

ЛИТЕРАТУРА

1. Доронин В.В. Радионавигационные приборы и системы. Учебное пособие. – К: КГАВТ, 2006.– 472 с.
2. International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974. – London. International Maritime Organization. – 2008. 428 с.
3. SOLAS amendments 2008 and 2009. – London. International Maritime Organization. – 2010. 78 с.
4. John Eric Hagen. Why e-Navigation. – Seaways. The International Journal of the Nautical Institute.– March 2012. – p.p. 14-16.
5. <http://docs.imo.org/Category.aspx?cid=3>
6. http://www.e-nav.no/?page=73&parent_text=84
7. <http://www.internavigation.ru/news.phtml?n=103>.
8. <http://www.itsnorge.no/maritim/IMOЕ-Navigationstrategy.html>

У статті розглядаються передумови та етапи створення системи комплексної електронної навігації e-Navigation в сучасному морському судноплаванні, яка направлена на підвищення безпеки мореплавства та запобігання забрудненню навколишнього середовища, а також складові частини цієї системи та основні переваги для світового судноплавства у разі її впровадження.

The article considered prerequisites and stages of creating a comprehensive electronic navigation system e-Navigation in the modern maritime industry aimed at improving maritime safety and pollution prevention, the segments of this system and the main advantages for the world shipping on its implementation.

УДК 629.035

Осовский Д.И., Шаратов А.С.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУЙНО-МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ВИНТОВОЙ НАСАДКИ ПО ВИХРЕВОЙ ТЕОРИИ

Предложен способ повышения гидродинамических характеристик винтовой направляющей насадки. Рассмотрена вихревая модель струйно-механизированной насадки. Выбран единый критерий оценки влияния струйной механизации. Произведена оценка изменения гидродинамических характеристик за счет струйной механизации. Приведены результаты численного моделирования струйно-механизированной винтовой насадки по вихревой теории.

Ключевые слова: вихрь, насадка, гидродинамические характеристики, струя, критерий, модель.

1. **Постановка задачи.** Винт с насадкой – обычный винт, установленный в коротком сопле, – изобретен немецким инженером Л.Кортом, который обобщил результаты исследования гребных винтов в трубе и существенно усовершенствовал конструкцию: он превратил трубу в короткое сопло, а форму выполнил соответственно аэродинамическому профилю. Конструктивно насадка может быть подвижно соединена с корпусом судна или выполнена с ним как одно целое.

К преимуществам данного типа движителей относятся: возможность получения дополнительного упора на насадке, снижение концевых потерь лопастной системы, выравнивание неоднородности внешнего потока.

К проблемам характерным для движителей в насадке относятся: возможность возникновения значительных пульсаций сил на насадке и центральном теле, необходимость комплексной оптимизации формы насадки и других элементов в составе единого движителя, специфические проблемы возникают так же при разработке методов поверочного расчета.

Теоретические исследования способов повышения эффективности насадок гребных винтов рассмотрены в работах Зайцева, Лебедева, Мишкевича [3-6]. В работах этих авторов не рассматривается вопрос снижения сопротивления, создаваемого насадкой.

Эффективность насадки может быть повышена двумя способами:

1. Повышения подъемной силы элементов насадки
2. Снижение сопротивления, создаваемой насадкой

С целью повышения эффективности применения насадки предлагается применение эффекта струйной механизации [7-9].

2. Моделирование насадки гребного винта со струйной механизацией по вихревой теории

В общем случае винтовую насадку можно представить в виде короткого сопла, а форму представить соответственно аэродинамическому профилю (рисунок 1). Поток идеальной жидкости со скоростью v_0 набегаает на гребной винт. В результате взаимодействия винта с набегающим потоком, скорость жидкости в струе за гребным винтом увеличивается на величину u . При использовании комбинации винт – насадка струя, ускоренная винтом, сужается в меньшей степени, по сравнению с обычными винтами.

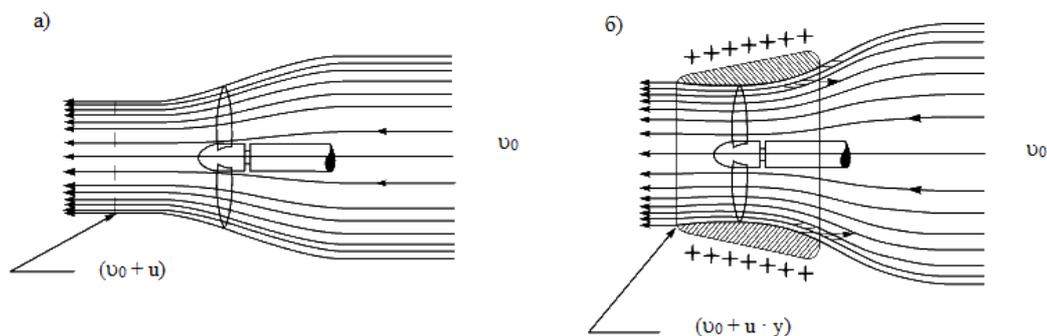


Рис. 1. Схема течения жидкости через гребной винт:
а) открытый гребной винт; б) винт в насадке

Данная гидродинамическая система характеризуется следующими физическими параметрами: v_0 – невозмущенная скорость набегающего потока; u – скорость, индуцированная гребным винтом; y – коэффициент влияния насадки.

При одинаковых расходах скорость за винтом с насадкой $(v_0 + u \cdot y)$ меньше, чем за винтом без насадки $(v_0 + u)$. Поэтому идеальный КПД винта с насадкой возрастает в отношении

$$(2 \cdot v_0 + u) / (2 \cdot v_0 + u \cdot y). \quad (1)$$

Форма насадки принимается соответствующей аэродинамическому профилю.

Рассмотрим насадку. Поскольку каждый элемент профиля насадки работает как элемент крыла, обтекаемого под углом атаки α (рис.2), на нем возникают подъемная сила dY и сила профильного сопротивления dX , направленные нормально и вдоль вектора средней скорости натекания потока. В результате разложения гидродинамической силы ΔR_n на вертикальную силу ΔQ и горизонтальную силу ΔR_n можно получить результирующую R_n силу упора гидродинамического комплекса винт - направляющая насадка:

$$P_k = P + P_n, \quad (2)$$

где $P_n = \Sigma \Delta P_n$ – упор насадки;
 ΔP_n – упор создаваемый элементом насадки.

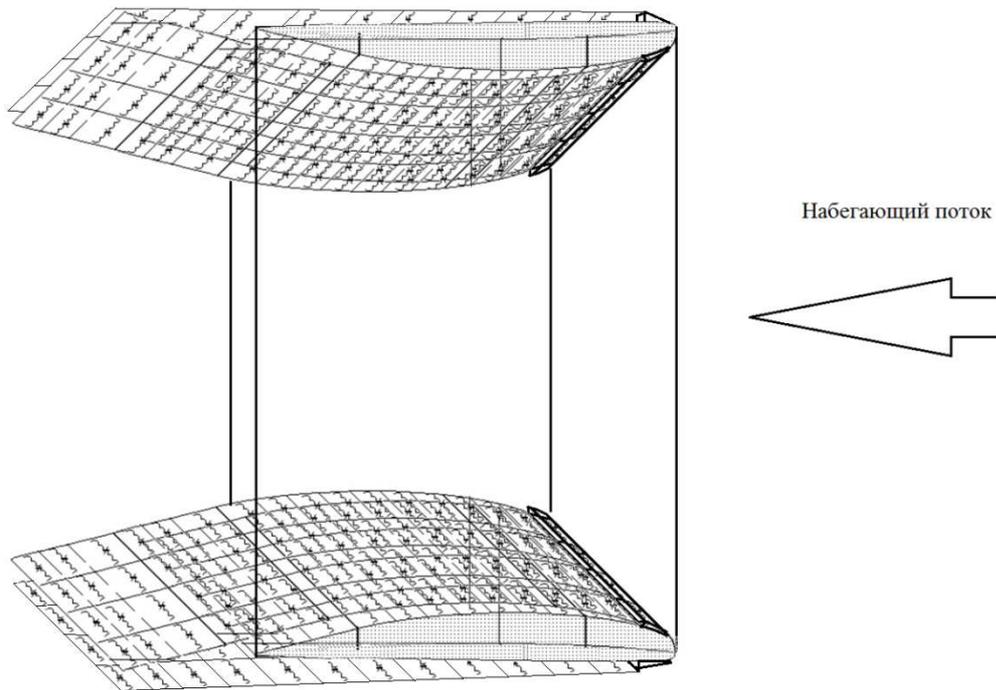


Рис.2. Расчетная схема струйно-механизированной насадки гребного винта

Для вылива струи жидкости вдоль поверхности профиля насадки (по хорде) используется сопловой аппарат, устроенный следующим образом: на переднюю кромку насадки крепится сопловой аппарат с профилированным плоским соплом сечением струи от 0,2 до 0,5 мм, из материала, аналогичного материалу насадки. Крепление соплового аппарата производится сваркой к основной насадке. Подвод осуществляется через армированные гибкие трубопроводы. Струя плоского сечения распространяется по всей внутренней и внешней поверхности насадки и за ее пределы в зависимости от импульса струи C_μ

Оценка эффекта вылива струи жидкости производится через коэффициент количества движения струи:

$$K_\Sigma = \int_{-l_c/2}^{+l_c/2} \rho \cdot h_0 \cdot V^2 dz, \quad (3)$$

где K_Σ – суммарное количество движения, проносимое струей в единицу времени;

h_0 – толщина щели;

V – теоретическая скорость истечения;

dz – элемент струи;

S_c – часть площади насадки.

Коэффициент количества движения:

$$C_\mu = \frac{dk}{qdS_c} = \frac{K'}{qb'}, \quad (4)$$

где $q = \frac{\rho^1 v_0^2}{2}$ – динамический напор.

Для всей площади S , насадки

$$C_{\mu\Sigma} = \frac{\int_{-l_c/2}^{+l_c/2} C_{\mu}(z) \cdot b'(z) dz}{S}. \quad (5)$$

Перепад давления на струе находится по формуле [25]

$$\Delta P = \frac{1}{R} \lim_{R_2 \rightarrow R_1} \int_{R_1}^{R_2} \rho v^2 dR \longrightarrow \Delta \bar{P} = \frac{1}{R} C_{\mu}, \quad (6)$$

где $\Delta \bar{P}$ – безразмерный коэффициент давления;

$\bar{R} = \frac{R}{b}$ – безразмерный радиус.

Перепад давления на струе зависит только от коэффициента C_{μ} и среднего радиуса.

Моделирование комплекса винт – направляющая насадка основано на использовании вихревой теории Н.Е. Жуковским. При рассмотрении профиль насадки и струя жидкости заменяются пространственной вихревой поверхностью соответствующей формы, от которой осуществляется переход к системе дискретных стационарных косых подковообразных вихрей. В соответствии с теоремой Н.Е. Жуковского подъемная сила, возникающая на элементе крыла бесконечного размаха, определяется через циркуляцию скорости Γ вокруг этого элемента. Зная циркуляции присоединенных вихрей, профиля насадки и струи, распределенную аэродинамическую нагрузку определяем по теореме Н.Е. Жуковского в «малом».

Расчет ведется на основе общего численного метода для профиля насадки в потоке идеальной жидкости. Обтекание передней кромки считается плавным. Уравнение поверхности представляется в виде

$$\eta = \sum_{i=1}^n \delta_i f_{\delta_i}(\xi; \zeta), \quad (7)$$

где $\eta = \frac{Y}{b}$, $\xi = \frac{X}{b}$, $\zeta = \frac{Z}{b}$ – безразмерные параметры поверхности;

$f_{\delta_i}(\xi; \zeta)$ – заданная функция, характеризующая вид деформации;

δ^i – масштаб деформации;

n – число видов деформации.

Граничным условием является условие плавного обтекания его поверхности. Тогда, выражение для возмущенной скорости будет иметь вид

$$\frac{W}{V_0} = -\alpha + \sum_{i=1}^n \delta_i \frac{\partial f_i}{\partial \xi}. \quad (8)$$

На заданной кромке должно выполняться условие о плавном сходе струй с задней кромки. Для плавного обтекания передней кромки или для безударного входа потока на насадку необходимо соблюдение на передней кромке условия Чаплыгина-Жуковского. Для нахождения распределения напряженности циркуляции вихревой поверхности непрерывное изменение циркуляции вдоль базовой плоскости приближенно заменяется ступенчатым, а вихревой слой на ней считается состоящим из системы присоединенных косых подковообразных вихрей. Увеличив число дискретных вихрей в системе, можно с любой точностью воспроизвести непрерывный вихревой слой.

При безударном входе потока следует ввести в расчетную схему дополнительные контрольные точки на передней кромке и удовлетворить граничным условиям о непротекании базовой плоскости в расположенных на ней контрольных точках

$$\begin{aligned} \sum W_{nj}^i \Gamma_j^* &= 0 \\ \sum W_{nj}^i \Gamma_j^* - 4\pi \left(\frac{\delta^*}{\delta}\right)_k &= 0 \\ \sum W_{nj}^i \Gamma_j^* - 4\pi \left(\frac{\delta^*}{\delta}\right)_k &= \sum W_{nj}^i \Gamma_j^i \end{aligned} \quad , \quad (9)$$

где Γ_j^* – циркуляція j-ого дополнительного вихря;

Γ_j – циркуляція j-ого основного вихря;

W_{nj}^i – скос потока в i-ой контрольной точке от j-ого вихря;

$\left(\frac{\delta^*}{\delta}\right)$ – масштаб сопряженной деформации к сечениям панелей.

Для моделирования профиль насадки и струи заменяются пространственной вихревой поверхностью соответствующей формы, от которой осуществляется переход к системе дискретных стационарных косых подковообразных вихрей.

Скорость, вызванная в некоторой точке (x_a, y_a, z_a) всей вихревой системы насадки и струи определяется в виде [7]

$$\frac{W_{ay}}{U_0} = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^N \frac{b}{\ell_{kk-1}} \sum_{\mu=1}^{2n} \Gamma_{\mu k}^{\mu k-1} \Delta \omega_{\mu k a y}^{\mu k-1} \quad , \quad (10)$$

где $\Delta \omega_{\mu k a y}^{\mu k-1}$ – суммарная безразмерная скорость, вызванная парой симметрично расположенных подковообразных вихрей на правой и левой половине насадки и струи.

На профиле насадки и на струе должно соблюдаться условие о плавном обтекании всех элементов винта

$$W_{n0} = 0 \quad . \quad (11)$$

Используя граничные условия и выражение (11) можно получить систему линейных алгебраических уравнений для вычисления безразмерных циркуляций присоединенных вихрей насадки и струи

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^N \frac{b}{\ell_{kk-1}} \left(\sum_{\mu=1}^n \Gamma_{\mu k}^{\mu k-1} \omega_{\mu k_0 v_y}^{\mu k-1 P P-1} + \sum_{\mu=n+1}^{2n} \Gamma_{\mu k}^{\mu k-1} \omega_{\mu k_0 v_y}^{\mu k-1 P P-1} \right) = \\ = - \begin{cases} 2\pi\alpha, \text{ на профиле;} \\ 2\pi(\alpha + \Theta_{vs}^{P P-1}), \text{ на струе.} \end{cases} \quad , \quad (12) \\ (v = 1, 2 \div 2n, 1 \leq P \leq N, s = n + 1, n + 2, \dots, 2n) \end{aligned}$$

где $\Theta_{vs}^{P P-1}$ – местный угол наклона струи, который можно выразить через циркуляции присоединенных вихрей струи в виде

$$\Theta_{vs}^{P P-1} = \Theta - \frac{2b}{C_{\mu} b_{kk-1}} \sum_{\mu=n+1}^{v_1} \Gamma_{\mu k}^{\mu k-1} \quad . \quad (13)$$

Зная циркуляции присоединенных вихрей, насадки и струи, распределенную гидродинамическую нагрузку определяем по теореме Н.Е. Жуковского в «малом». Гидродинамические коэффициенты выразим через их производные и кинематические параметры

$$\begin{aligned} C_y &= C_y^\alpha \cdot \alpha + C_y^\Theta \cdot \Theta; \\ m_z &= m_z^\alpha \cdot \alpha + m_z^\Theta \cdot \Theta, \end{aligned} \tag{14}$$

где $C_y^\alpha, C_y^\Theta, m_z^\alpha, m_z^\Theta$ – производные аэродинамических коэффициентов по кинематическим параметрам α и Θ .

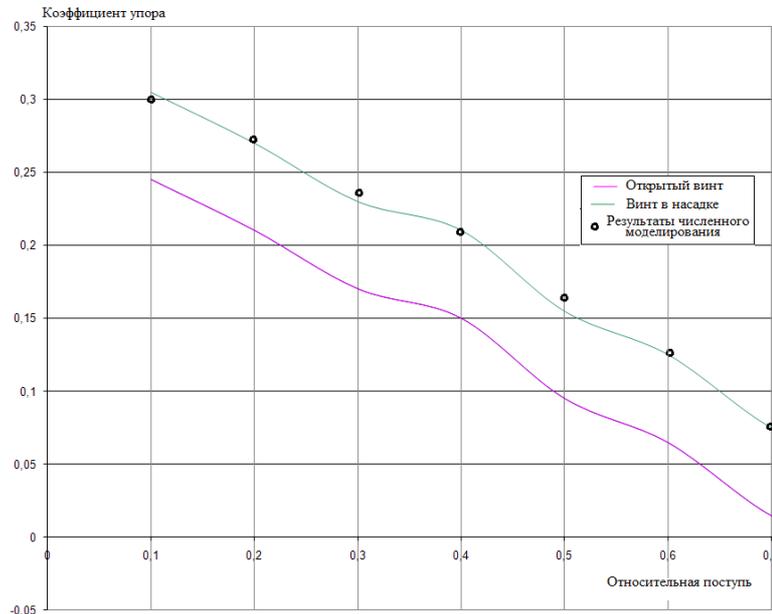


Рис. 3. Результаты численного моделирования винтовой насадки по вихревой теории

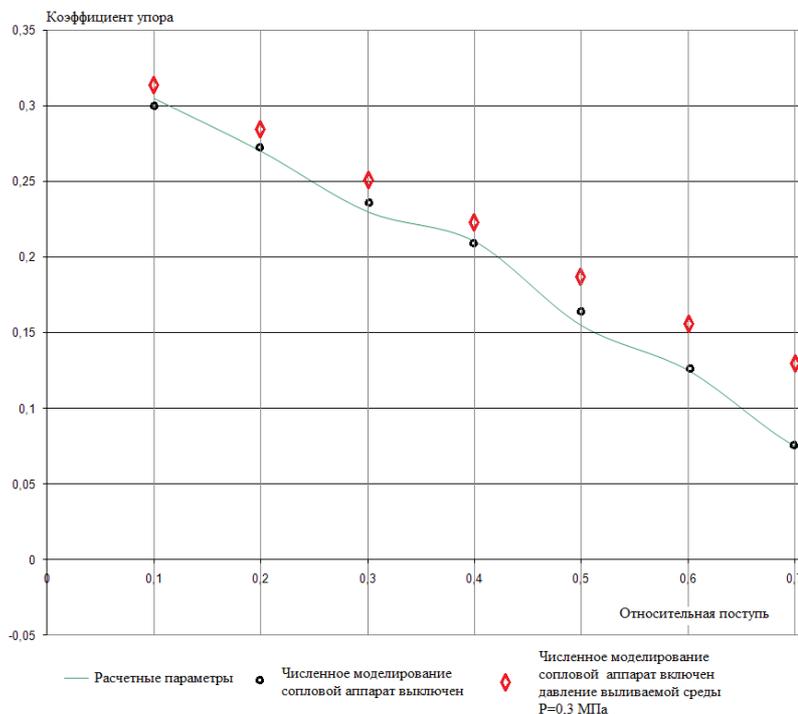


Рис. 4. Результаты численного моделирования винтовой насадки со струйной механизацией по вихревой теории

Система уравнений (10-14) позволяют сформировать математическую модель струйно-механизированной винтовой насадки.

На основании математической модели, численными методами был произведен расчет струйно-механизированной винтовой насадки для винтов прототипов, использованных в эксперименте [7].

Результаты расчетов представлены на рис. 3. Численным моделированием подтверждена достоверность математической модели винтовой насадки, оборудованной струйной механизацией.

Для оценки эффективности применения струйной механизации, проведено численное моделирование процесса обтекания насадки, оборудованной струйной механизацией, при давлении выливаемой среды 0,3 МПа. Моделирование проведено для случая с отключенным и включенным сопловым аппаратом. Результаты моделирования представлены на рис.4.

Заключение.

По результатам численного моделирования были получены результаты свидетельствующие о том, что применение струйной механизации винтовой насадки, позволяет:

1. Повысить упор создаваемый на профиле насадки.
2. Уменьшить индуктивное сопротивление насадки в результате отсутствия перетекания потока.
3. Разрушить гребной винт за счет ускорения потока жидкости в насадке.
4. Снизить индуктивное сопротивление на гребном винте, возникшее за счет применения насадки.
5. Уменьшить лобовое сопротивление, за счет безударного натекания потока.

Экспериментальная проверка полученных результатов будет производиться путем эксперимента в гидродинамической трубе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцева Ю.С. Исследование работы комплекса гребной винт-направляющая насадка, в неравномерном потоке / Ю.С.Зайцева // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова. – 1961. – вып. № 171(1961). –С. 34-50.
2. Лебедев А.М. Увеличение пропульсивного КПД за счет установки перед гребным винтом направляющей насадки / А.М. Лебедев // Судостроение за рубежом. – 1986. – № 1(229). –С.67-69.
3. Мишкевич В.Г. Исследование работ гребного винта в насадке и трубе на основе теории несущей поверхности / В.Г. Мишкевич // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – Л. – 1972. – 36 с.
4. Осовский Д.И. Кавитационная эрозия гребных винтов / Д.И. Осовский, А.С. Шаратов // Рыбное хозяйство Украины.– 2007. – №1, 2 (48, 49). – С. 32-36.
5. Осовский Д.И. Управление гидродинамическими характеристиками гребных винтов / Д.И. Осовский, А.С. Шаратов // Рыбное хозяйство Украины. – 2007. – №3 (50). – С. 25-28.
6. Осовский Д.И. Определение гидродинамических характеристик гребного винта оборудованного струйной механизацией при проведении опыта в гидродинамической трубе / Д.И. Осовский, А.С. Шаратов // Рыбное хозяйство Украины. – 2008. – №3 (53). – С. 37-41.
7. Осовский Д.И. Применение струйной механизации для повышения маневренности судов / Д.И. Осовский, О.Э. Ибрагимов // Рыбное хозяйство Украины. – 2011. – №5 (76). – С. 45-47.

Osovskiy D.I., Sharatov O. S.

MODELING JET SURFACE MECHANIZATION ROWING SCREW UNDER THE VORTICAL THEORY

The way of increase of hydrodynamic characteristics of a screw directing nozzle is offered. The vortical model of the jet-mechanized nozzle is considered. The uniform criterion of an estimation of influence of jet mechanization is chosen. The estimation of change of hydrodynamic characteristics at the expense of jet mechanization is made. Results of numerical modeling of the jet-mechanized screw nozzle under the vortical theory are resulted

Keywords: a whirlwind, direct nozzle, dynamics characteristics, a stream, criterion, model.

Д. І. Осовський, О. С. Шаратов

МОДУЛЮВАННЯ СТРУМИННО-МЕХАНІЗОВАНОЇ ГВИНТОВОЇ НАСАДКИ ПО ВИХРОВОЙ ТЕОРІЇ

Запропоновано спосіб підвищення гідродинамічних характеристик гвинтової направляючої насадки. Розглянута вихрова модель струминно-механізованої насадки. Обраний єдиний критерій оцінки впливу струминної механізації. Зроблена оцінка змін гідродинамічних характеристик за рахунок струминної механізації. Приведені результати чисельного моделювання струминно-механізованої гвинтової насадки по вихровій теорії.

Ключові слова: вихор, гвинтова насадка, гідродинамічні характеристики, струмись, критерій, модель.

УДК 551.463.2

А.А. Ярошенко

ВЛИЯНИЕ СИНОПТИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ ЗВУКА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В МЕЛКОМ МОРЕ

При выпадении сильного дождя, града, снега, в приповерхностном водном слое образуются аномалии профиля скорости звука узковолноводного типа. Рассматривается изменение пространственной структуры акустического поля при трансформации с течением времени узкого приповерхностного волновода, вызванного ливневым дождем.

Ключевые слова: профиль скорости звука, нормальные волны, акустические поля

Мелким принято считать море с глубинами от 20 до 200 м, что для частоты 150 Гц составляет от 2 до 20 длин волн. С точки зрения акустики океана, мелкое море характеризуется рядом специфичных особенностей. Прежде всего, акустические волны здесь распространяются в естественном волноводе, снизу ограниченном слоистым поглощающим дном. Водный слой обладает выраженной динамикой по глубине, особенно проявляющейся эпизодически в приповерхностном слое, где воздействие метеорологических факторов приводит к формированию нестационарных приповерхностных аномалий профиля скорости звука (ПСЗ). Воздействие упомянутых факторов в сочетании с разнообразной структурой дна мелкого моря на акустические поля ранее практически не изучалось.

Стратификационные неоднородности, искажающие сглаженный, «фоновый» профиль скорости звука, в конечном итоге можно свести к двум типам: узковолноводные и антиволноводные. Типичным примером может служить «синоптическая» приповерхностная аномалия ПСЗ [1].

Синоптические приповерхностные аномалии ПСЗ в наибольшей степени проявляются в летний период при обильном выпадении на поверхность моря ливневого дождя, града. Совместное воздействие термического и халинного факторов приводит к значительному снижению скорости звука у поверхности – на 18 м/с [1]. Фоновый профиль скорости звука и его изменение показаны на рис.1. С течением времени, прослойка охлажденной и распресненной воды заглубляется и через 4 часа после дождя аномалия фонового ПСЗ принимает вид хорошо выраженного локального волновода над основным шельфовым ПЗК, шириной 7 м и осью