



СОДЕРЖАНИЕ

Статьи

<i>Клячкин В.И.</i> Оценивание неизвестных статистических параметров гидродинамических потоков несжимаемой жидкости, создаваемых движущимся сторонним источником	4
<i>Белов Б.П., Семенов Н.Н., Миронов И.В.</i> Цифровое формирование характеристики направленности гидроакустической антенны гидролокатора подводного робота во временной области	32
<i>Боженев Ю.А.</i> Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики	47
<i>Романенко Е.В., Пушков С.Г.</i> Об одном методе расчета гидродинамических характеристик крыла при нестационарном движении	69
<i>Разумеенко Ю.В., Юссеф М.Ю.</i> Теоретическое и экспериментальное обоснование повышения мореходности быстроходных катеров на основе принципа нейтрализации волновых нагрузок	81
Из истории науки	
<i>Готман А.Ш.</i> 200 лет со дня рождения Вильяма Фруда	88
Поздравляем!	97
Хроника	99
Правила представления материалов в редакцию.....	103

CONTENTS

Articles

- Klyachkin V.I.* The Estimation of Unknown Statistical Parameters of Hydrodynamic Flow of an Incompressible Liquid, Created by Moving Outside Source 4

On the basis of the use of hydrodynamic equations to incompressible liquid, reduced to non-dimensional form within the framework of similarity law, probabilistic structure of the field is constructed and researched as the basis of the decision of the problem of the non-dimensional parameter estimation of the flow, created by moving outside source, as well as for estimation of the source proper parameters and parameters of the statistical field propagation channel. The analytical form of the likelihood ratio is found and algorithms of the unknown information parameter estimation as the object of the statistical inverse problem solving are formed..

Key words: hydrodynamics, flow, moving source, propagation channel, plausibility ratio, inverse problem.

- Belov B.P., Simenov N.N., Mironov I.V.* Digital Underwater Robot Sonar Antenna Beamforming in Time Domain 32

Hydroacoustic data processing is being performed in time or spectral domain, the spectral domain processing is wider spread. In any case, antenna devices beamforming and input signals processing algorithms modeling must be performed. There are two possible approaches to the algorithms working out. The first is to process the signals on the outputs of the antenna channels and then calculate and simulate signals and noise on the antenna channels outputs in accordance with the calculated beam pattern of the channels and given source distribution and signals and noise parameters. The second is to generate signals and noise in the array elements, obtaining processes with the properties given on the item level on the channel outputs, and the total signal processing in time domain. The formulas of signals and noise for mobile underwater robot antenna are cited.

Key words: directivity, sonar, modeling of noise and signals, time domain, frequency domain, sonar channel formation.

- Bozhenov J.A.* Use of the Autonomous Underwater Vehicles for the Arctic and Antarctic Regions Exploration 47

Polar marine research is a key to understanding of processes of the sea ecosystem and the Earth climate change. They are also of a great economic and defense importance. However, vast ice covers and ice thickness make it difficult to carry out research in such regions. Autonomous underwater vehicles (AUVs) are able to provide essential help in conducting this research. The paper deals with: the overview of development, role and technical capabilities of AUVs, used for marine research in ice environments.

Key words: Polar Regions, drifting ice, ice sheet, AUVs, sea researches, navigation, payload, equipment characteristics, risks.

<i>Romanenko E.V., Pushkov S.G. On the Method of the Wing Hydrodynamic Characteristics Calculation at Non-Stationary Movement</i>	69
---	----

Approximate expressions of hydrodynamic forces were used to develop a mathematical model of the flat rigid wing with different shape and aspect ratio varying pitch-axes location and sufficiently large heaving and pitching amplitudes. A peculiarity of this model is the usage of the first-order aerodynamic derivatives coefficients and kinematic parameters. Formulas for the calculation of the thrust and efficiency were derived. The results of calculations are in good agreement with numerical solutions.

Key words: wing, thrust, power, efficiency, aerodynamic derivatives, mathematical model.

<i>Razumeenko Y.V., Yussef M.Y. Theoretical and experimental approach to seaworthiness increase of high-speed boats on the basis of wave loadings neutralization</i>	81
--	----

Theoretical bases of essential seaworthiness increase and reduction of high-speed boats onboard rolling by application of wave loadings neutralizers are stated; wave loadings being the prime reason of rolling. It was proved experimentally that the most effective type of wave loadings neutralizer is wing profile lattices attached to the stern part of high-speed boats and that increased the attached weight – 2 times, and damping – 10 times. Comparative tests of the forced rolling of boats models in a seakeeping basin were conducted. They have confirmed high efficiency of the neutralizers in decreasing of boat onboard rolling. The structure of the left and right members of equation of boats onboard rolling with application of neutralizers is specified and their high efficiency in comparison with its traditional methods of rolling lessening was explained.

Key words: wave loadings neutralizers, wing profile lattices, specified structure of onboard rolling equation, model experiment.

УДК 621.38;651.46;532.5.041

© Ю.В.Разумеенко, М.Ю.Юссеф, 2011

Военно-морской инженерный институт, Санкт-Петербург–Пушкин
yurirazum@mail.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ МОРЕХОДНОСТИ БЫСТРОХОДНЫХ КАТЕРОВ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК

Излагаются теоретические основы существенного повышения мореходности и уменьшения бортовой качки быстроходных катеров (БК) путем применения нейтрализаторов волновых нагрузок (НВН) как первопричины качки. Экспериментально обоснован наиболее эффективный тип НВН – решетки из крыльевых профилей, устанавливаемые в кормовой части БК. Они увеличили присоединенную массу БК в 2–2.5 раза, а демпфирование в 8–10 раз. Проведены сравнительные испытания вынужденной качки моделей БК в мореходном бассейне. Они подтвердили высокую эффективность НВН по снижению бортовой качки БК. Уточнена структура левой и правой частей уравнения бортовой качки судов при применении НВН и объяснена высокая их эффективность по сравнению с традиционными методами умерения качки.

Ключевые слова: нейтрализаторы волновых нагрузок, решетки из крыльев, уточненная структура уравнения бортовой качки, модельный эксперимент.

Быстроходные катера (БК) имеют специфическую форму, обеспечивающую им глиссирующий или полуглиссирующий режимы движения. Все в них подчинено получению скоростей 35–45 узлов. Однако опыт применения боевых быстроходных катеров показал, что при большом волнении они не могут успешно применять свое оружие. В этом случае большая скорость оказывается не главным их качеством.

В условиях малых стран БК часто несут дозорную пограничную службу без хода. Их усиленная качка на волнении изнуряет экипажи и снижает эффективность применения этих кораблей на волнении. Поэтому проблема умерения качки и устранения ее вредных последствий является для них актуальной.

Повышение мореходности с позиций безопасности и обитаемости актуально и для гражданских судов небольшого водоизмещения, размеры которых исключают применение на них успокоительных цистерн или бортовых управляемых рулей [1]. Поэтому разработка простых нетрадиционных средств умерения качки катеров и малых судов – актуальная проблема.

Теоретические основы применяемого способа. Решаемая задача опирается на разработанный во ВМИИ принцип структурной нейтрализации волновых нагрузок [2]. Его сущность в том, что вместо традиционного умерения качки с помощью различных успокоителей ставится задача существенной нейтрализации волновых сил и моментов как ее первопричины. Как показано в работе [3], установка вдоль борта корпуса морского объекта днищевых пластинчатых нейтрализаторов волновых нагрузок (НВН) снизила суммарный волновой момент на 3–4 баллах в 2–3 раза, а качку – в 4–5 раз (рис. 1). Даже на резонансной частоте судно с нейтрализаторами волновых нагрузок (НВН) имеет коэффициент динамичности меньше единицы. Это решение было защищено патентом [4].

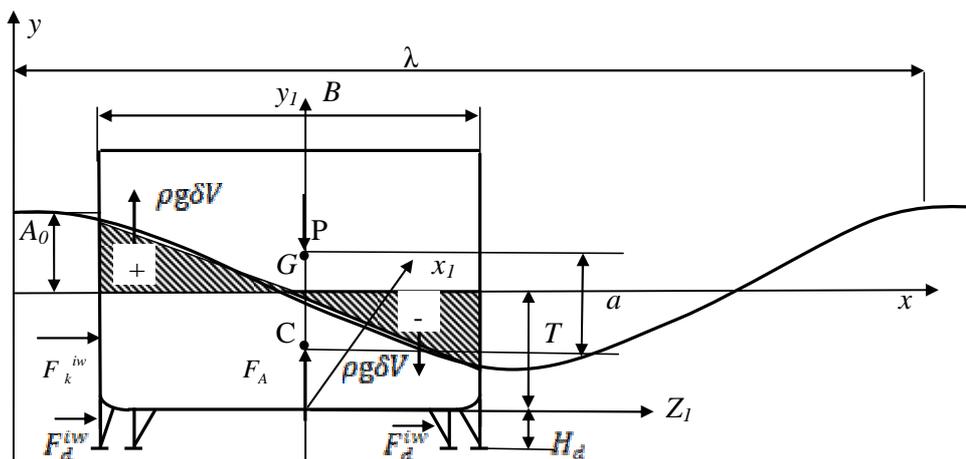


Рис. 1. Схематическое взаимодействие главного возмущающего момента и противодействующих ему сил и моментов на крановом судне.

Сущность работы НВН в том, что в любую фазу волны они создают контрмомент основному возмущающему квазистатическому моменту и позволяют уменьшить суммарное воздействие волн в несколько раз, тем самым существенно уменьшая причину качки.

Теоретическими основами принципа структурной нейтрализации волновых сил и моментов являются использование объективных свойств любого гармонического процесса: противофазности в волновом поле перемещений, угла волнового склона и их ускорений. Перемещениям пропорциональны квазистатические волновые силы и моменты, которые в большинстве случаев являются главными, а ускорениям – их инерционные (крыловская и дифракционная) части, которые всегда действуют на корпус судна в противофазе квазистатическим (рис. 1, 2), и система формул

$$\begin{aligned}
 y_w &= A_0 e^{ky} \cos(kx + \omega t), & x_w &= -A_0 e^{ky} \sin(kx + \omega t), \\
 v_x &= -A_0 \omega e^{ky} \cos(kx + \omega t), & w_x &= \dot{v}_x = +\omega^2 A_0 e^{ky} \sin(kx + \omega t), \\
 v_y &= -A_0 \omega e^{ky} \sin(kx + \omega t), & w_y &= \dot{v}_y = -A_0 \omega^2 e^{ky} \cos(kx + \omega t), \\
 \alpha_w &= -k A_0 e^{ky} \sin(kx + \omega t), & \dot{\alpha}_w &= -k A_0 \omega e^{ky} \cos(kx + \omega t), \\
 \ddot{\alpha}_w &= k A_0 \omega^2 e^{ky} \sin(kx + \omega t),
 \end{aligned} \tag{1}$$

где A_0 – амплитуда волны относительно невозмущенной поверхности; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; λ – длина волны; ky – коэффициент убывания амплитуды волны по мере удлинения от поверхности ($y < 0$); v_x и v_y – горизонтальные и вертикальные составляющие скоростей частиц воды в орбитальном ее движении; w_x и w_y – горизонтальные и вертикальные составляющие ускорений частиц воды в орбитальном ее движении; $\alpha_w = k A_0$ – амплитуда угла волнового склона; $\dot{\alpha}_w$ и $\ddot{\alpha}_w$ – угловые скорости и ускорения.

В волновом поле на плече $y = -(T - 0.5 h_{\text{пн}})$ будут действовать линейные и угловые скорости и ускорения – v_x , $\dot{\alpha}_{\text{вс}}$, w_x , $\ddot{\alpha}_{\text{вс}}$; при этом на НВН будут возникать дополнительные разгружающие моменты. При собственных колебаниях БК на НВН возникают дополнительная присоединенная масса λ_{33}^H и коэффициент демпфирования N_θ^H , увеличивающие инерционность и его демпфирующие свойства.

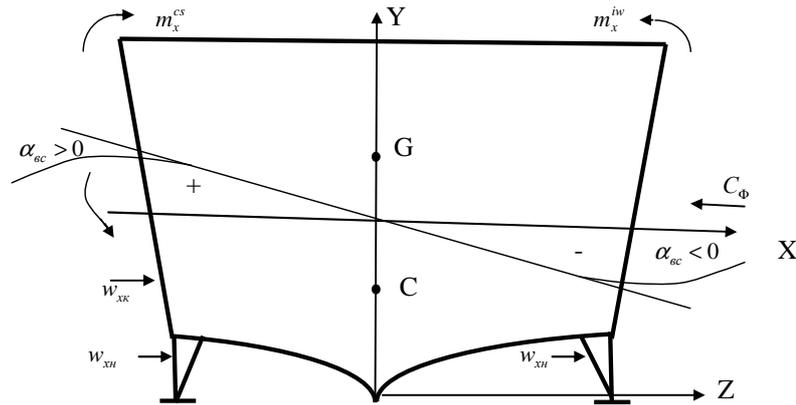


Рис. 2. Нейтрализация волновых моментов на БК.

Несмотря на то что в литературе [5] известны полные уравнения, в практических расчетах широко применяется «укороченное» уравнение бортовой качки:

$$(I_{xM} + \lambda_{44})\ddot{\theta} + 2N_{\dot{\theta}}\dot{\theta} + g\rho Vh\theta = g\rho Vh\chi_{bc}\alpha_{bc}(t). \quad (2)$$

В нем возмущающий момент определяется только коэффициентом остойчивости $k_{\theta} = g\rho Vh$ и углом волнового склона $\alpha_{bc}(t)$. Редукционным коэффициентом χ_B учитывают отброшенные члены, для их определения существуют номограммы. Члены в левой части, как правило, считаются постоянными. Часто редукционный коэффициент, который зависит от частоты волны и размеров судна, полагается постоянным, и в этих условиях строят АЧХ бортовой качки. Однако такая АЧХ судна существенно искажает его динамические свойства и не дает правильной оценки его качки на волнении.

В работе применена полная структура уравнений бортовой качки судна, но в нее включены дополнительные инерционные и демпфирующие составляющие как в левую, так и в правую части от НВН. При этом структура уравнения бортовой качки приобретает вид

$$\begin{aligned} & (I_{44} + \lambda_{44}^k + \lambda_{44}^h)\ddot{\theta} + 2(N_{\dot{\theta}}^k + N_{\dot{\theta}}^h)\dot{\theta} + g\rho Vh\theta \approx \\ & \approx -g\rho V\chi_B kA_0 [h - ki_{44}^2 k_{44}^k \chi_{Tk} - ki_{44}^2 k_{44}^h \chi_{Th} - k_{33}^k (Y_g - 1.1Y_c) \chi_{Tk} - k_{33}^h (Y_g - Y_n) \chi_{Th}] \sin \omega t - \\ & - 2A_0 \omega \chi_B (M + \lambda_{33}) [\mu_{33}^k (Y_g - 1.1Y_c) \chi_{Tk} + \mu_{33}^h (Y_g - 1.1Y_c) \chi_{Th} + \mu_{44}^k ki_{44}^2 \chi_{Tk} + \mu_{44}^h ki_{44}^2 \chi_{Tk}] \cos \omega t, \end{aligned} \quad (3)$$

где I_{44}^k , λ_{44}^k , λ_{44}^h – момент инерции собственно корпуса и присоединенные моменты инерции корпуса и НВН; $2N_{\dot{\theta}}^k$, $2N_{\dot{\theta}}^h$ – размерные коэффициенты демпфирования корпуса и нейтрализаторов; h – поперечная метацентрическая высота; i_{44}^2 и $i_{44\Sigma}^2$ – квадраты радиусов инерции собственно корпуса и совместно с НВН; k_{44}^k , k_{44}^h – коэффициенты присоединенных моментов инерции корпуса и НВН, нормированные на ρI_{44} ; M – масса корпуса, ρV – его массовое водоизмещение; T , Y_g и Y_c – осадка, ординаты центра масс и плавучести; k_{33}^k , k_{33}^h – коэффициенты присоединенных масс, корпуса и НВН при их взаимодействии с горизонтальными ускорениями в волне; μ_{33}^h , μ_{33}^k – коэффициенты демпфирования корпуса и НВН при действии на корпус горизонтальных составляющих скоростей в волне, нормированные на $\rho V v_x$; μ_{44}^k , μ_{44}^h – коэффициенты демпфи-

рования корпуса и НВН при действии на корпус вращательных составляющих скоростей в волне, нормированные на $\rho I_{44}\omega$; $\chi_B \approx 1 - \frac{(kB)^2}{8}$ – редуцированный коэффициент, учитывающий кривизну ватерлинии на корпусе; $\chi_{T_k} \approx e^{-k(T-1.1Y_c)}$ – коэффициент уменьшения амплитуды волны на уровне центра давления корпуса $Y_d \approx 1.1Y_c$; $\chi_{T_H} \approx e^{-k(T-y_H)}$ – коэффициент уменьшения амплитуды волны на уровне центра давления НВН.

В уравнении (3) члены, учитывающие влияние НВН на качку, показаны полужирным шрифтом. Как известно, демпфирующие члены, пропорциональные угловым и линейным скоростям, сдвинуты относительно квазистатических на $\pi/2$, и, как показал эксперимент, они на порядок меньше инерционно-волновых. Поэтому этими составляющими в некоторых случаях можно пренебречь. Но следует обратить внимание на структуру уравнения (3). Обе эти составляющие в нулевой фазе создают *небольшой кренящий момент*. По мере появления угла волнового склона появляются кренящий момент от остойчивости и противодействующие ему инерционно-волновые члены корпуса и НВН.

Структура (3) физично поясняет, как волна начинает воздействовать на корпус, как ее воздействие достигает максимума и постепенно убывает. В фазе $\varphi = \omega t = 0$ все синусные члены равны нулю; на корпус в полную меру действуют только косинусные составляющие, указанные выше. В фазе $\varphi = \omega t = \frac{\pi}{2}$ $m_{кр}^{cs}$ достигает по модулю максимума, косинусные члены обращаются в ноль и с $m_{кр}^{cs}$ «ведут борьбу» инерционные члены корпуса и НВН, причем не только от $\ddot{\alpha}_w$, но и от w_x .

На наш взгляд, эти рассуждения полезны для разъяснения студентам физики воздействия волны на судно и ее нейтрализации. Предложенное уравнение является более полным по сравнению с применяемыми уравнениями бортовой качки. При такой структуре становятся очевидными роль НВН и их высокая эффективность:

- во-первых, они увеличивают инерционность и демпфирующие свойства корпуса, что сдвигает частоту собственных колебаний судна в область более низких частот, и способствуют быстрому затуханию колебаний;
- во-вторых, через k_{44}^H и k_{33}^H они дополнительно сверх k_{44}^K и k_{33}^K уменьшают суммарный возмущающий момент.

Предложенная структура уравнения бортовой качки позволяет анализировать влияние на нее главных размерений любого судна, взаимного расположения центров масс и плавучести, а также параметров волн (частоты и амплитуды), а также размеров и месторасположения НВН. В принципе, при избыточной эффективности НВН или большей частоте волны по отношению к расчетной возможна инверсия m_θ , что может вызвать противофазную качку судна.

Значения коэффициентов присоединенных масс и демпфирования, входящих в уравнение (3), определялись на спроектированной нами и изготовленной на ЗАО «Барс» экспериментальной установке. На нее подана заявка на изобретения [6], в настоящее время она проходит экспертизу по существу. Эта установка работает на принципе бифилярного подвеса, но *в отличие от общепринятой методики в ней предусмотрено изменение длины бифилярных подвесов и нагрузки моделей при постоянной осадке. Это позволяет менять частоту и амплитуду собственных колебаний моделей.* А применение рекомендаций работы [7] позволяет определенным таким путем коэффициенты присое-

диненных масс и демпфирования переносить на вынужденные колебания и воздействие волн на МО.

Предварительная оценка эффективности НВН разного типа. Проведены сравнительные исследования эффективности различных типов НВН (пластин и решеток различного типа) по гашению собственных колебаний отсека судна с вариацией частоты и амплитуды колебаний. Исследовались: сплошная пластина с полкой внизу, пластина с вырезами, решетки из пластин, развернутых на угол $\sim 20^\circ$ к потоку, и решетка из крыльевых профилей. Использовались при этом идеи решетчатого крыла О.Г. Войцеха [8]. Это крыло имеет в 2–3 раза большую подъемную силу, чем профили Н.Е. Жуковского.

Исследования проводились с двумя одинаковыми отсеками судна без НВН и с НВН в диапазоне частот $\omega = 2\pi/\tau = (0.5 \div 1.04)c^{-1}$. Установлено, что наибольшей эффективностью обладает решетка, составленная из **крыльевых профилей**, и она увеличивает в 2 раза период собственных колебаний отсека. Коэффициент присоединенной массы отсека с НВН увеличился в 2.5 раза, а коэффициент демпфирования – в 10 раз. Аналогичные результаты получены и на других длинах подвесов (частотах).

После этого был проведен эксперимент в мореходном бассейне ВМИИ по сравнению бортовой качки двух одинаковых отсеков с НВН и без них. Было установлено, что отсек без НВН интенсивно качается даже после остановки волнопродуктора. Отсек с НВН качается на той же волне значительно меньше и после остановки волнопродуктора успокаивается после 2–3 колебаний.

Отсек	k_{33}	μ_{33}	$\tau(c)$
Без НВН	0.97	0.07	8.3
Со сплошной пластиной	1.9	0.2	13
С решеткой	2.6	0.7	17

На графиках (рис. 3) и в таблице представлены результаты сравнительного эксперимента на одной из длин подвески отсека судна без и с НВН.

На основе предварительного эксперимента, с учетом специфических форм БК, предложено в районе их кормового среза установить специальные решетчатые крыльяхлыжи (рис. 4). После обсуждения их формы, размеров и способа крепления к корпусу БК с представителями ЦМКБ «Алмаз» они были изготовлены в модельных мастерских «Алмаза» и прикреплены к корпусу модели БК с $L_{\max} = 1.9$ м, $B_{\max} = 0.38$ м, $H_{\max} = 0.220$ м. С этой моделью были проведены предварительные сравнительные испытания бортовых колебаний модели с НВН и без них. Испытания подтвердили не менее чем двухкратное уменьшение амплитуд качки модели с НВН по сравнению с моделью без них.

Почему вертикальные днищевые НВН значительно эффективнее традиционных скуловых килей? Причина в том, что скуловые кили работают как самостоятельные пластины. На каждой пластине возникают свои присоединенные моменты инерции и демпфирования. А у днищевых НВН они в несколько раз больше, так как их присоединенная масса и демпфирование определяются фактически объемами под днищем между бортовыми НВН $V_{\text{НВН}} = h_{\text{Н}} l_{\text{Н}} b_{\text{Н}}$, где $h_{\text{Н}} \approx 0.2T$, $l_{\text{Н}} \approx 0.25L$, $b_{\text{Н}} \approx (0.8 - 0.9)B$, где $h_{\text{Н}}$, $l_{\text{Н}}$ и $b_{\text{Н}}$ – высота, длина и расстояние между левой и правой решетками. Это с запасом компенсирует большее удаление днищевых НВН от ватерлинии, и они на 60–70 % нейтрализуют квазистатический волновой момент $m_{\text{кр}}^{\text{cs}} = \rho V h \alpha_{\text{BC}}(t)$, который является главным в традиционных уравнениях качки. Преимущество днищевых НВН перед скуловыми килями еще и в том, что они не мешают швартовке.

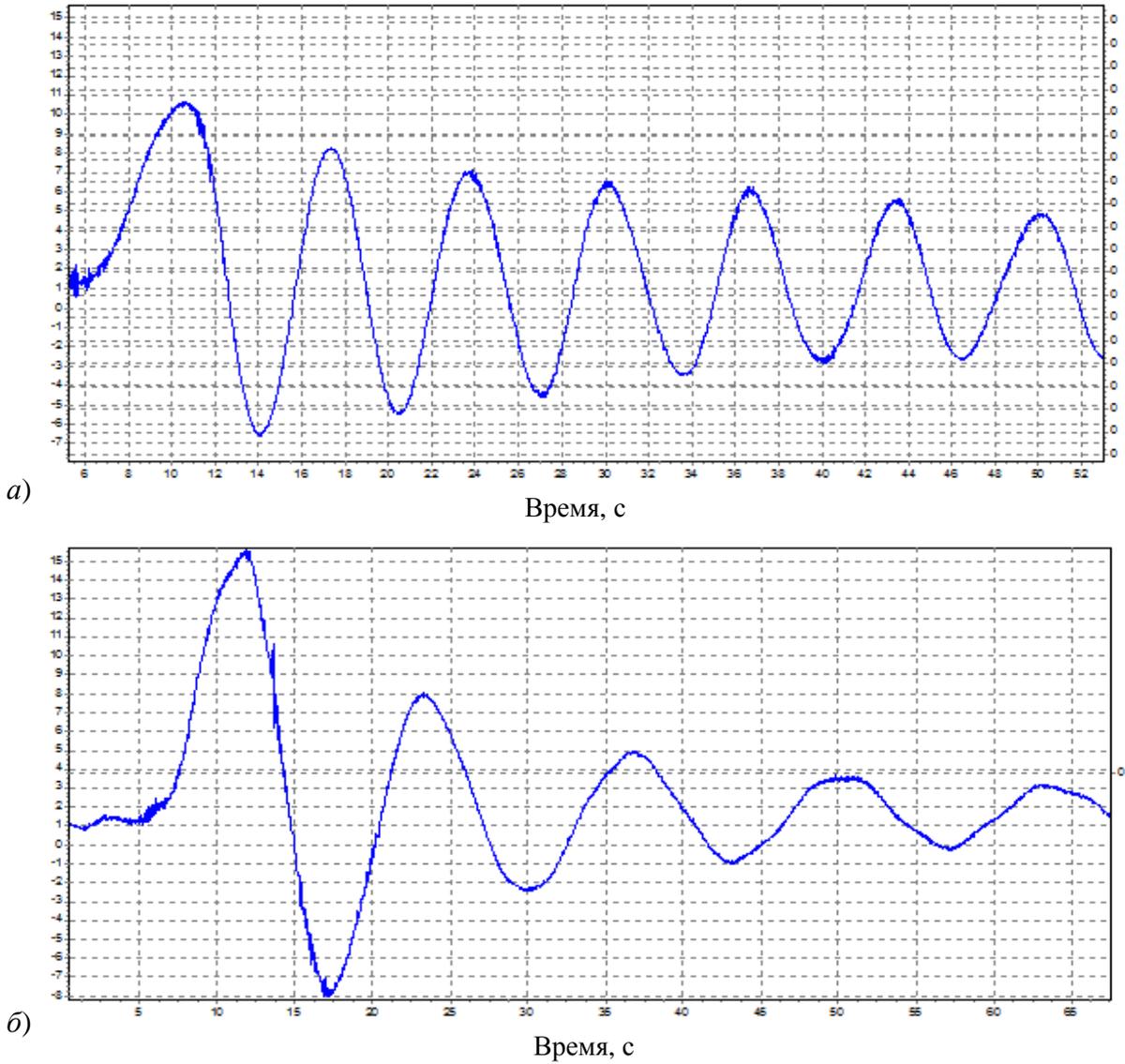


Рис. 3. Типовые кривые затухающих колебаний отсека судна.
Отсеки: а – без НВН, б – с НВН с решеткой.

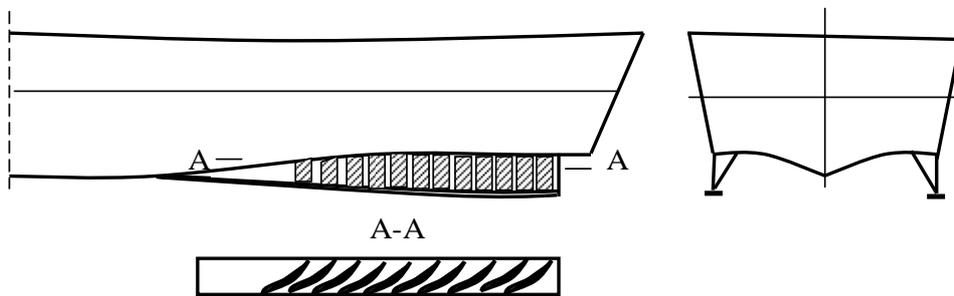


Рис. 4. Быстроходный катер с нейтрализаторами волновой нагрузки.

Решетчатые пассивные НВН имеют преимущества и перед активными успокоителями качки типа, например бортовых рулей или активных цистерн. НВН начинают работать сразу, как только у судна появляется тенденция к наклонению. На НВН и корпусе

момент обратного знака возникает сразу в момент воздействия волны на судно, и они мгновенно реагируют на скорость наклона, а затем на ускорение и притом без каких-либо систем автоматического регулирования.

Очевидно, что эффективность НВН зависит от частоты $\omega = \sqrt{g 2\pi/\lambda}$ и амплитуды волны A_0 . Но, как показано в работе [3], если подобрать оптимальный НВН на некоторый расчетный диапазон длин и высот морских волн, то за пределами этого диапазона амплитуда качки волнстойкого морского объекта мало изменится (существует размытый минимум). Мы предполагаем, НВН будут не только частично нейтрализовывать возмущающие моменты, но и положительно повлияют на скорость хода. Наше предположение основано на следующих факторах:

- решетчатые крылья, развернутые наружу к потоку на 15–20°, будут отсасывать в корме пограничный слой и направлять его под днище, увеличивая давление перед гребными винтами, за счет этого увеличится их КПД;
- при обтекании крыльев на ходу катера они будут создавать небольшую собственную тягу;
- недавно проведенные сравнительные эксперименты по качке модели лагом к волне подтвердили эффективность гашения НВН бортовой качки;
- модель без НВН, поставленная носом к волне, дрейфует в сторону движения волны, а с НВН практически сохраняет свое место.

Таким образом, на основе теоретических и экспериментальных исследований предложен простой и эффективный способ существенного уменьшения бортовой качки БК (не менее чем в 2 раза). Вместо ее умерения – нейтрализация воздействия волны на судно с помощью крыльевых решеток, устанавливаемых в кормовой и носовой частях корпуса. Уточнена структура уравнения бортовой качки любого судна без и при наличии НВН. Разъяснена причина высокой эффективности днищевых НВН по сравнению с традиционными устройствами умерения качки.

Литература

1. Егоров И.Т., Буняков М.М. и др. Ходкость и мореходность глиссирующих судов. Л.: Судостроение, 1978.
2. Разумеенко Ю.В., Пыльнев Ю.В., Родионов А.В. Принцип структурной нейтрализации волновых нагрузок как основа волнстойких морских технологий XXI века // Тр. Междун. форума. М., 1999. С.345–347.
3. Разумеенко Ю.В., Пыльнев Ю.В., Ейбоженко А.В., Родионов А.В. и др. Результаты испытаний по оценке качки моделей морского транспорта-погрузчика без хода на тихой воде и регулярном волнении. Технический отчет по ТЗ ЦМКБ «Айсберг». СПб., 2002.
4. Разумеенко Ю.В., Пыльнев Ю.В., Ейбоженко А.В., Родионов А.В., Морозов А.И. Устройство для умерения бортовой качки судов с большой поперечной остойчивостью. Патент № 2374124. 2006.
5. Войткунский Я.И. Справочник по теории корабля. (Статика судов. Качка судов). Т.2 Л.: Судостроение, 1985.
6. Разумеенко Ю.В., Юссеф М.Ю., Кодяков В.М. и др. Устройство для определения сил присоединенной инерции и демпфирования тел методами их свободных затухающих колебаний в жидкости. Заявка № 2009145900/28(065449), 2009.
7. Разумеенко Ю.В. Вопросы переноса гидродинамических коэффициентов, определенных методами затухающих колебаний, на колебания вынужденные и воздействие волн на подводные технические объекты // Изв. РАН. Сер. МТТ, № 1. 1993.
8. Войцех О.Г. Крыло самолета. Патент РФ № 2184680. 2002.

Статья поступила в редакцию 17.09.2010 г.

