



**Oleg I. Solomentsev**  
Соломенцев  
Олег  
Иванович

УДК 629.564.5

С 60

## ON THE JUSTIFICATION OF ARCHITECTURAL AND STRUCTURAL TYPE OF RESEARCH VESSEL

К ОБОСНОВАНИЮ АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНОГО ТИПА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА

DOI 10.15589/SMI. 2015.01.07

**Oleg I. Solomentsev**

О. И. Соломенцев, д-р техн. наук, проф. НУК

T-Alexeevna@yandex.ru

ORC ID: 0000-0002-5106-6486

**Andrey A. Gofman**

А. А. Гофман, магистрант

svrd720@gmail.com

ORC ID: 0000-0001-6710-6705



**Andrey A. Gofman**  
Гофман  
Андрей  
Андреевич

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev*

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

**Abstract.** The analysis of architectural and structural types of the research vessels (RV) which are built and being built shows that twin hull ships with usual lines and small waterplane area (SWATH) can be used. Therefore, the reduction in the acoustic characteristics of the vessel is rather significant for the RV, since its main task is exploration of fish resources for subsequent work of fishing vessels, as well as for naval supporting research vessels. It is expected that the efficiency indicator is determined by the amount of information obtained as a result of the work of the RV. The method of obtaining the information resides in the RV inspecting the water column or the seabed. At that, the noise of the ship itself affects the operating radius of measuring devices. Thus, the approximate method is suggested. On the basis of it, the specified ultimate noise level for the SWATH can be estimated. The paper suggests the generalized dimensionless indicator of the propeller noise level; it depends on the velocity of the vessel, its draught and the characteristics of the propellers. With displacement being the same, the RV SWATH has significantly better noise level properties, mainly due to the recessed propellers, which makes this option more preferred than that of the RV.

**Keywords:** small waterplane area twin hull (SWATH); research vessel; propeller noise; propeller cavitation.

**Аннотация.** Рассмотрено, при каких требованиях задания на проектирование научно-исследовательского судна будет целесообразным рассмотрение варианта катамарана с малой площадью ватерлинии.

**Ключевые слова:** судно с малой площадью ватерлинии; научно-исследовательское судно; шум гребных винтов; кавитация гребных винтов.

**Анотація.** Розглянуто, при яких вимогах завдання на проектування науково-дослідного судна буде доцільним розгляд варіанта катамарана із малою площею ватерлінії.

**Ключові слова:** судно із малою площею ватерлінії; науково-дослідне судно; шум гребних гвинтів; кавітація гребних гвинтів.

### References

Artyushkov L. S. Predvaritelnyy vybor osnovnykh elementov grebnykh vintov morskikh transportnykh sudov pri otsenke potrebnoy moshchnosti i optimalnoy chastoty vrashcheniya [Preselection of the main elements of the propellers of marine carrier vessels in assessing the required power and optimal frequency of rotation]. *Sbornik nauchnykh trudov LKI "Problemy morekhodnosti morskikh sudov i plavuchikh sooruzheniy"* [Collection of scientific publications of Leningrad Shipbuilding Institute "Problems of seaworthiness of marine vessels and floating structures"], 1985, pp. 16–21.

Dmitriev A. N. *Proektirovanie podvodnykh apparatov* [Underwater vehicles design]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1978. 240 p.

Dubrovskiy V. A. Oblasti primeneniya i osobennosti proektirovaniya sudov s maloy ploshchadyu vaterlinii [Fields of application and specific features of the small waterplane area twin hull design]. *Sudostroenie za rubezhom — Shipbuilding Abroad*, 1988, no. 2, pp. 5–19.

Yefimenko A. A. K opredeleniyu funktsionalnoy ot-dachi nauchno-issledovatel'skogo sudna [On determination of the functional output of a research vessel]. *Sbornik nauchnykh trudov NUK* [Collection of Scientific Publications of NUS], 1986. pp. 109–114.

Yefimenko A. A. K voprosu o tselesoobraznosti primeneniya dvukhkorpusnykh nauchno-issledovatel'skikh sudov [On the question of the reasonability of application of the twin hull research vessels]. *Sbornik nauchnykh trudov NUK* [Collection of Scientific Publications of NUS], 1987. pp. 100–106.

Kozlov L. I. *Sozdanie gidrograficheskikh sudov razlichnogo naznacheniya i metodika sopostavleniya ikh tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti*. Avtoreferat Diss. [Development of hydrographic vessels of various applications and methods of comparing their technical and economic efficiency]. Nikolaev, 1979. 23 p.

Medvedev N. F. *Suda dlya issledovaniya Mirovogo okeana* [Vessels for the world ocean research]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1971. 216 p.

Narusbaev A. A. *Vvedenie v teoriyu obosnovaniya proektnykh resheniy* [Introduction to the theory of justification of design choices]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1976. 224 p.

Semenov-Tyan-Shanskiy V. V. *Statika i dinamika korablya* [Ship statics and dynamics]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1973. 608 p.

Voytkunskiy Ya. I. *Spravochnik po teorii korablya. Tom 1. Gidromekhanika. Soprotivlenie dvizheniyu sudov. Sudovye dvizhiteli* [Reference book on ship theory. Vol. 1. Hydromechanics. Resistance to the ships motion. Ship propellers]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1985. 766 p.

Khudyakov L. Yu. *Issledovatel'skoe proektirovanie korabley* [Ship design study]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1980. 240 p.

Bryan L. The Procurement of Warships. *Naval Architect*, 1985, no.1, pp. 36–56.

Mitsui Deosen K. K. *Polupogruzhennoe sudno* [Semisubmersible ship] Patent Japan, no. 58-11355, 1983.

Mitsui Deosen K. K. *Ustroystvo dlya sozdaniya plavuchesti putem otkachki vody na polupogruzhennom sudne* [The device for generating buoyancy by pumping water on a semisubmersible ship] Patent Japan, no. 58-11356, 1983.

Mitsui Deosen K. K. *Reguliruyushchee ustroystvo dlya sozdaniya podemnoy sily za schet vytesneniya vody na polupogruzhennom sudne* [The controlling device for generating the lift capacity due to the displacement of water on a semisubmersible ship] Patent Japan, no. 58-24315, 1983.

**Problem statement.** The analysis of architectural and structural types of the research vessels (RV) which are built and being built shows that the twin hull vessels can be used there both with normal lines and the small waterplane area twin hulls (SWATH). The application of the twin hull circuit allows us to significantly increase the capacity of the vessel being designed according to the areas per ton of deadweight (specific capacity), that is very important for RV.

Let us consider the choice from two types of lines of the twin hull RV – RV with conventional lines and RV with lines which are characterized by small waterplane area. In both cases, the increase of the specific capacity compared to single hull RV can be considered as almost similar. Stability (the main indicator of the safety of navigation for small vessels, including RV) in catamaran with conventional lines is significantly higher than that of a single hull vessel, while the SWATH ships have the same or slightly higher one than that of the single hull. Navigability in the head sea is much better in SWATH ships, and the loss of speed in sea disturbance is much less than that of a conventional vessel and a catamaran with conventional lines. However, the hull weight and the cost of construction of the SWATH ships will be higher than that of the other two competitive variants. Its draught is also higher but the speed performance at slow speeds is worse.

The overall balance of the pros and cons seems not in favor of SWATH ships. However, in practice, RV SWATH

**Постановка проблемы.** Анализ архитектурно-конструктивных типов построенных и строящихся научно-исследовательских судов (НИС) показывает, что здесь могут применяться двухкорпусные суда — как с обычными обводами, так и с малой площадью ватерлинии (СМПВ). Применение двухкорпусной схемы позволяет заметно увеличить вместимость проектируемого судна по площадям в расчете на тонну водоизмещения (удельную вместимость), что для НИС очень важно.

Рассмотрим подробнее выбор из двух типов обводов двухкорпусного НИС — НИС с обычными обводами и НИС с обводами, которые характеризуются малой площадью ватерлинии. В обоих случаях прирост удельной вместимости по сравнению с однокорпусными НИС можно считать примерно одинаковым. Остойчивость (главный показатель безопасности плавания для небольших судов, в том числе для НИС) у катамарана с обычными обводами значительно выше, чем у однокорпусного судна, а у СМПВ — такая же или немного выше, чем у однокорпусного судна. Мореходность на встречном волнении у СМПВ значительно лучше, а потери скорости на волнении — намного меньше, чем у традиционного судна и у катамарана с обычными обводами. Однако масса корпуса и стоимость постройки у СМПВ будет выше, чем у двух других конкурентных вариантов, осадка также выше, а ходовые качества на малых ходах — хуже.

ships are being built. These RV include, in particular, the ships “Halcyon” and “KiloMoana” (the USA), “Frederick G. Creed” (Canada), “Kaiyo” (Japan) as well as some others. According to the authors, this is explained as follows. At the turn of 1960–1970-ies the classification of RV included civil RV (they were divided into universal, oceanographic, hydrographic and others) and supporting RV vessels of the naval forces (NF) of different countries [7]. The main purpose of the supporting RV ships of NF is conducting special studies related to the development of new types of naval armaments. An important feature of these studies is the need to maximally decrease the intensity of physical fields of RV, the acoustic field in particular. The same requirements are applied to the civil RV, whose main task is the exploration of fish shoals for the future “guidance” of fishing vessels on these shoals.

The main sources of noise on any ship are the main engine and propellers. There is a standard technical solution to reduce the level of noise of engines, i.e. to use a diesel-electric power plant on the supporting RV of NF. In this case, the diesel itself can be placed on a special soundproof basement. Then the noisiness of a diesel engine is significantly reduced, a relatively noisy reduction gear is eliminated, and there are usually no problems with noisiness of the propeller motor.

There remains the problem of propeller noise. It is known that the main component of the noise of the propellers is the noise generated by cavitation. In addition to the value of the disk ratio of the propeller itself, the propeller cavitation is also determined with the propeller penetration under the free surface and the vessel speed. The magnitude of the propeller penetration under the free surface is determined by the ship draught. In this case, the increased draught of the SWATH ships becomes an advantage, since the propeller cavitation and hence the noisiness level in the whole vessel can be substantially delayed there. The corresponding analysis shows that those research vessels which were built in the form of SWATH ships are the supporting vessels of naval forces. Execution of the functions of RV may be associated with the use of towed hydroacoustic stations.

As is known, the transverse stability of SWATH ships and a single hull vessel is nearly the same, and the longitudinal and transverse stability of SWATH ships (unlike the single hull vessel) may also be nearly the same. At the design of single hull tugboats in accordance with the current regulations in stability it is needed to check the stability under the influence of the cross-jerk of the towing line along with the verification of stability under conditions of wind and sea disturbance. To be able to perform SWATH ships towing of hydroacoustic station in a mathematical model of RV SWATH ships we need to include the requirement of the stability at the towline shock. Given the proximity of the transverse and longitudinal stability of SWATH ships here it may be necessary to consider the spatial inclination [9]. To improve the stability of SWATH ships one can use the suggestions contained in Japanese Patents No. 58-11355, No. 58-11356 and No. 58-24315 when necessary [13–15]. However,

Общий баланс плюсов и минусов выглядит, таким образом, скорее не в пользу СМПВ. Однако на практике СМПВ-НИС строятся. К таким НИС относятся, в частности, суда «Halcyon» и «KiloMoana» (США), «Frederick G. Creed» (Канада), «Kaiyo» (Япония), а также некоторые другие. По мнению авторов, это объясняется следующим. Уже на рубеже 1960–1970-х гг. при классификации НИС выделялись гражданские НИС (они подразделялись на универсальные, океанографические, гидрографические и др.) и НИС-вспомогательные суда военно-морских сил (ВМС) различных стран [7]. Основное назначение НИС-вспомогательных судов ВМС — проведение специальных исследований, связанных с созданием новых образцов морских вооружений, а важной особенностью таких исследований является необходимость максимального снижения напряженности физических полей НИС, в частности акустического поля. Такие же требования предъявляются и к тем гражданским НИС, основной задачей которых является разведка косяков рыбы для последующего «наведения» на эти косяки промысловых судов.

Основные источники шума на любом судне — главный двигатель и гребные винты. Для снижения уровня шума двигателей стандартным техническим решением является применение на НИС-вспомогательных судах ВМС дизель-электрической энергетической установки. В этом случае собственно дизель может быть размещен на специальном звукоизолирующем фундаменте. Тогда шумность дизеля существенно снижается, относительно шумная редукторная передача исключается, а с шумностью гребных электродвигателей проблем обычно не возникает.

Остается проблема шума гребных винтов. Известно, что основной составляющей шума винтов является шум, порождаемый кавитацией. Кавитация гребного винта определяется, помимо величины дискового отношения собственно винта, также заглублением винта под свободную поверхность и скоростью судна. Величина же заглубления винта под свободную поверхность определяется осадкой судна. И в этом случае возросшая осадка СМПВ оказывается его достоинством, поскольку здесь возможно существенно отдалить кавитацию винтов и, соответственно, уровень шумности судна в целом. Соответствующий анализ показывает, что те научно-исследовательские суда, которые были построены в варианте СМПВ, — это именно вспомогательные суда военно-морских сил. Выполнение НИС своих функций может быть связано с применением буксируемых гидроакустических станций.

Как известно, поперечная остойчивость СМПВ и однокорпусного судна примерно одного порядка, а продольная и поперечная остойчивость СМПВ (в отличие от однокорпусного судна) также могут быть одного порядка. При проектировании однокорпусных буксирных судов в соответствии с действующими нормативами остойчивости необходимо, наряду с проверкой остойчивости в условиях ветра

based on the available materials on RV SWATH ships, their margin of stability for towing of hydroacoustic stations appears to be sufficient.

In this case, for the initial stages of construction of the supporting RV of NF, as well as the exploration RV for commercial purposes it seems urgent to develop the approximate methods, on the basis we could assess the feasibility of application of the SWATH ship option according to the given level limit of noise. The development of the appropriate approximate methods is the problem which is solved in this article.

**Latest research and publications analysis.** General principles of the formation of efficiency criteria for the civil and surface ships are considered in [8], and the formation of the efficiency criterion of the civil or surface ship for the case, when the useful effect cannot be expressed in monetary terms, is considered in [11]. Different approaches to the determination of the useful effect (efficiency indicator) for RV are considered in [2, 4, 6, 7], and a number of aspects of the comparison of conventional and multihull vessels in [3, 5]. The connection among the acoustic characteristics of the propellers, on the one hand, and the elements of the propeller and the ship as a whole, on the other hand, is studied in the reference book [10].

**THE ARTICLE AIM** is to evaluate the feasibility of using a SWATH catamaran as a research vessel by developing an approximate method based on the maximum permissible level of noise from the propellers.

**Basic material.** The peculiarity of research vessels, which distinguishes them from the majority of the civil courts of other classes is that the useful effect of their operation in most cases, as for the warships, cannot be adequately expressed in monetary units. Therefore, the criterion of the type of difference (profit is the difference between the income and expenditures) cannot be applied here. We have to use the criterion of the fraction type, also known as the criterion of “cost–effectiveness” [8, 11]. In this case, the criterion of efficiency  $F$  is expressed as  $F = S/\mathcal{E}$  (minimized) or as  $F = \mathcal{E}/S$  (maximized). Here  $S$  is a source indicator and  $\mathcal{E}$  is an efficiency indicator. The view of the efficiency indicator is determined by the view of the related utility function. Thus, in the simplest cases it can be the mathematical expectation of the numerical value of the parameter which characterizes the efficiency (the linear utility function) or the probability of the set task performance (the discontinuous utility function) [11].

The determination of the source indicator for RV will not obviously contain any specific features, and to find the efficiency indicator of RV the following two basic approaches are known in the literature:

- the efficiency indicator is identified with the amount of information obtained as a result of the RV operation [2, 7];
- the efficiency indicator is identified with the regulatory labour intensity of the performed research, and this value can either be averaged [6] or determined separately for different types of studies performed [4].

и волнения, проверять остойчивость под действием поперечного рывка буксирного троса. Для обеспечения возможности выполнения СМПВ буксировки гидроакустической станции в математическую модель НИС СМПВ нужно включить требование в части остойчивости при рывке буксирного троса. С учетом близости поперечной и продольной остойчивости СМПВ здесь может оказаться необходимым рассмотрение пространственного наклона [9]. При необходимости для повышения остойчивости СМПВ можно использовать предложения, содержащиеся в патентах Японии № 58-11355, № 58-11356 и № 58-24315 [13–15]. Однако, исходя из имеющихся материалов по НИС СМПВ, их запас остойчивости для буксирования гидроакустических станций оказывается недостаточным.

В таком случае для начальных стадий проектирования НИС-вспомогательного судна ВМС, а также разведочного НИС для промысловых целей представляется актуальной разработка приближенной методики, на основе которой по заданному предельному уровню шума можно было бы оценить целесообразность применения варианта СМПВ. Разработка соответствующей приближенной методики и является решаемой в данной статье проблемой.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Общие принципы формирования критериев эффективности для гражданских судов и надводных кораблей рассмотрены в [8], а формирование критерия эффективности гражданского судна или надводного корабля для случая, когда полезный эффект не может быть представлен в денежном выражении, рассмотрено в [11]. Различные подходы к определению полезного эффекта (показателя эффективности) для научно-исследовательских судов рассмотрены в [2, 4, 6, 7], а ряд аспектов сопоставления традиционных и многокорпусных судов — в [3, 5]. Связь между акустическими характеристиками гребных винтов, с одной стороны, и элементами гребного винта и судна в целом — с другой, исследована в справочнике [10].

**ЦЕЛЮЮ РАБОТЫ** является оценка целесообразности использования катамарана с малой площадью ватерлинии в качестве научно-исследовательского судна путем разработки приближенной методики, основанной на предельно допустимом уровне шума от гребных винтов.

**Изложение основного материала.** Особенность научно-исследовательских судов, которая отличает их от большинства гражданских судов иных классов, состоит в том, что полезный эффект от их функционирования в большинстве случаев, как и для военных кораблей, не может быть адекватно выражен в денежных единицах. Поэтому критерий типа разности («прибыль» – «разность дохода и издержек») здесь применен быть не может. Приходится использовать критерий типа дроби, известный также как критерий «стоимость – эффективность» [8, 11]. В этом случае критерий эффективности  $F$  выражается как  $F = S/\mathcal{E}$

We will use only the first indicator for the purposes of this paper. Let us assume that the way to get information is that RV, moving with the velocity  $v$  over the estimated time  $T_3$ , examines the water column or the seabed, and the range of action of the measuring instruments is equal to  $R_3$ . Due to the influence of its own noise, associated with the velocity of the vessel, on the value  $R_3$ , we will obtain that  $R_3 = R_3(v)$ .

Then the initial calculated dependence, taking into account [2], can be accepted in the following form:

-at the inspection of the water column

$$\Theta = Q = \frac{4}{3} K_{Q1} v T_3 \pi R_3^3(v); \quad (1)$$

- at the inspection of the seabed

$$\Theta = Q = K_{Q2} v T_3 \pi R_3^2(v). \quad (2)$$

Here  $Q$  is the calculated amount of information;  $K_{Q1}$ ,  $K_{Q2}$  are the coefficients of the information density, which are assumed to be known and the same for the compared variants of RV.

In order to prevent a sharp decrease in values  $R_3(v)$  at high velocities, the constraints of the form  $p_A \leq [p_A]$  or  $N_A \leq [N_A]$  are considered for all types of research carried out in view of their specific features. They are determined in the design engineering assignment for the supporting RV of NF, as well as for the RV intended for exploring fish shoals. Here  $p_A$ ,  $[p_A]$  are the actual and the maximum permissible sound pressure, and  $N_A$ ,  $[N_A]$  are the actual and the maximum permissible noise levels. The values  $p_A$  and  $N_A$  are related to the operation of the vessel and characterize the noise level of the vessel. The normative values  $[p_A]$  and  $[N_A]$  are defined with the requirements for the operation of the hydroacoustic equipment on vessel. If the actual characteristics of the noise level of the vessel  $p_A$  and  $N_A$  exceed the standards  $[p_A]$  and  $[N_A]$ , then the efficiency of the hydroacoustic equipment operation will sharply decrease due to the violation of the requirements of the acoustic compatibility.

It is further assumed that in the initial stages of the contrastive analysis we can assume that the permissible noise level of the vessel as a whole is identified with an acceptable level of noise of the propellers. The cavitation noise of the propellers has the overwhelming contribution to the hydroacoustic compatibility of the naval noise sources and hydroacoustic facilities placed on the ship. The role of other components of the noise of propellers (especially the so-called "singing" of the propellers and noise from the stern gears) is less important, since the frequencies of "singing" usually do not coincide with the operating frequencies of the hydroacoustic stations [12]. To associate the allowable noise level with the velocity

(минимизируется) или как  $F = \Theta/S$  (максимизируется). Здесь  $S$  — ресурсный показатель и  $\Theta$  — показатель эффективности. Вид показателя эффективности определяется видом соответствующей функции полезности. Так, в простейших случаях это может быть математическое ожидание численного значения параметра, характеризующего эффективность (линейная функция полезности) или же вероятность выполнения поставленной задачи (разрывная функция полезности) [11].

Определение ресурсного показателя для НИС не будет, очевидно, содержать каких-либо специфических особенностей, а для нахождения показателя эффективности НИС в литературе известны следующие два основных подхода:

– показатель эффективности отождествляется с количеством информации, полученной в результате работы НИС [2, 7];

– показатель эффективности отождествляется с нормативной трудоёмкостью выполняемых исследований, причем эта величина может либо усредняться [6], либо определяться раздельно по различным видам выполняемых исследований [4].

Для целей данной работы будем применять только первый показатель. Предположим, что способ получения информации состоит в том, что НИС, двигаясь со скоростью  $v$  в течение расчетного времени  $T_3$ , обследует толщу воды или морское дно, причем радиус действия измерительных приборов равен  $R_3$ . Из-за влияния собственного шума, связанного со скоростью судна, на величину  $R_3$  получится, что  $R_3 = R_3(v)$ .

Тогда исходная расчетная зависимость с учетом [2] может быть принята в таком виде:

– при обследовании толщи воды

$$\Theta = Q = \frac{4}{3} K_{Q1} v T_3 \pi R_3^3(v); \quad (1)$$

– при обследовании морского дна

$$\Theta = Q = K_{Q2} v T_3 \pi R_3^2(v). \quad (2)$$

Здесь  $Q$  — расчетный объем информации;  $K_{Q1}$ ,  $K_{Q2}$  — коэффициенты плотности информации, которые предполагаются известными и одинаковыми для сопоставляемых вариантов НИС.

Для того чтобы не допустить резкого снижения величин  $R_3(v)$  при высоких скоростях, в задании на проектирование НИС-вспомогательных судов ВМС, равно как и для НИС, предназначенных для разведки косяков рыбы, для всех видов выполняемых исследований с учетом их специфики оговорены ограничения вида  $p_A \leq [p_A]$  или вида  $N_A \leq [N_A]$ . Здесь  $p_A$ ,  $[p_A]$  — фактическое и предельно допустимое звуковое давление, а  $N_A$ ,  $[N_A]$  — фактический и предельно допустимый уровень шума. Величины  $p_A$  и  $N_A$  связаны с функционированием судна и характеризуют уровень шума судна. Нормативные величины  $[p_A]$  и  $[N_A]$  определяются требованиями к функционированию установленного на судне гидроакустического оборудования. Если фактические характеристики уровня шума

of RV, two characteristic velocities of the vessel are introduced. They are a non-cavitation velocity of the RV sailing  $v_{k1}$  and a velocity corresponding to the second stage of cavitation  $v_{k2}$ .

The velocity  $v_{k1}$  corresponds to the time when the cavitation noise of the propellers begins to prevail over the noises of the propellers of a different nature. Therefore, the speed  $v_{k1}$  is always greater than the speed, corresponding to the onset of cavitation. At that, the difference increases with the increasing level of the background (in other words, with the increasing propeller noise level of the non-cavitation nature). If the actual velocity of the RV measured in knots is  $v_s \geq v_{k1}$ , then the noise level increases rapidly in the range  $v_{k1} \leq v_s \leq v_{k2}$ . When the velocity of the ship  $v_s$  exceeds the velocity, corresponding to the second stage of cavitation  $v_{k2}$  (i. e. at  $v_s \geq v_{k2}$ ), then further growth of the noise level almost does not happen.

According to [9], for the velocities  $v_{k1}$  and  $v_{k2}$ , measured in knots, we have

$$v_{k1} \approx 28 \sqrt{\frac{1+0,1(h_B-0,5D_B)}{1+\frac{\pi^2}{\lambda_p^2}}}, \quad (3)$$

$$v_{k2} \approx 28 \sqrt{\frac{g_d}{\sigma_P} [1,0+0,1(h_P-0,5D_B)]}; \quad (4)$$

$$\sigma_P = \frac{2P_E}{\rho \cdot v_p^2 \cdot F_B} = \frac{8R}{\rho \cdot v^2 \cdot \pi D_B^2 (1-w)^2 (1-t) Z_B},$$

where  $h_B, D_B$  is the depth of the propeller axis immersion and its diameter, these values are measured in meters;

$\lambda_p$  is the propeller advance ratio;

$v_a$  is the propeller disk-area ratio;

$F_B = \frac{\pi D_B^2}{4}$  is the hydraulic cross section area of the propeller;

$v_p = v(1-w)$  is the flow velocity in the disk of the propeller;

$w$  and  $t$  are the wake fraction and the thrust-deduction ratio;

$P_E$  and  $R$  are the propeller thrust and the water resistance to the ship movement;

$\sigma_P$  is the thrust-load coefficient of the propeller.

Then let us assume that  $D_B$  is always equal to  $D_{B0}$ , if the vessel draught allows it. The optimal propeller diameter on propulsion is  $D_{B0}$ , m[1]

$$D_{B0} \approx \frac{13}{\sqrt{n_B}} \sqrt[4]{\frac{N}{v_s Z_B}},$$

where  $n_B$  is the frequency of the propeller rotation, rpm;  $N$  is the power of main engines, kW;  $v_s$  is the velocity of the ship, knots;  $Z_B$  is the quantity of the propellers.

судна  $p_A$  и  $N_A$  превзойдут нормативы  $[p_A]$  и  $[N_A]$ , то эффективность функционирования гидроакустического оборудования резко снизится из-за нарушения требований в части акустической совместимости.

Далее предполагается, что на начальных стадиях сопоставительного анализа можно считать, что допустимый уровень шума судна в целом отождествляется с допустимым уровнем шума гребных винтов. Решающий вклад в обеспечение гидроакустической совместимости корабельных источников шума и размещенных на корабле гидроакустических средств оказывает кавитационный шум гребных винтов. Роль других составляющих шума гребных винтов (в частности, так называемого «пения» гребных винтов и шума от дейдвудных устройств) менее существенна, поскольку частоты «пения» обычно не совпадают с рабочими частотами гидроакустических станций [12]. Для того чтобы связать допустимый уровень шума со скоростью НИС, вводятся две характерные скорости судна — докавитационная скорость хода НИС  $v_{k1}$  и скорость, отвечающая второй стадии кавитации  $v_{k2}$ .

Скорость  $v_{k1}$  соответствует тому моменту, когда кавитационный шум гребных винтов начинает преобладать над шумами винтов другой природы. Поэтому скорость  $v_{k1}$  всегда выше скорости, отвечающей началу кавитации, причем различие увеличивается с ростом уровня фона (иначе говоря, с ростом уровня шума винтов некавитационной природы). Если фактическая, измеряемая в узлах скорость НИС  $v_s \geq v_{k1}$ , то уровень шума быстро возрастает в диапазоне  $v_{k1} \leq v_s \leq v_{k2}$ . Когда скорость корабля  $v_s$  превышает скорость, отвечающую второй стадии кавитации  $v_{k2}$  (т. е. при  $v_s \geq v_{k2}$ ), дальнейшего роста уровня шума практически не происходит.

Согласно [9] для измеряемых в узлах скоростей  $v_{k1}$  и  $v_{k2}$  имеем

$$v_{k1} \approx 28 \sqrt{\frac{1+0,1(h_B-0,5D_B)}{1+\frac{\pi^2}{\lambda_p^2}}}; \quad (3)$$

$$v_{k2} \approx 28 \sqrt{\frac{g_d}{\sigma_P} [1,0+0,1(h_P-0,5D_B)]}; \quad (4)$$

$$\sigma_P = \frac{2P_E}{\rho \cdot v_p^2 \cdot F_B} = \frac{8R}{\rho \cdot v^2 \cdot \pi D_B^2 (1-w)^2 (1-t) Z_B},$$

где  $h_B, D_B$  — глубина погружения оси гребного винта и его диаметр, эти величины измеряются в метрах;

$\lambda_p$  — относительная поступь гребного винта;

$v_a$  — дисковое отношение гребного винта;

$F_B = \frac{\pi D_B^2}{4}$  — площадь гидравлического сечения

гребного винта;

$v_p = v(1-w)$  — скорость потока в диске винта;

$w, t$  — коэффициенты попутного потока и засасывания;

$P_E, R$  — упор гребного винта и сопротивление воды движению судна;

Let us note that the rates  $v'_{k1}$  and  $v'_{k2}$ , corresponding to the first and second stages of cavitation, for the conventional RV and  $v''_{k1}$  and  $v''_{k2}$  for SWATH RV ships will be different. This is due to various draughts and, consequently, with different values of depth of immersion of the propeller axes  $h_B$ , which are substituted into the equations (3) and (4).

The general formula for the determination of the level of cavitation noise  $N_A$  at its any spectral composition can be presented in the following form [11]:

$$N_A = N_{A1} + E(v_S)(N_{A2} - N_{A1});$$

$$E = E(v_S) = \frac{v_S - v_{K1}}{v_{K2} - v_{K1}}, \quad v_S \geq v_{K1}, \quad 0 \leq E \leq 1, \quad (5)$$

where  $N_{A1}$  and  $N_{A2}$  are the levels of the subcavitating and the developed cavitation noises respectively, which are determined according to the approximation formulas [11], at that  $N_{A2} \gg N_{A1}$ .

If we assume that the actual noise level of the ship  $N_A$  is always higher than  $N_{A1}$ , then the structure of formula (5) implies that the restriction of the form  $N_A \leq [N_A]$  can be transformed into the form  $N_{A1} + \Delta N_A \leq [N_A]$ , where  $\Delta N_A = E(v_S)(N_{A2} - N_{A1})$  is indicated, or to the following form

$$E(v_S) \leq \frac{[N_A] - N_{A1}}{N_{A2} - N_{A1}},$$

or

$$E(v_S) \leq [E]; \quad (6)$$

$$[E] = \frac{[N_A] - N_{A1}}{N_{A2} - N_{A1}}. \quad (7)$$

As follows from the relation (7), the specified value  $[E]$  on the right side (6) is determined, firstly, with the characteristics of the hydroacoustic complex (value  $[N_A]$ ) and secondly — with the noise levels  $N_{A1}$  and  $N_{A2}$ . In this case, the numerical values of  $N_{A1}$  and  $N_{A2}$  are determined with the facts that the first stage of cavitation began and the second stage of cavitation is reached, respectively. However, both of these values do not depend on the velocity which the ship has in such cases [11]. Therefore, the specified value  $[E]$  can be considered to be independent of the main elements and on the velocity of the RV. The actual value  $E$ , found using the equation (5), depends on the actual velocity of the ship  $v_S$ . Furthermore, through the critical velocities  $v_{K1}$  and  $v_{K2}$ , determined by the formulas (3) and (4), the given value depends on the draught of the vessel and the characteristics of the propeller. Thus, the value  $E$  is one of the characteristics of the projected ship, i. e. the dimensionless generalized indicator of the propeller noise level.

Let us consider further the comparative analysis of the conventional RV and the RV SWATH ship in their functional adaptability for research, involving the use of hydroacoustics. The permissible velocity of the search  $[v_s]$  is determined with the condition  $[v_s]: E(v_s) = [E]$ .

$\sigma_p$  — коэффициент нагрузки гребного винта по упору.

Далее примем, что всегда  $D_B = D_{B0}$ , если это позволяет осадка судна. Оптимальный по ходкости диаметр гребного винта,  $D_{B0}$ , м [1]

$$D_{B0} \approx \frac{13}{\sqrt{n_B}} \sqrt[4]{\frac{N}{v_S Z_B}},$$

где  $n_B$  — частота вращения винта, об/мин;  $N$  — мощность главных двигателей, кВт;  $v_S$  — скорость корабля, уз.;  $Z_B$  — количество гребных винтов.

Отметим, что скорости, отвечающие первой и второй стадиям кавитации  $v'_{k1}$  и  $v'_{k2}$  для традиционного НИС и  $v''_{k1}$  и  $v''_{k2}$  для НИС-СМПВ, будут различны. Это связано с различными осадками и, соответственно, с различными величинами глубины погружения осей винтов  $h_B$ , которые подставляются в соотношения (3), (4).

Общая формула для определения уровня кавитационного шума  $N_A$  при любом спектральном его составе может быть представлена в таком виде [11]:

$$N_A = N_{A1} + E(v_S)(N_{A2} - N_{A1});$$

$$E = E(v_S) = \frac{v_S - v_{K1}}{v_{K2} - v_{K1}}, \quad v_S \geq v_{K1}, \quad 0 \leq E \leq 1, \quad (5)$$

где  $N_{A1}$  и  $N_{A2}$  — уровни докавитационного и развитого кавитационного шумов соответственно, определяемые по аппроксимирующим формулам [11], причем  $N_{A2} \gg N_{A1}$ .

Если принять, что фактический уровень шума корабля  $N_A$  всегда превышает  $N_{A1}$ , то из структуры формулы (5) следует, что ограничение вида  $N_A \leq [N_A]$  может быть преобразовано к виду  $N_{A1} + \Delta N_A \leq [N_A]$ , где обозначено  $\Delta N_A = E(v_S)(N_{A2} - N_{A1})$ , или к виду

$$E(v_S) \leq \frac{[N_A] - N_{A1}}{N_{A2} - N_{A1}},$$

или

$$E(v_S) \leq [E]; \quad (6)$$

$$[E] = \frac{[N_A] - N_{A1}}{N_{A2} - N_{A1}}. \quad (7)$$

Как следует из соотношения (7), нормативная величина  $[E]$  в правой части (6) определяется, во-первых, характеристиками гидроакустического комплекса (величина  $[N_A]$ ), а во-вторых — уровнями шума  $N_{A1}$  и  $N_{A2}$ . При этом численные значения величин  $N_{A1}$  и  $N_{A2}$  определяются теми фактами, что началась первая стадия кавитации и что достигнута вторая стадия кавитации соответственно. Однако обе эти величины не зависят от скорости, которую судно в этих случаях имеет [11]. Поэтому нормативная величина  $[E]$  может считаться не зависящей от главных элементов и от скорости НИС. А фактическая величина  $E$ , найденная по соотношению (5), зависит от фактической скорости судна  $v_s$ . Кроме того, через определяемые формулами (3), (4) критические скорости  $v_{k1}$  и  $v_{k2}$  указанная величина зависит от осадки судна и от

And if the velocity of the search  $v_s$  is given, the smaller the value  $E$  will be at a constant velocity of the search, the more stringent requirements can be presented to the acoustic compatibility of the ship and the hydroacoustic complex (HAC) and the more effective HAC with the larger radius of action can be applied.

It should be noted that the water displacement  $D$  of the RV SWATH ships it is not the value  $D = D_1$ , which is obtained by the graphical study from the condition of obtaining the given capacity, and the value  $D = D_2$ , which is obtained from the mass equation of the twin hull ship in the initial approximation, taking into account all the features of the body weight and propulsion. The assumption  $D = D_1$  leads to the exaggeration of the benefits of RV SWATH ships [5].

For the comparative analysis of the impact of the architectural and structural type of RV on the value of the cavitation critical velocities let us consider the determination of the relative draughts of the conventional RV  $t' = \frac{T'}{\sqrt[3]{V'}}$  and the RV SWATH ship  $t'' = \frac{T''}{\sqrt[3]{V''}}$ . Here  $T'$ ,  $T''$  are the draughts, and  $V'$ ,  $V''$  are the volumetric displacements for the conventional RV and the RV SWATH ships respectively.

Statistical dependences of the form  $t' = t'(V')$  and  $t'' = t'(V'')$  are suggested by V.A. Dubrovsky, [3], and in the real range of the volumetric displacements for the RV, when  $V' < 5000 \text{ m}^3$  and  $V'' < 5000 \text{ m}^3$ , we can take approximately

$$t' = \frac{2,0 + 0,6V'_*}{\sqrt[3]{V'}}; t'' \approx \frac{4,0 + 0,7V''_*}{3\sqrt[3]{V''}};$$

$$V'_* = 10^{-3}V'; V''_* = 10^{-3}V'',$$

where the values  $V'$  and  $V''$  are measured in  $\text{m}^3$ .

On the basis of the outlined prerequisites for a number of variants of the conventional RV and RV SWATH ships at the systematically varying volumetric displacements for the constant velocity of the search the values  $E = E(V)$  were counted — Fig. 1.

Fig. 1 shows that in the entire range of the ordinate of the dependence  $E = E(V)$  for SWATH ships is substantially less than that for the conventional RV. This is connected with the big immersion of the propellers in the SWATH ship compared with the conventional vessel and the possibility of the cavitation removal. Then the better acoustic equipment may be fitted in SWATH ships, which will have a greater radius of action at the same velocity of the search, or at the other equal conditions the velocity of the search can be improved. Both of these factors will allow increasing the efficiency indicator of SWATH ships, determined by the formula (1), (2). However, for the objective judgment about the desirability of a particular architectural and structural type of RV we need to perform the calculation of the source indicators for the conventional RV and the RV SWATH ship and make a comparison of options according to the “cost–effectiveness” criterion.

характеристик гребного винта. Таким образом, величина  $E$  представляет собой одну из характеристик проектируемого судна — безразмерный обобщенный показатель уровня шума гребных винтов.

Рассмотрим далее сопоставительный анализ традиционного НИС и НИС-СМПВ в отношении их функциональной приспособленности для исследований, связанных с применением гидроакустики. Допустимая скорость поиска  $[v_s]$  определится условием  $[v_s]: E(v_s) = [E]$ . А если скорость поиска  $v_s$  задана, то чем меньше будет при постоянной скорости поиска величина  $E$ , тем более жесткие требования можно предъявить к акустической совместимости корабля и гидроакустического комплекса (ГАК) и тем более эффективный ГАК с большим радиусом действия может быть применен.

Следует учитывать, что водоизмещение  $D$  НИС-СМПВ — это не величина  $D = D_1$ , которая получается путем графической проработки из условия получения заданной вместимости, а величина  $D = D_2$ , которая получается из уравнения масс двухкорпусного корабля в начальном приближении с учетом всех особенностей в части массы корпуса и ходкости. Допущение  $D = D_1$  поведет к преувеличению преимуществ НИС-СМПВ [5].

Для сопоставительного анализа влияния архитектурно-конструктивного типа НИС на величину критических по кавитации скоростей рассмотрим определение относительных осадок традиционного НИС  $t' = \frac{T'}{\sqrt[3]{V'}}$  и НИС-СМПВ  $t'' = \frac{T''}{\sqrt[3]{V''}}$ . Здесь  $T'$ ,  $T''$  — осадки, а  $V'$ ,  $V''$  — объемные водоизмещения для традиционного НИС и НИС-СМПВ соответственно.

Статистические зависимости вида  $t' = t'(V')$  и  $t'' = t'(V'')$  предложены В. А. Дубровским [3], и в реальном для НИС диапазоне объемных водоизмещений, когда  $V' < 5000 \text{ m}^3$  и  $V'' < 5000 \text{ m}^3$ , можно приближенно принимать

$$t' = \frac{2,0 + 0,6V'_*}{\sqrt[3]{V'}}; t'' \approx \frac{4,0 + 0,7V''_*}{3\sqrt[3]{V''}};$$

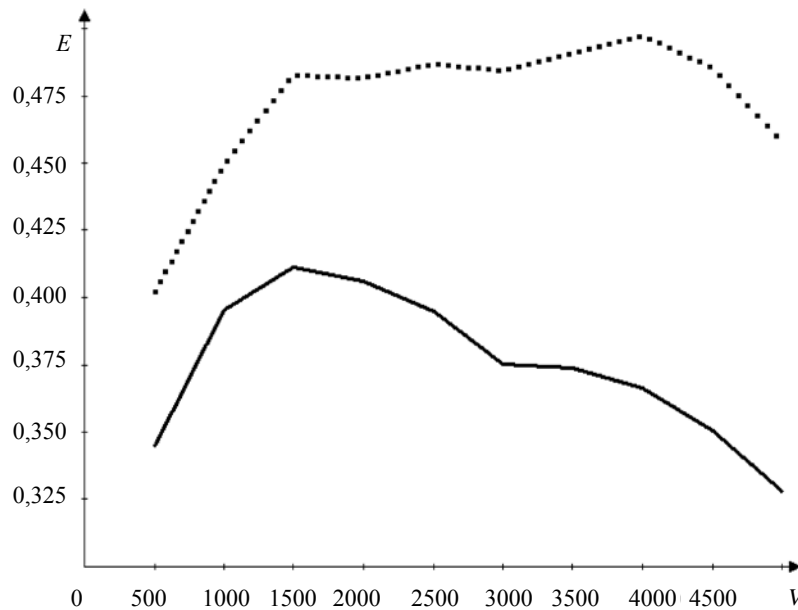
$$V'_* = 10^{-3}V'; V''_* = 10^{-3}V'',$$

где величины  $V'$  и  $V''$  измеряются в  $\text{m}^3$ .

На базе изложенных предпосылок для ряда вариантов традиционных НИС и НИС-СМПВ при систематически изменяющихся объемных водоизмещениях для постоянной скорости поиска были подсчитаны величины  $E = E(V)$  — рис. 1.

Из рис. 1 видно, что во всем диапазоне ординаты зависимости  $E = E(V)$  для СМПВ существенно меньше, чем для традиционного НИС. Это связано с большим погружением гребных винтов у СМПВ по сравнению с традиционным судном и с возможностью отдаления кавитации. Тогда на СМПВ или может быть установлено более эффективное акустическое оборудование, которое при той же скорости поиска будет иметь больший радиус действия, или при прочих равных условиях скорость поиска может





**Fig. 1.** Dependence of dimensionless generalized indicator of propeller noise  $E$  on volumetric displacement of the vessel  $V$ :

**Рис. 1.** Зависимость безразмерного обобщенного показателя шума гребных винтов  $E$  от объемного водоизмещения судна  $V$ :  
 ---- — conventional single hull RV / традиционное однокорпусное НИС; ——— — RV SWATH ship / НИС-СМПВ

**CONCLUSIONS.** 1. As a result of the completed research for those subclasses of the research vessels, the operation of which is associated with the use of hydroacoustics and for which the requirements of the acoustic compatibility are relevant in connection with this, an approximate method for pre-selection between the conventional single hull RV and the RV SWATH ships is suggested.

2. The suggested dimensionless generalized indicator of the propeller noise level is the value  $E$ , determined by the dependence (5), which depends on the velocity of the vessel, its draught and the characteristics of the propellers.

3. It is also shown that the relation between the actual  $N_A$  and  $[N_A]$ , which is permissible according to the conditions of the acoustic noise levels compatibility of the form  $N_A \leq [N_A]$  can approximately be replaced by the relation (6) of the form  $E \leq [E]$ , which is much more convenient for practical use. The values  $E$  and  $[E]$  are determined with the relations (5) and (7) respectively there. At that, the specification  $[E]$  depends on the characteristics of the hydroacoustic complex and the physical conditions of the formation of the cavitation noise, but it does not depend on the velocity of the ship and its main elements.

4. According to the results of the performed systematic comparative calculations over the entire investigated range of the volumetric displacements for the constant velocity of the search the dependence of the form

быть повышена. Оба этих фактора позволят увеличить определяемый по формулам (1), (2) показатель эффективности СМПВ. Но, разумеется, для объективного суждения о предпочтительности того или иного архитектурно-конструктивного типа НИС необходимо выполнить расчёт ресурсных показателей для традиционного НИС и НИС-СМПВ и произвести сопоставление вариантов по критерию «стоимость – эффективность».

**ВЫВОДЫ.** 1. В результате выполненного исследования для тех подклассов научно-исследовательских судов, функционирование которых связано с применением гидроакустики и для которых оказываются в связи с этим актуальными требования акустической совместимости, предложена приближённая методика для предварительного выбора между традиционным однокорпусным НИС и НИС-СМПВ.

2. Предложенный безразмерный обобщённый показатель уровня шума гребных винтов — это определяемая соотношением (5) величина  $E$ , которая зависит от скорости судна, от его осадки и от характеристик гребных винтов.

3. Показано также, что соотношение между фактическим  $N_A$  и допускаемым по условиям акустической совместимости уровнями шума  $[N_A]$  вида  $N_A \leq [N_A]$  приближенно может быть заменено значительно более удобным для практического применения соотношением (6) вида  $E \leq [E]$ , где величины  $E$  и  $[E]$  определяются соотношениями (5) и (7) соответственно. При этом норматив  $[E]$  зависит от характеристик гидроакустического комплекса и от физических условий формирования кавитационного шума, но от скорости судна и от его главных элементов норматив  $[E]$  не зависит.

4. По результатам выполненных систематических сопоставительных расчетов во всем обследованном

$E = E(V)$  for the SWATH ships goes much lower than for the conventional single hull RV (see. Fig. 1). This is due to greater draught and, accordingly, due to the possibility to remove the propeller cavitation in the RV SWATH ships compared to the conventional RV.

5. This circumstance potentially allows us to significantly increase the efficiency indicator, determined by the relations (1), (2), for the RV SWATH ships compared with the single hull RV. However, for the final selection is necessary to determine the source indicators of the compared options and perform the final selection between the conventional RV and the RV SWATH ship according to the “cost–effectiveness” criterion.

диапазоне объемных водоизмещений для постоянной скорости поиска зависимость вида  $E = E(V)$  для СМПВ проходит значительно ниже, чем для традиционных однокорпусных НИС (см. рис. 1). Это связано с большей осадкой и, соответственно, с возможностью отдалить кавитацию гребных винтов у НИС-СМПВ по сравнению с традиционным НИС.

5. Указанное обстоятельство потенциально позволяет существенно увеличить определяемый соотношениями (1), (2) показатель эффективности НИС-СМПВ по сравнению с однокорпусным НИС. Однако для окончательного выбора необходимо определить ресурсные показатели сопоставляемых вариантов и выполнить окончательный выбор между традиционным НИС и НИС-СМПВ по критерию «стоимость–эффективность».

### Список литературы

- [1] **Артюшков, Л. С.** Предварительный выбор основных элементов гребных винтов морских транспортных судов при оценке потребной мощности и оптимальной частоты вращения [Текст] / Л. С. Артюшков // Проблемы мореходности морских судов и плавучих сооружений : сб. науч. трудов ЛКИ. — Л. : ЛКИ, 1985. — С. 16–21
- [2] **Дмитриев, А. Н.** Проектирование подводных аппаратов [Текст] / А. Н. Дмитриев. — Л. : Судостроение, 1978. — 240 с.
- [3] **Дубровский, В. А.** Области применения и особенности проектирования судов с малой площадью ватерлинии [Текст] / В. А. Дубровский // Судостроение за рубежом. — 1988. — №2. — С. 5–19.
- [4] **Ефименко, А. А.** К определению функциональной отдачи научно-исследовательского судна [Текст] / А. А. Ефименко // Автоматизированное проектирование и конструкции судов : сб. науч. трудов НКИ. — Николаев : НКИ, 1986. — С. 109–114.
- [5] **Ефименко, А. А.** К вопросу о целесообразности применения двухкорпусных научно-исследовательских судов [Текст] / А. А. Ефименко // Автоматизированное проектирование и конструкции судов : сб. науч. трудов НКИ. — Николаев : НКИ, 1987. — С. 100–106.
- [6] **Козлов, Л. И.** Создание гидрографических судов различного назначения и методика сопоставления их технико-экономической эффективности [Текст] : автореф. ... канд. техн. наук / Л. И. Козлов. — Николаев : НКИ, 1979. — 23 с.
- [7] **Медведев, Н. Ф.** Суда для исследования Мирового океана [Текст] / Н. Ф. Медведев. — Л. : Судостроение, 1971. — 216 с.
- [8] **Нарусбаев, А. А.** Введение в теорию обоснования проектных решений [Текст] / А. А. Нарусбаев. — Л. : Судостроение, 1976. — 224 с.
- [9] **Семенов-Тянь-Шанский, В. В.** Статика и динамика корабля [Текст] / В. В. Семенов-Тянь-Шанский. — Л. : Судостроение, 1973. — 608 с.
- [10] Справочник по теории корабля : в 3 т. [Текст] / под ред. Я. И. Войткунского. — Т. 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители. — Л. : Судостроение, 1985. — 766 с.
- [11] **Худяков, Л. Ю.** Исследовательское проектирование кораблей [Текст] / Л. Ю. Худяков. — Л. : Судостроение, 1980. — 240 с.
- [12] **Бryan, L.** The Procurement of Warships [Text] / L. Bryan // Naval Architect, 1985. — №1. — P. 36–56.
- [13] Пат. № 58-11355 Япония, МКИ В 63 В 1/12, 39/00. Полупогруженное судно, **Мицуи Дэосэн К. К.** (Япония); заявл. 78.08.07; опубл. 83.03.02 №2-284.
- [14] Пат. № 58-11356 Япония, МКИ В 63 В 1/12, 39/00. Устройство для создания плавучести путем откачки воды на полупогруженном судне [Текст] / **Мицуи Дэосэн К. К.** (Япония); заявл. 78.09.21; опубл. 83.03.02 №2-284.
- [15] Пат. № 58-24315 Япония, МКИ В 63 В 1/12, 43/04. Регулирующее устройство для создания подъемной силы за счет вытеснения воды на полупогруженном судне [Текст] / **Мицуи Дэосэн К. К.** (Япония); заявл. 78.09.27; опубл. 83.05.02 №2-284.

© О. И. Соломенцев, А. А. Гофман

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