андреевна

- [5] Mitsui Dzosen K. K. *Ustroystvo dlya sozdaniya plavuchesti putem otkachki vody na polupogruzhnom sudne* [Device for creating buoyancy by pumping water on a semisubmersible vessel]. Patent Japan no. 58–113156.
- [6] Mitsui Dzosen K. K. *Polupogruzhnoye sudno* [Semisubmersible vessel]. Patent Japan no. 58–113155.

**Problem Statement.** Constructive designs proposed in other publications are subjected to analysis as a means of increasing the longitudinal stability of catamarans with a small waterline area, as well as other small and high-speed vessels. For greater clarity, all the constructional designs concerned are illustrated in Fig. 1.

**Latest research and publications analysis.** General view of the high-speed catamaran with a small waterline area is shown in Fig. 1, *a*. Its design provides for two underwater hulls, which are located below the waterline and connected to a common surface platform by vertical stands. Accommodation, cargo and office facilities are located on the platform, while the main energy mechanisms are in the underwater cigar-shaped hulls. Due to the small waterline area, such vessels have a relatively small longitudinal stability.

**THE ARTICLE AIM** is to determine the potential possibilities for increasing the longitudinal stability of small and high-speed vessels by means of constructive measures. It is also intended to assess the basic dimensions of the structures that can increase stability. Critical assessment of the viability of constructive designs will form a direction for the improvement of the suggested solutions.

**Basic material.** Fig. 1, *b* illustrates the position of the underwater rudder on the operating vessel [1]. The picture was taken in the motion mode, and it can be seen through the clear water that the horizontal rudder of the balancer type has a small elongation and a trapezoidal shape in the plan view.

Horizontal rudders are directed from the underwater hulls towards the center plane, so that the mooring does not damage them. The desire to use the advantages of the high-speed catamarans with a small waterline area in small and high-speed shipbuilding has led to the emergence of the constructive designs similar to that shown in Fig. 1, *c*. Since these vessels have a higher draft than conventional displacement ships, the underwater hulls are made kinematically moving. In other words, if there are no restrictions on the draft, the hulls are let below the waterline and the vessel acquires the features of a high-speed catamaran with a small waterline area. At the limited draft or mooring, the hulls are lifted up like it is shown in Fig. 1, *c*.

The combination of the devices affecting the longitudinal stability of the high-speed catamaran with a small waterline area is shown in Fig. 1, *d*. Horizontal rudders

**Постановка проблемы.** Проанализированы конструктивные решения, предлагаемые в литературных источниках, как средства способные повысить продольную остойчивость катамаранов с малой площадью ватерлинии, а также других малых и скоростных судов. Для большей наглядности все рассмотренные конструктивные решения проиллюстрированы на рис. 1.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Общий вид скоростного катамарана с малой площадью ватерлинии показан на рис. 1, *a*. Его конструкция предусматривает наличие двух подводных корпусов, располагаемых ниже ватерлинии и соединенных с общей надводной платформой стойками. На ней располагаются жилые, грузовые и служебные помещения, в подводных сигарообразных корпусах размещены главные энергетические механизмы. За счет малой площади ватерлинии такие суда обладают сравнительно малой продольной остойчивостью.

**ЦЕЛЬ СТАТЬИ** состоит в определении потенциальной возможности повышения продольной остойчивости малых и скоростных судов конструктивными мерами; предполагается дать оценку основным размерениям конструкций, способных повышать остойчивость, что, в свою очередь, поможет выбрать направление в совершенствовании принятых решений.

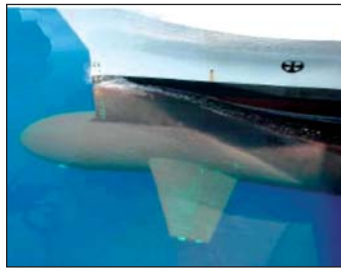
**Изложение основного материала.** Рис. 1, *b* показывает положение подводного руля на эксплуатируемом судне [1]. Снимок сделан в режиме движения и через прозрачную воду видно, что горизонтальный руль балансирующего типа имеет малое удлинение и трапециевидную форму в плане.

Горизонтальные рули обращены от подводных корпусов к диаметральной плоскости для того, чтобы при швартовке не повредить их. Стремление использовать скоростные преимущества катамаранов с небольшой площадью ватерлинии в малом и скоростном судостроении привело к появлению конструктивных решений, подобных, показанным на рис. 1, *b*. Поскольку такие суда имеют повышенную осадку по сравнению с обычными водоизмещающими, то подводные корпуса выполняются кинематически подвижными. В случае если ограничений по осадке нет, то корпуса опускаются ниже ватерлинии, и судно приобретает черты скоростного катамарана с малой площадью ватерлинии. При ограниченной осадке и швартовке корпуса поднимаются вверх, как это представлено на рис. 1, *b*.

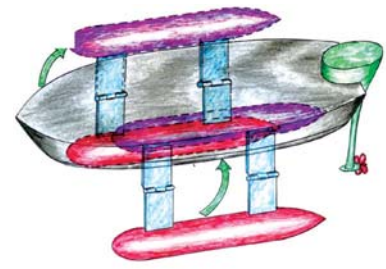
Комбинация устройств воздействия на продольную остойчивость скоростного катамарана с малой площадью ватерлинии изображена на рис. 1, *d*. В их состав входят горизонтальные рули и струйные системы, создающие упор распределением динамического



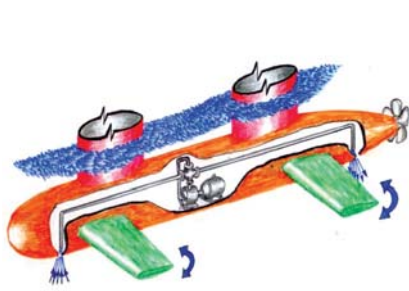
a)



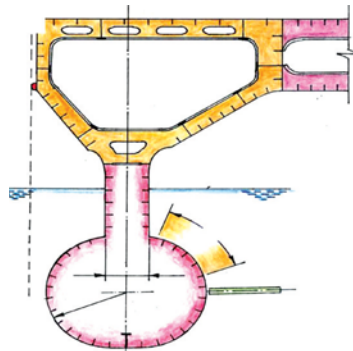
b)–б)



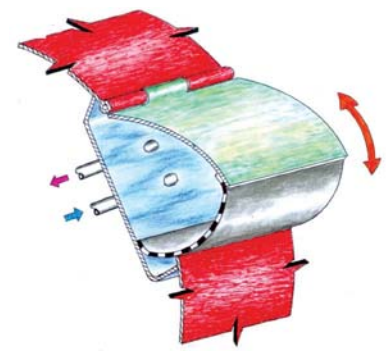
c)–в)



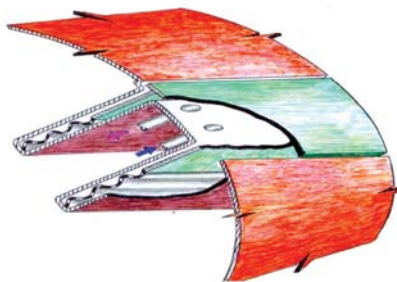
d)–г)



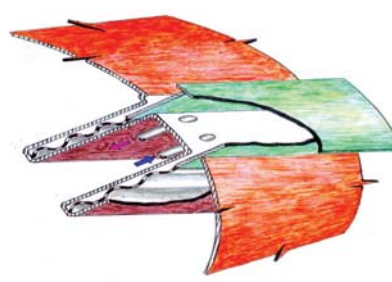
e)–д)



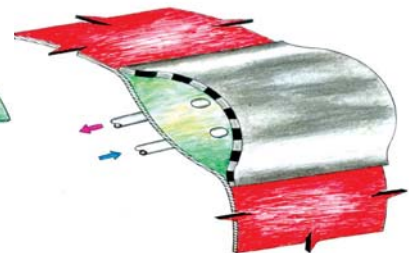
f)–е)



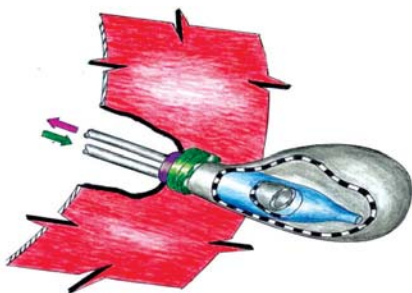
g)–ж)



h)–з)



i)–и)



j)–к)

**Fig. 1.** Structural layouts of the equipment increasing the longitudinal stability of high-speed catamarans with a small waterline area.

**Рис. 1.** Конструктивные схемы устройств повышения продольной устойчивости скоростных катамаранов с малой площадью ватерлинии.

a) — general view of the catamaran with a small waterline area/общий вид катамарана с малой площадью ватерлинии; b)–б) — general view of the horizontal rudder (stabilizer)/общий вид горизонтального руля (успокоителя качки); c)–в) — layout of the catamaran with kinematically moving underwater hulls/схема катамарана с кинематически подвижными подводными корпусами; d)–г) — layout of the combined operation of horizontal rudders and the jet system/схема совместного действия горизонтальных рулей и струйной системы; e)–д) — area of the possible location of additional buoyancy compartments in the midship half-section of the catamaran/зона возможного расположения дополнительных отсеков плавучести на миделевом полусечении катамарана; f)–е) — layout of the additional buoyancy with hard and soft hulls/схема дополнительной плавучести с жестким и мягким корпусами; g)–ж) — layout of the extendable buoyancy compartment (the buoyancy compartment is not extended)/схема выдвижного отсека плавучести (отсек плавучести не выдвинут); h)–з) — the same layout with the buoyancy compartment being extended та же схема с выдвинутым отсеком плавучести; i)–и) — layout of the elastic additional buoyancy compartment/схема эластичного отсека дополнительной плавучести; j)–к) — layout with an expansion shell/схема с расширительной оболочкой.



and jet systems which create thrust force by distributing dynamic flow of fluid can serve as such devices. For the first time such a system was proposed for the longitudinal stabilization of underwater transport vessels [2]. The constructive design is particularly important in the under-ice navigation mode. Apart from the devices containing horizontal rudders and jet systems, much attention is paid to the construction designs that can change the longitudinal stability of the catamaran by changing the underwater hulls buoyancy in the area of their extremities. Fig. 1, *e* with its example of the midship half-section of the catamaran with a small waterline area demonstrates the possible locations of additional means of buoyancy. As shown in Fig. 1, *d–j* such devices can have several constructive variations. It is recommended to pay special attention to the calculation of such structures and their volumes in order to outline the prospects of creating buoyancy to underwater hulls.

Fig. 1, *f* shows the general layout and basic dimensions of the additional buoyancy compartment consisting of a flexible shell connected to a hinged rigid cover [3]. As the air is received in the buoyancy compartment, consisting of a rigid cover and a flexible shell, which in turn connects it to the hull, the compartment volume and thus its buoyancy are changed. Changing buoyancy in one of the extremities of the underwater part of the hull leads to formation of the additional buoyancy force, which allows adjusting the longitudinal stability of the vessel.

Let us assume that the underwater part of the hull of the catamaran with a small waterline area has the radius of  $R_0$ , while the width of the stand connecting the underwater hull with the surface deck platform is equal to  $b_c$ . The condition of the agreed placement of the underwater part of the hull and the shell of the buoyancy compartment with the radius  $r_0$  is the presence of the common tangent line. This condition will prevent the shell of the buoyancy compartment from contact with the wall of the berthing facility at the vessel's mooring.

From the above mentioned conditions of arrangement of the buoyancy compartment with a hinged rigid cover and a soft pneumatic shell with the underwater part of the hull of the catamaran with a small waterline area of the radius  $R_0$  follows the condition for determining the curvature radius of the inflated pneumatic shell  $r_0$ .

$$r_0 = R_0 - \frac{b_c}{2}. \quad (1)$$

The central angle  $\varphi$  can be presented with the following expression:

$$\varphi = \arcsin \left( \frac{2R_0 - b_c}{4R_0} \right). \quad (2)$$

Coordinates of the mounting of the hinged rigid cover of the buoyancy compartment are determined given by the expressions

потока жидкости. Впервые такой способ предложен для продольной стабилизации подводных транспортных судов [2]. Особо важным такое конструктивное решение является в режиме подледного плавания.

Кроме устройств, содержащих горизонтальные рули и струйные системы большое внимание уделяется конструктивным решениям, способным изменять продольную остойчивость катамарана за счет модификации плавучести подводных корпусов в районе их оконечностей. На рис. 1, *d* на примере миделевого полусечения катамарана с малой площадью ватерлинии показаны места возможного расположения дополнительных средств плавучести. Как изображено на рис. 1, *e–k* подобные устройства могут иметь несколько конструктивных разновидностей. Расчетом таких конструкций с целью определения потенциальной возможностью создания плавучести и их объемов целесообразно уделить особое внимание.

На рис. 1, *e* представлена общая схема расположения и основные размерения дополнительного отсека плавучести, состоящего из гибкой оболочки, соединенной с жесткой, шарнирно откидной крышкой [3]. По мере подачи воздуха в отсек плавучести, в состав которой входит жесткая крышка и эластичная оболочка, связывающая ее с корпусом судна, изменяется объем отсека, следовательно, и его плавучесть. Подобное изменение в одной из оконечностей подводной части корпуса приводит к дополнительной силе плавучести, позволяющей корректировать продольную остойчивость судна.

Будем считать, что подводная часть корпуса катамарана с малой площадью ватерлинии имеет радиус  $R_0$ , ширина стойки, объединяющей подводную часть корпуса с надводной палубной платформой  $b_c$ . Условием согласованного размещения подводной части судового корпуса и оболочки отсека плавучести радиуса  $r_0$  должна быть общая касательная, что предохранит от контакта оболочку отсека плавучести со стеной причального сооружения при швартовке судна.

При изложенных выше параметрах компоновки отсека плавучести, имеющего жесткую откидную крышку и мягкую пневматическую оболочку с подводной частью корпуса катамарана с малой площадью ватерлинии и радиусом  $R_0$ , вытекает условие определения радиуса кривизны, надутой пневмооболочки  $r_0$ .

$$r_0 = R_0 - \frac{b_c}{2}. \quad (1)$$

Центральный угол  $\varphi$  может быть представлен таким выражением:

$$\varphi = \arcsin \left( \frac{2R_0 - b_c}{4R_0} \right). \quad (2)$$

Координаты крепления откидной жесткой крышки отсека плавучести определяются по формуле:

$$y_p = \frac{1}{2} \sqrt{4R_0^2 - b_c^2}. \quad (3)$$

$$y_p = \frac{1}{2} \sqrt{4R_0^2 - b_c^2}. \quad (3)$$

$$x_p = \frac{b_c}{2}. \quad (4)$$

The sectional area of the buoyancy compartment  $S$  (its layout is shown in Fig. 2) is a function of the parameter of the angle  $\alpha$  (the value by which the hinged rigid cover can be opened) and is calculated using the expression

$$S = \frac{\pi r_0^2 \alpha}{360}. \quad (5)$$

The required volume of the buoyancy compartment is determined by the product of the sectional area  $S$  from expression (5) and the compartment length. The complete description of the buoyancy compartment layout shown in Fig. 2 should also include the coordinates of the mounting of the soft pneumatic shell to the underwater hull of the catamaran with a small waterline area. These coordinates are equal to

$$x_H = \frac{r_0}{4R_0^2} \sqrt{(4R_0^2 - r_0^2)(4R_0^2 - b_c^2)} + b_c \left( \frac{1}{2} - \frac{r_0^2}{4R_0^2} \right). \quad (6)$$

$$y_H = \left( \frac{1}{2} - \frac{r_0^2}{4R_0^2} \right) \sqrt{4R_0^2 - r_0^2} - \frac{r_0 b_c}{4R_0^2} \sqrt{4R_0^2 - r_0^2}. \quad (7)$$

Dependencies (1–7) allow setting the basic parameters of the additional buoyancy compartment shown in Fig. 1, *f* at the initial stages of designing. That, in turn, allows assessing the potential possibility of increasing the longitudinal stability of the catamaran with a small waterline area.

Another structure that can contribute to the increase of the longitudinal stability of the catamaran with a small waterline area is demonstrated in Fig. 1, *g–h*. According

$$x_p = \frac{b_c}{2}. \quad (4)$$

Площадь поперечного сечения отсека плавучести  $S$ , указанного на рис. 2, является функцией параметра угла  $\alpha$ , на величину которого поднимается откидная жесткая крышка и находится следующим образом:

$$S = \frac{\pi r_0^2 \alpha}{360}. \quad (5)$$

Требуемый объем отсека плавучести определяется произведением площади сечения  $S$  из выражения (5) на его протяженность. Для полного описания схемы, показанной на рис. 2 следует указать на координаты крепления мягкой пневматической оболочки к подводной части корпуса катамарана с малой площадью ватерлинии. Эти координаты равны:

$$x_H = \frac{r_0}{4R_0^2} \sqrt{(4R_0^2 - r_0^2)(4R_0^2 - b_c^2)} + b_c \left( \frac{1}{2} - \frac{r_0^2}{4R_0^2} \right). \quad (6)$$

$$y_H = \left( \frac{1}{2} - \frac{r_0^2}{4R_0^2} \right) \sqrt{4R_0^2 - r_0^2} - \frac{r_0 b_c}{4R_0^2} \sqrt{4R_0^2 - r_0^2}. \quad (7)$$

Приведенные зависимости (1–7) позволяют установить основные параметры дополнительного отсека плавучести, изображенного на рис. 1, *e* уже на начальных стадиях проектирования, что дает возможность оценить потенциальное повышение продольной остойчивости катамарана с малой площадью ватерлинии.

Еще одна конструкция, способная привести к усилению продольной остойчивости катамарана с малой площадью ватерлинии, представлена на рис. 1, *ж–з*. Согласно общей конструктивной схеме [4], увеличение плавучести оконечностей подводного корпуса осуществляется за счет выдвигания, подаваемым воздухом П-образного коробчатого профиля. Общая расчетная схема такой конструкции показана на рис. 3.

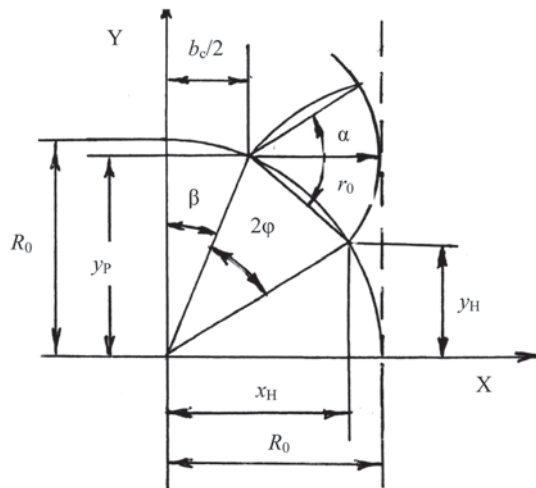
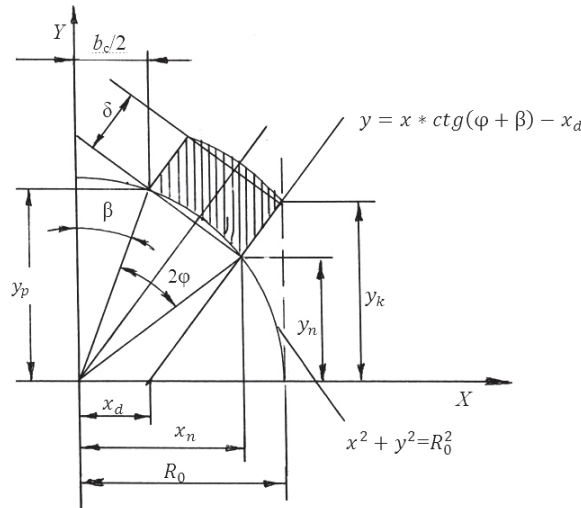


Fig. 2. Estimated compartments scheme buoyancy shown in Fig. 1, *f*.

Рис. 2. Расчетная схема отсека плавучести, приведенного на рис. 1, *e*



**Fig. 3.** Estimated compartments scheme buoyancy shown in Fig. 1, g–h

**Рис. 3.** Расчетная схема отсека плавучести, приведенного на рис. 1, ж–з

to the general layout [4], increasing the buoyancy of the underwater hull extremities is realized through extending the U-shaped box profile by means of air pumping. The general calculation layout of such a structure is presented in Fig. 3. The kinematic mobility of the U-shaped box profile provides a flexible goffered seal which connects the profile with the underwater part of the hull of the high-speed catamaran of a small waterline area. For clarity, Fig. 1, g shows the U-shaped box profile in the initial and not the extended position. In Fig. 1, h, the same profile is shown in the extended state.

In Fig. 3, the sectional area formed by extension of the box profile defines a potential addition to buoyancy in case of using the structure under consideration.

Like in case of the previous structure, we assume that the underwater part of the hull of the catamaran with a small waterline area has the radius of  $R_0$ , and the width of the stand connecting the underwater part of the hull with the surface deck platform is  $b_c$ . The condition of the agreed placement of the underwater part of the hull and the U-shaped box profile in the position extended by the value  $\delta$  is their common vertical line corresponding to the position of the moorage wall. This condition will prevent the shell of the buoyancy compartment from contact with the moorage wall when mooring the vessel. The sectional area of the buoyancy compartment, which can affect the stability of the vessel (this area is shaded in Fig. 3) is determined by the following expression.

$$S = 2\delta R_0 \sin \varphi. \quad (8)$$

Expression (8) includes two unknown quantities, the central angle  $\varphi$  and the value of the U-shaped box profile displacement  $\delta$ . One of these quantities should be taken as a parameter, namely  $\varphi$ . Then  $\delta$  is calculated with the use of the following dependency:

Кинематическую подвижность П-образного коробчатого профиля обеспечивает гибкое гофрированное уплотнение, которое соединяет профиль с подводной частью корпуса скоростного катамарана малой площади ватерлинии. Для наглядности, на рис. 1, ж П-образный коробчатый профиль отображен в исходном, не выдвинутом положении. На рис. 1, з этот же профиль изображен в выдвинутом состоянии. Область сечения, образуемого при выдвигании коробчатого профиля, определяет потенциально возможное дополнение плавучести в случае использования рассматриваемой конструкции (рис. 3).

Как и в предыдущей конструкции считаем, что подводная часть корпуса катамарана с малой площадью ватерлинии имеет радиус  $R_0$ , ширина стойки, соединяющей подводную часть корпуса с надводной палубной платформой  $b_c$ . Условием согласованного размещения подводной части судового корпуса и П-образного коробчатого профиля в выдвинутом положении на величину  $\delta$  является их общая, вертикальная прямая, отвечающая положению швартовой причальной стенки, что предохранит от контакта оболочку отсека плавучести со стенкой причального сооружения при швартовке судна. Площадь сечения отсека плавучести, способного повлиять на остойчивость судна (эта область заштрихована на рис. 3, определяется таким образом:

$$S = 2\delta R_0 \sin \varphi. \quad (8)$$

В выражение (8) входят две неизвестные величины, центральный угол  $\varphi$  и величина смещения П-образного коробчатого профиля  $\delta$ . Одну из них следует принять в виде параметра, а именно  $\varphi$ . Тогда  $\delta$  характеризуется зависимостью:

$$\delta = \sqrt{(R_0 - x_n)^2 + (y_k - y_n)^2}. \quad (9)$$

Где входящие величины в (9) равны

$$x_n = \frac{2R_0^2}{b_c \cos \varphi + \sin \varphi \sqrt{4R_0^2 - b_c^2}}; \quad (10)$$

$$\delta = \sqrt{(R_0 - x_n)^2 + (y_k - y_n)^2}. \quad (9)$$

Where the input quantities for (9) are equal to

$$x_n = \frac{2R_0^2}{b_c \cos \varphi + \sin \varphi \sqrt{4R_0^2 - b_c^2}}; \quad (10)$$

$$y_n = \frac{R_0 \cos(\varphi + \beta)}{\sin(\varphi + \beta)}; \quad (11)$$

$$y_k = R_0 \left[ ctg(\varphi + \beta) - \frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi + \beta)} \right]. \quad (12)$$

The angle  $\beta$  is calculated depending on the stand width  $b_c$  using the expression

$$\beta = \arcsin\left(\frac{b_c}{2R_0}\right). \quad (13)$$

The given dependencies (8–13) allow setting the basic parameters of the additional buoyancy compartment shown in Fig. 1, *g–h* at the initial stages of designing. That, in turn, enables assessing the potential possibilities for increasing the longitudinal stability of the catamaran with a small waterline area equipped with such a device.

The structure, which can also adjust the stability of the high-speed catamaran with a small waterline area is presented in Fig. 1, *i* [5]. The calculation layout of the buoyancy compartment given in Fig. 1, *i* is shown in Fig. 4. Additional buoyancy is created by the tensile deformation of the elastic membrane which is a part of the outer cover of the underwater hull of the catamaran. The tensile deformation occurs at the excess pressure air supply to the cavity between the rigid housing and the membrane itself. The elastic membrane is made of a rubber-like material.

Devising the calculation procedure of the assessment of the operational characteristics of the device, which is shown in Fig. 4, one should consider the particularities of the deformation of elastic structures. Thus, the tensile deformation of the elastic membrane should not exceed 20%. On the basis of this condition, the ratio of the elastic membrane arc length before and after deformation is equal to.

$$y_n = \frac{R_0 \cos(\varphi + \beta)}{\sin(\varphi + \beta)}; \quad (11)$$

$$y_k = R_0 \left[ ctg(\varphi + \beta) - \frac{\sin \varphi}{\cos(\varphi + \beta)} \right]. \quad (12)$$

Угол  $\beta$  определяется в зависимости от ширины стойки  $b_c$  выражением:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{b_c}{2R_0}\right). \quad (13)$$

Приведенные зависимости (8–13) позволяют установить основные параметры дополнительного отсека плавучести, изображенного на рис. 1, *ж–з* уже на начальных стадиях проектирования, что позволяет оценить потенциальную возможность повышения продольной остойчивости катамарана с малой площадью ватерлинии, снабженного таким устройством.

Конструкция, которая также способна скорректировать остойчивость скоростного катамарана с малой площадью ватерлинии, изображена рис. 1, *и* [3]. Расчетная схема отсека плавучести, представленного на рис. 1, *и* показана, на рис. 4. Дополнительная плавучесть создается за счет деформаций растяжения эластичной мембраны, являющейся частью наружной обшивки подводного корпуса катамарана. Деформации растяжения происходят при подаче воздуха избыточного давления в полость между жестким корпусом и непосредственно эластичной мембраной, которая изготавливается из резиноподобного материала.

При формировании расчётной процедуры оценки эксплуатационных показателей устройства, приведённой на рис. 4, следует учитывать особенности деформирования эластичных конструкций: растяжения эластичной мембраны не должны превышать 20%. Исходя из этого условия соотношение длины дуги эластичной мембраны до и после деформирования равно:

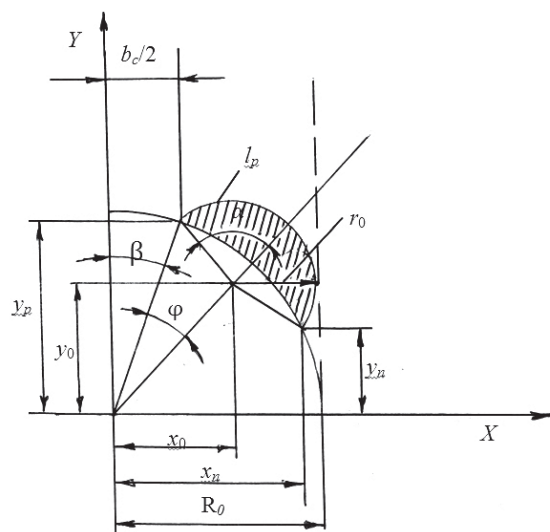


Fig. 4. Estimated compartments scheme buoyancy shown in Fig. 1, *i*

Рис. 4. Расчетная схема отсека плавучести, приведенного на рис. 1, *и*.



Where

$$l_p = 1,2l_0. \quad (14)$$

$$l_p = 2\alpha r_0. \quad (15)$$

$$l_0 = 2\varphi R_0. \quad (16)$$

Here,  $\varphi$  and  $\alpha$  are the central angles of the membrane before and after deformation. Transformation of the expressions (14–16) allows receiving the radius of the membrane deformed by the excess air pressure.

$$r_0 = \frac{1,2\varphi R_0}{\alpha}. \quad (17)$$

The condition under which the contact between the elastic membrane and the berthing facility is excluded requires them to have a common tangent line to the rigid underwater hull of the vessel and the elastic membrane in the deformed state. Then the coordinates of the center of the deformed membrane are as follows:

$$x_0 = R_0 - r_0. \quad (18)$$

$$y_0 = x_0 \operatorname{ctg} \varphi + \beta. \quad (19)$$

The angle  $\beta$  is calculated with the use of dependency (13). If we take the undeformed elastic membrane arc length  $l_0$  as a variable parameter, then the angle  $\varphi$  can be determined from expression (16). The angle  $\alpha$  in the expression (17) is determined from the correlation of the deformed elastic membrane arc length  $l_p$  and its central angle  $\alpha$ .

$$\alpha = \frac{360l_p}{2\pi r_0}. \quad (20)$$

In turn,  $r_0$  is determined from the condition that the chords of the undeformed and deformed elastic membrane are equal.

$$R_0 \sin \varphi = r_0 \sin \alpha; \quad (21)$$

hence

$$r_0 = R_0 \frac{\sin \varphi}{\sin \alpha}. \quad (22)$$

Substituting (22) into (20) leads to the function:

$$\frac{\sin \alpha}{\alpha} = \frac{\pi R_0 \sin \varphi}{216l_0}. \quad (23)$$

The function  $\frac{\sin \alpha}{\alpha}$  may be determined using the tables  $\frac{\sin x}{x}$  by F.R. Nitochkin, which were published in «News of the Soft Shells Laboratory» (Vladivostok, FEHEMC Publ., issue 4, 1968, pp. 4–68).

The coordinates for mounting the elastic membrane to the underwater hull of the catamaran are described by the following expressions. The upper mounting point of the elastic membrane is located at the intersection of the side surface of the stand and the underwater part of the vessel's hull.

$$y_p = \frac{1}{2} \sqrt{4R_0^2 - b_c^2}. \quad (24)$$

$$x_p = \frac{b_c}{2}. \quad (25)$$

The lower point of the elastic membrane mounting to the cylindrical surface of the underwater part is determined by the following coordinates.

$$l_p = 1,2l_0. \quad (14)$$

$$l_p = 2\alpha r_0. \quad (15)$$

$$l_0 = 2\varphi R_0. \quad (16)$$

Здесь  $\varphi$  и  $\alpha$  центральные углы не деформированной мембраны и после деформации соответственно. Преобразование выражений (14–16) позволяет получить значения радиуса деформированной мембраны под действием избыточного давления воздуха:

$$r_0 = \frac{1,2\varphi R_0}{\alpha}. \quad (17)$$

Условие, по которому исключается контакт эластичной мембраны с причальным сооружением, требует общую касательную к жесткому подводному корпусу судна и эластичной мембраны в деформированном состоянии. Тогда координаты центра деформированной мембраны находим как:

$$x_0 = R_0 - r_0. \quad (18)$$

$$y_0 = x_0 \operatorname{ctg} \varphi + \beta. \quad (19)$$

Угол  $\beta$  определяется зависимостью (13). Если принять в качестве переменного параметра длину дуги не деформированной эластичной мембраны  $l_0$ , тогда угол  $\varphi$  можно вычислить из формулы (16). Угол  $\alpha$ , входящий в выражение (17), находится из взаимосвязи длины дуги  $l_p$  деформированной эластичной мембраны и ее центральным углом  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{360l_p}{2\pi r_0}. \quad (20)$$

В свою очередь  $r_0$  рассчитывается из условия равенства хорд не деформированной и деформированной эластичной мембраны:

$$R_0 \sin \varphi = r_0 \sin \alpha; \quad (21)$$

откуда,

$$r_0 = R_0 \frac{\sin \varphi}{\sin \alpha}. \quad (22)$$

Подстановка (22) в (20) приводит к функции:

$$\frac{\sin \alpha}{\alpha} = \frac{\pi R_0 \sin \varphi}{216l_0}. \quad (23)$$

Функция  $\frac{\sin \alpha}{\alpha}$  может быть определена с помощью таблиц Ф.Р. Ниточкина  $\frac{\sin x}{x}$ , опубликованных в «Сообщения лаборатории мягких оболочек», ДВИМУ, вып. 4, Владивосток, 1968, стр. 4–68.

Координаты крепления эластичной мембраны к подводному корпусу катамарана описываются следующими выражениями. Верхняя точка соединения эластичной мембраны расположена на пересечении боковой поверхности стойки и подводной части корпуса судна:

$$y_p = \frac{1}{2} \sqrt{4R_0^2 - b_c^2}. \quad (24)$$

$$x_p = \frac{b_c}{2}. \quad (25)$$

Нижняя точка крепления эластичной мембраны к цилиндрической поверхности подводной части определяется координатами.



$$y_n = \left(\frac{1}{2} - \sin^2 \varphi\right) \sqrt{4R_0^2 - b_c^2} - b_c \sin \varphi \sqrt{1 - \sin^2 \varphi}. \quad (26)$$

$$x_n = \sin \varphi \sqrt{(4R_0^2 - b_c^2) \cos^2 \varphi} + b_c \left(\frac{1}{2} - \sin^2 \varphi\right). \quad (27)$$

Expressions (14)–(27) allow performing basic design calculations of the buoyancy compartment shown in Fig. 1, *i*.

**CONCLUSIONS.** The general analysis of the means of improvement of the longitudinal stability of some small and high-speed vessels has shown that these techniques of the stability increase can be used in actual structures and are already partly implemented. The studies determined the main parameters of the devices that can improve the short-term longitudinal stability of small and high-speed vessels.

The structural analysis of the means of improvement of the longitudinal stability due to additional buoyancy of high-speed catamarans with a small waterline area showed some of their disadvantages. In particular, the additional buoyancy structures are not so streamlined, which will reduce the vessel's speed in case of bringing them into operation. If the buoyancy compartment is brought into operation in only one of the hulls, there will be lurching of the vessel.

$$y_n = \left(\frac{1}{2} - \sin^2 \varphi\right) \sqrt{4R_0^2 - b_c^2} - b_c \sin \varphi \sqrt{1 - \sin^2 \varphi}. \quad (26)$$

$$x_n = \sin \varphi \sqrt{(4R_0^2 - b_c^2) \cos^2 \varphi} + b_c \left(\frac{1}{2} - \sin^2 \varphi\right). \quad (27)$$

Выражения (14)–(27) позволяют выполнить основные проектные расчеты отсека плавучести, приведенного на рис. 1, *и*.

**ВЫВОДЫ.** Общий анализ средств повышения продольной остойчивости некоторых малых и скоростных судов показал, что такие приемы могут быть реализованы в составе реальных конструкций. Установлены основные параметры устройств, способных повышать кратковременно продольную остойчивость малых и скоростных судов.

Конструктивный анализ средств повышения продольной остойчивости за счет дополнительной плавучести скоростных катамаранов с малой площадью ватерлинии выявил их некоторые недостатки, в частности, конструкции дополнительной плавучести плохо обтекаемы, что кроме того, возникнет рыскливость судна, в случае работы дополнительного отсека плавучести только на одном из корпусов.

### Список литературы

- [1] **Korobanov Yu.** Constructive tendencies of speed increase of small and high-speed vessels [Текст] / Yuriy Korobanov, Anatliy Kuznetsov, Alla Korobanova // SHIPBUILDING & MARINE INFRASTRUCTURE — Mykolaev: NUK, 2014. — № 2 (2). — p. 65–78.
- [2] **Токмаков А. А.** Подводные транспортные суда. [Текст] / А. А. Токмаков. – Л.: Судостроение, 1965. – 267 с.
- [3] **Мицуи дзосэн К. К.** Устройство для стабилизации плавания малого судна. Пат. Японии № 58-14357, Публ. 83 03 18, ВНИИПИ № 2-358.
- [4] **Мицуи дзосэн К. К.** Регулирующее устройство для создания подъемной силы за счет вытеснения воды на полупогружном судне. Пат. Японии № 58-24315, Публ. 78 09 27, ВНИИПИ № 2-608.
- [5] **Мицуи дзосэн К. К.** Устройство для создания плавучести путем откачки воды на полупогружном судне. Пат. Японии № 58-11356, Публ. 83 03 02, ВНИИПИ № 2-284.
- [6] **Мицуи дзосэн К. К.** Полупогруженное судно. Пат. Японии № 58-11355, Публ. 83 03 02, ВНИИПИ № 2-284.

© Ю. Н. Коробанов, А. И. Кузнецов, А. А. Коробанова

Статью рекомендует в печать  
д-р техн. наук, проф. В. А. Некрасов



## Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС «ИЗЛУЧИНА»

**Пассажирское судно на воздушной подушке амфибийного типа (СВПА) «Беркут»** предназначено для перевозки людей по воде и льду в морских и речных районах при температуре наружного воздуха от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ , с удалением от места убежища на расстояние до 50 миль, с заходом в крупные реки.

СВПА «Беркут» предназначено для эксплуатации в прибрежных мелководных и заболоченных районах, в заросшем мелководье, в обводненных во время разлива рек участках суши, во время ледохода и шуги, в тундре без ограничения прочности покрова, по снегу любой прочности, по рекам во время ледохода и ледостава.



**Руководитель проекта:**  
д.т.н., профессор Зайцев В. В.  
тел.: +38 (067) 515-75-53  
e-mail: zvv1949@gmail.com

**Научно-исследовательская часть НУК**  
Научно-производственный комплекс «Излучина»  
e-mail: science@nuos.edu.ua  
website: nuos.edu.ua/science; тел.: +38 (0512) 709-105