

II. ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА

УДК 534.231.1

ПОЛНЫЙ СПЕКТР НОРМАЛЬНЫХ ВОЛН ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПЬЕЗОАКТИВНОГО ВОЛНОВОДА

С.М. Балабаев; Н.Ф. Ивина, Дальрыбвтуз, Владивосток

Получено дисперсионное уравнение симметричных нормальных волн в пьезоэлектрическом полом цилиндрическом волноводе с осевой поляризацией. Выполнены численные расчеты дисперсионных кривых для пьезоцилиндра, выполненного из пьезокерамики титаната бария (действительные, мнимые и комплексные моды).

При решении некоторых дифракционных задач, а также при контроле пьезоэлектрических материалов и построении точной теории пьезопреобразователей конечных размеров возникает необходимость вычисления полного набора корней дисперсионного уравнения нормальных волн пьезоактивного волновода, в частности, цилиндрического: в виде полого цилиндра.

Первые результаты анализа дисперсионных соотношений для стержневого пьезоэлектрического волновода опубликованы в работах [1, 2]. Аналогичные задачи для пьезоактивного волновода типа пластины рассмотрены в статьях [3, 4].

Данная работа посвящена анализу дисперсионных соотношений симметричных нормальных волн в пьезоэлектрическом цилиндрическом волноводе с осевой поляризацией.

В основу решения соответствующей краевой задачи должны быть положены дифференциальные уравнения движения, уравнения Максвелла, система электромеханических уравнений состояния и граничные условия для упругих и электрических полевых тензоров. Задачу будем решать в цилиндрической системе координат, причем ось z совпадает с направлением распространения нормальных волн. В случае осевой поляризации полная система дифференциальных уравнений, описывающих акустические и электрические поля в цилиндрических координатах, совпадает с системой полученной в работе [1] для стержневого пьезоактивного волновода

$$L\bar{u} = 0, \quad (1)$$

\bar{u} – трехмерный вектор с компонентами $u_1 = u_z / \alpha$, $u_2 = u_r / \alpha$, $u_3 = V \varepsilon_{33} / (e_{33} \alpha)$; u_z , u_r – компоненты смещения, V – электрическое напряжение, L – матричный дифференциальный оператор с элементами:

$$L_{11} = 1 + \frac{1}{k_t^2} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{k_f^2} \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad L_{12} = \frac{c_{13} + c_{55}}{k_f^2} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial z},$$

$$L_{13} = \frac{\beta}{k_f^2} \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + e_{15} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial r} \right), \quad L_{21} = \frac{c_{13} + c_{55}}{k_f^2} \frac{\partial^2}{\partial r \partial z},$$

$$L_{22} = 1 + \frac{c_{11}}{k_f^2} \frac{\partial}{\partial r} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r + \frac{1}{k_t^2} \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad L_{23} = \frac{\beta(e_{31} + e_{15})}{k_f^2} \frac{\partial^2}{\partial r \partial z},$$

$$L_{31} = \frac{\partial^2}{\partial z^2} + e_{15} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial r}, \quad L_{32} = (e_{31} + e_{15}) \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial z},$$

$$L_{33} = - \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + \varepsilon_{11} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial}{\partial r} \right),$$

c_{11} , c_{13} , c_{55} – безразмерные упругие постоянные, e_{31} , e_{15} – безразмерные пьезопостоянные, ε_{11} – безразмерная диэлектрическая постоянная; нормирующие множители для постоянных соответственно c_{33} , e_{33} , ε_{33} ; $k_l = \omega \alpha / c_l$, $k_t = \omega \alpha / c_t$, $c_f^2 = c_{33} / \rho$, $c_t^2 = c_{55} c_f^2$, ω – круговая частота, ρ – плотность, α – средний радиус пьезоцилиндра, $2h$ – толщина стенки, $\beta = e_{33}^2 / (\varepsilon_{33} c_{33})$.

Учитывая цилиндрическую симметрию задачи, возьмем пробное решение в виде плоской волны, распространяющейся вдоль оси z

$$u_1 = (A_1 J_0(k_1 r) + A_2 N_0(k_1 r)) \exp(ik_3 z),$$

$$u_2 = (A_3 J_1(k_1 r) + A_4 N_1(k_1 r)) \exp(ik_3 z),$$

$$u_3 = (A_5 J_0(k_1 r) + A_6 N_0(k_1 r)) \exp(ik_3 z),$$

$J_0(k_1 r)$, $J_1(k_1 r)$ – функции Бесселя нулевого и первого порядка; $N_0(k_1 r)$, $N_1(k_1 r)$ – функции Неймана нулевого и первого порядка.

Подстановка пробного решения в систему (1) дает две линейные однородные алгебраические системы уравнений относительно произвольных постоянных A_1, A_3, A_5 (A_2, A_4, A_6) с матрицей коэффициентов a_{ik}

$$a_{11} = 1 - \frac{k_1^2}{k_t^2} - \frac{k_3^2}{k_f^2}, \quad a_{12} = -a_{21} = ik_1k_3 \frac{c_{13} + c_{55}}{k_f^2}, \quad a_{13} = -\frac{\beta(k_3^2 + e_{15}k_1^2)}{k_f^2},$$

$$a_{22} = 1 - c_{11} \frac{k_1^2}{k_f^2} - \frac{k_3^2}{k_t^2}, \quad a_{23} = -i\beta k_1k_3 \frac{e_{31} + e_{15}}{k_f^2}, \quad a_{31} = -(k_3^2 + \varepsilon_{11}k_1^2),$$

$$a_{32} = ik_1k_3(e_{31} + e_{15}), \quad a_{33} = k_3^2 + \varepsilon_{11}k_1^2.$$

Нетривиальное решение систем должно удовлетворять условию $\det[a_{jk}] = 0$, которое сводится к уравнению Кристоффеля

$$\alpha_1 k_1^6 + b_1 k_1^4 + c_1 k_1^2 + d_1 = 0,$$

где

$$\alpha_1 = \frac{\varepsilon_{11}c_{11}}{k_f^2} \left(\frac{1}{k_t^2} + \frac{\beta e_{15}}{k_f^2} \right),$$

$$b_1 = -\frac{k_3^2}{k_f^4} (c_{13} + c_{15}) [\varepsilon_{11}(c_{13} + c_{55}) + \beta e_{15}(e_{31} + e_{15})] - \frac{\varepsilon_{11}c_{11}}{k_f^2} \left[1 - \frac{k_3^2(1 + \beta)}{k_f^2} \right] +$$

$$+ \left(\frac{1}{k_t^2} + \frac{\beta e_{15}}{k_f^2} \right) \left[\frac{k_3^2 c_{11}}{k_f^2} - \varepsilon_{11} \left(1 - \frac{k_3^2}{k_t^2} \right) \right] + \frac{\beta k_3^2 (e_{31} + e_{15})}{k_f^2} \left[\frac{e_{31} + e_{15}}{k_t^2} - \varepsilon_{11} \frac{c_{13} + c_{55}}{k_f^2} \right],$$

$$c_1 = -\frac{k_3^4}{k_f^4} (c_{13} + c_{55}) [(c_{13} + c_{55}) + \beta(e_{31} + e_{15})] - c_{11} \frac{k_3^2}{k_f^2} \left[1 - \frac{k_3^2}{k_f^2} (1 + \beta) \right] -$$

$$- k_3^2 \left(1 - \frac{k_3^2}{k_t^2} \right) \left(\frac{1}{k_t^2} + \frac{\beta e_{15}}{k_f^2} \right) + \varepsilon_{11} \left(1 - \frac{k_3^2}{k_t^2} \right) \left[1 - \frac{k_3^2}{k_f^2} (1 + \beta) \right] -$$

$$- \beta \frac{k_3^2}{k_f^2} (e_{31} + e_{15}) \left[(e_{31} + e_{15}) \left(1 - \frac{k_3^2}{k_f^2} \right) + \frac{k_3^2}{k_f^2} (c_{13} + c_{55}) \right],$$

$$d_1 = k_3^2 \left(1 - \frac{k_3^2}{k_t^2} \right) \left[1 - \frac{k_3^2}{k_f^2} (1 + \beta) \right].$$

Уравнение Кристоффеля определяет три функциональные связи: $k_{11}^2 = f_1(k_1^2, k_3^2, \dots)$, $k_{12}^2 = f_2(k_1^2, k_3^2, \dots)$, $k_{13}^2 = f_3(k_1^2, k_3^2, \dots)$ и три типа волн, имеющих общую проекцию k_3 волнового вектора на направление распространения, но различные углы. В случае пьезоэлектрического волновода трем корням уравнения Кристоффеля соответствуют квази-продольная, квазиперечная и квазиэлектрическая волны, для каждой из которых отличны от нуля как акустические, так и электрические величины.

Общее решение системы (1) можно записать в виде линейной комбинации векторов \bar{u}_i

$$\bar{u}(r, z) = \sum_i B_i \bar{u}_i \exp(ik_3 z), \quad i = 1 \div 6,$$

$$\bar{u}_1 = \begin{pmatrix} u_{z_1} \\ u_{r_1} \\ V_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} J_0(k_{11} r) \\ \alpha_{21} J_1(k_{11} r) \\ \alpha_{31} J_0(k_{11} r) \end{pmatrix}, \quad \bar{u}_2 = \begin{pmatrix} \alpha_{11} N_0(k_{11} r) \\ \alpha_{21} N_1(k_{11} r) \\ \alpha_{31} N_0(k_{11} r) \end{pmatrix},$$

$$\bar{u}_3 = \begin{pmatrix} \alpha_{12} J_0(k_{12} r) \\ \alpha_{22} J_1(k_{12} r) \\ \alpha_{32} J_0(k_{12} r) \end{pmatrix}, \quad \bar{u}_4 = \begin{pmatrix} \alpha_{12} N_0(k_{12} r) \\ \alpha_{22} N_1(k_{12} r) \\ \alpha_{32} N_0(k_{12} r) \end{pmatrix},$$

$$\bar{u}_5 = \begin{pmatrix} \alpha_{13} J_0(k_{13} r) \\ \alpha_{23} J_1(k_{13} r) \\ \alpha_{33} J_0(k_{13} r) \end{pmatrix}, \quad \bar{u}_6 = \begin{pmatrix} \alpha_{13} N_0(k_{13} r) \\ \alpha_{23} N_1(k_{13} r) \\ \alpha_{33} N_0(k_{13} r) \end{pmatrix},$$

$\alpha_{1i} = A_{11}$, $\alpha_{2i} = A_{12}$, $\alpha_{3i} = A_{13}$ – алгебраические дополнения элементов матрицы a_{ik} , взятые при соответствующих корнях уравнения Кристоффеля.

Для определения постоянных B_i используем следующие граничные условия: на цилиндрических поверхностях $r = 1 \pm h/\alpha$

$$\sigma_{rr} = \sigma_{rz} = D_r = 0,$$

$$\sigma_{rr} = c_{11} \frac{\partial u_r}{\partial r} + c_{13} \left(\frac{u_r}{r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) + \beta e_{31} \frac{\partial V}{\partial z},$$

$$\sigma_{rz} = c_{55} \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) + \beta e_{15} \frac{\partial V}{\partial r},$$

$$D_r = -\varepsilon_{11} \frac{\partial V}{\partial r} + e_{15} \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right),$$

σ_{ik} – компоненты тензора напряжений; \bar{D} – электрическая индукция.

Подстановка общего решения в граничные условия дает систему шести линейных однородных алгебраических уравнений относительно постоянных B_j с матрицей коэффициентов b_{jk} :

$$\begin{aligned} b_{11} &= f_1 J_{01}^+ + \alpha_{21} c_{31}^+ J_{11}^+, & b_{12} &= f_1 N_{01}^+ + \alpha_{21} c_{31}^+ N_{11}^+, & b_{13} &= f_2 J_{02}^+ + \alpha_{22} c_{31}^+ J_{12}^+, \\ b_{14} &= f_2 N_{02}^+ + \alpha_{22} c_{31}^+ N_{12}^+, & b_{15} &= f_3 J_{03}^+ + \alpha_{23} c_{31}^+ J_{13}^+, & b_{16} &= f_3 N_{03}^+ + \alpha_{23} c_{31}^+ N_{13}^+, \\ b_{21} &= f_1 J_{01}^- + \alpha_{21} c_{31}^- J_{11}^-, & b_{22} &= f_1 N_{01}^- + \alpha_{21} c_{31}^- N_{11}^-, & b_{23} &= f_2 J_{02}^- + \alpha_{22} c_{31}^- J_{12}^-, \\ b_{24} &= f_2 N_{02}^- + \alpha_{22} c_{31}^- N_{12}^-, & b_{25} &= f_3 J_{03}^- + \alpha_{23} c_{31}^- J_{13}^-, & b_{26} &= f_3 N_{03}^- + \alpha_{23} c_{31}^- N_{13}^-, \\ b_{31} &= d_1 J_{11}^+, & b_{32} &= d_1 N_{11}^+, & b_{33} &= d_2 J_{12}^+, \\ b_{34} &= d_2 N_{12}^+, & b_{35} &= d_3 J_{13}^+, & b_{36} &= d_3 N_{13}^+, \\ b_{41} &= d_1 J_{11}^-, & b_{42} &= d_1 N_{11}^-, & b_{43} &= d_2 J_{12}^-, \\ b_{44} &= d_2 N_{12}^-, & b_{45} &= d_3 J_{13}^-, & b_{46} &= d_3 N_{13}^-, \\ b_{51} &= g_1 J_{11}^+, & b_{52} &= g_1 N_{11}^+, & b_{53} &= g_2 J_{12}^+, \\ b_{54} &= g_2 N_{12}^+, & b_{55} &= g_3 J_{13}^+, & b_{56} &= g_3 N_{13}^+, \\ b_{61} &= g_1 J_{11}^-, & b_{62} &= g_1 N_{11}^-, & b_{63} &= g_2 J_{12}^-, \\ b_{64} &= g_2 N_{12}^-, & b_{65} &= g_3 J_{13}^-, & b_{66} &= g_3 N_{13}^-, \end{aligned}$$

где $c_{31}^+ = (c_{13} - c_{11})/r^+$, $c_{31}^- = (c_{13} - c_{11})/r^-$, $r^+ = 1 + h/\alpha$, $r^- = 1 - h/\alpha$,

$$f_1 = c_{11} k_{11} \alpha_{21} + i k_3 (c_{13} \alpha_{11} + \beta e_{31} \alpha_{31}), \quad f_2 = c_{11} k_{12} \alpha_{22} + i k_3 (c_{13} \alpha_{12} + \beta e_{31} \alpha_{32}),$$

$$\bar{f}_3 = c_{11}k_{13}\alpha_{23} + ik_3(c_{13}\alpha_{13} + \beta e_{31}\alpha_{33}),$$

$$J_{01}^+ = J_0(k_{11}r^+), \quad J_{02}^+ = J_0(k_{12}r^+), \quad J_{03}^+ = J_0(k_{13}r^+),$$

$$J_{01}^- = J_0(k_{11}r^-), \quad J_{02}^- = J_0(k_{12}r^-), \quad J_{03}^- = J_0(k_{13}r^-),$$

$$N_{01}^+ = N_0(k_{11}r^+), \quad N_{02}^+ = N_0(k_{12}r^+), \quad N_{03}^+ = N_0(k_{13}r^+),$$

$$N_{01}^- = N_0(k_{11}r^-), \quad N_{02}^- = N_0(k_{12}r^-), \quad N_{03}^- = N_0(k_{13}r^-),$$

$$J_{11}^+ = J_1(k_{11}r^+), \quad J_{12}^+ = J_1(k_{12}r^+), \quad J_{13}^+ = J_1(k_{13}r^+),$$

$$J_{11}^- = J_1(k_{11}r^-), \quad J_{12}^- = J_1(k_{12}r^-), \quad J_{13}^- = J_1(k_{13}r^-),$$

$$N_{11}^+ = N_1(k_{11}r^+), \quad N_{12}^+ = N_1(k_{12}r^+), \quad N_{13}^+ = N_1(k_{13}r^+),$$

$$N_{11}^- = N_1(k_{11}r^-), \quad N_{12}^- = N_1(k_{12}r^-), \quad N_{13}^- = N_1(k_{13}r^-),$$

$$d_1 = c_{55}(-\alpha_{11}k_{11} + ik_3\alpha_{21}) - \beta e_{15}\alpha_{31}k_{11},$$

$$d_2 = c_{55}(-\alpha_{12}k_{12} + ik_3\alpha_{22}) - \beta e_{15}\alpha_{32}k_{12},$$

$$d_3 = c_{55}(-\alpha_{13}k_{13} + ik_3\alpha_{23}) - \beta e_{15}\alpha_{33}k_{13},$$

$$g_1 = \varepsilon_{11}k_{11}\alpha_{31} + e_{15}(ik_3\alpha_{21} - \alpha_{11}k_{11}),$$

$$g_2 = \varepsilon_{11}k_{12}\alpha_{32} + e_{15}(ik_3\alpha_{22} - \alpha_{12}k_{12}),$$

$$g_3 = \varepsilon_{11}k_{13}\alpha_{33} + e_{15}(ik_3\alpha_{23} - \alpha_{13}k_{13}),$$

Ненулевое решение системы должно удовлетворять условию $\det[b_{ik}] = 0$, которое представляет собой дисперсионное уравнение симметричных нормальных волн пьезоэлектрического цилиндра с осевой поляризацией.

Спектр безразмерных волновых чисел рассчитывался по трем отдельным программам: комплексные моды; действительные моды; мнимые моды. Для уточнения действительных и мнимых корней использовалась библиотечная программа MREGF – вычисление действительного корня трансцендентного уравнения внутри интервала модифицирован-

ным методом *Regula falsi*. Для уточнения комплексных корней применялась библиотечная программа STEML – вычисление заданного числа комплексных корней трансцендентного уравнения методом Мюллера.

Уравнение Кристоффеля (кубическое относительно k_1^2) в случае действительных коэффициентов решалось с использованием библиотечной программы DCUBIC – вычисление корней кубического уравнения с действительными коэффициентами с двойной точностью, в случае комплексных коэффициентов применялась библиотечная программа CDPOLY – вычисление с удвоенной точностью всех корней полинома с комплексными коэффициентами методом, использующим трехступенчатый процесс Дженкинса и Трауба. Определитель шестого порядка вычислялся с помощью библиотечной программы CCDMG – вычисление комплексного определителя методом Гаусса.

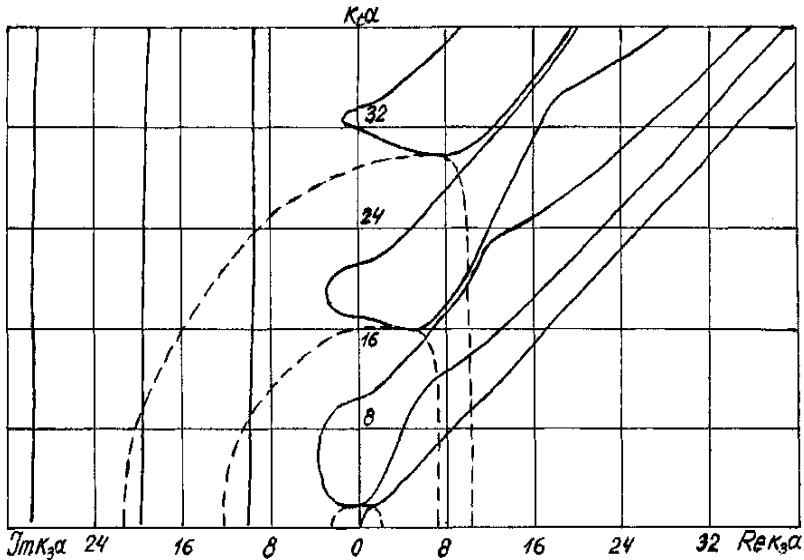
Функции Бесселя и Неймана нулевого и первого порядков для действительного и комплексного аргументов вычислялись с использованием аппроксимаций этих функций многочленами, взятыми из справочника [5]. В случае чисто мнимого аргумента модифицированные функции Бесселя вычислялись с помощью библиотечной программы BESI, а модифицированные функции Неймана (функции Макдональда) – с помощью библиотечной программы BESK.

Численные расчеты выполнены для пьезоцилиндра, изготовленного из пьезокерамики титаната бария, при относительной толщине стенки $m = 0,3$ (рисунок). Параметр m определяется как отношение толщины стенки $2h$ к внешнему радиусу $(\alpha + h)$. Безразмерные постоянные пьезокерамики равны $c_{11} = 1,05$; $c_{13} = 0,45$; $c_{55} = 0,3$; $e_{31} = -0,23$; $e_{15} = 0,81$; $\varepsilon_{11} = 1,10$; $\beta = 0,15$.

На рисунке представлены дисперсионные кривые: частотные зависимости безразмерного волнового числа $k_3\alpha$ симметричных нормальных волн от частоты (безразмерного частотного параметра $k_t\alpha$). Кривые, показанные штриховыми линиями, представляют проекции ветвей комплексных корней на действительную и мнимую плоскость, а сплошные линии – это ветви действительных и мнимых корней.

В пьезоэлектрическом волноводе распространение упругой волны сопровождается распространением электрической волны и наоборот. Такие волны называются квазипродольной, квазипоперечной и квазиэлектрической из-за их взаимного влияния. Чисто мнимые решения соответствуют квазиэлектрическим волнам (почти вертикальные сплошные линии в левой части рисунка), которые практически не имеют дисперсии, то есть зависимости скорости распространения от частоты. Действительные квазиупругие моды (сплошные линии в правой части рисунка) появляются на определенных – критических частотах $k_t\alpha$. В области комплексных решений каждую моду можно продолжить до ну-

левой частоты (безразмерного частотного параметра $k_r \alpha$). Причем нужно учитывать, что комплексные моды определяются комплексно-сопряженными парами. Спектр нормальных волн пьезоактивного волновода зависит от толщины стенки цилиндра и от типа пьезокерамики.



Дисперсионные кривые безразмерного волнового числа симметричных нормальных волн для пьезоэлектрического цилиндра

Библиографический список

1. *Ивина Н.Ф., Касаткин Б.А.* Нормальные волны в анизотропном пьезоактивном волноводе // Дефектоскопия. 1975. № 4. С. 27-32.
2. *Ивина Н.Ф., Касаткин Б.А.* Численный анализ дисперсионных соотношений для нормальных волн пьезоактивного волновода // Акустический ж-л. 1982. Т. 28. № 4. С. 516-520.
3. *Мадорский В.В., Устинов Ю.А.* Построение системы однородных решений и анализ корней дисперсионного уравнения антисимметричных колебаний пьезоэлектрической плиты // Ж-л прикладной механики и технической физики. 1976. № 6. С. 138-145.
4. *Балабаев С.М., Касаткин Б.А.* Численный анализ дисперсионных соотношений нормальных волн пьезоэлектрического волновода типа пластины с электродами на торцах // Дефектоскопия. 1984. № 6. С. 20-23.
5. *Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовича и И. Стиган. М.: Наука, 1979. 832 с.*

БИОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САНИТАРНОЙ МАРИКУЛЬТУРЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ АКВАТОРИЙ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ СБРОСОВ

**Е.С. Гиреева; Я.А. Новикова; В.И. Семененко,
Дальрыбвтуз, Владивосток**

Загрязнение окружающей среды деятельностью человека с каждым годом все более ухудшает экологическую обстановку нашей планеты. Технические сооружения для очистки сбросов человеческой деятельности очень дороги и по этой причине недоступны многим регионам. Один из способов естественной биоочистки водоемов от вредных сбросов человеческой деятельности с помощью санитарной марикультуры рассматривается в настоящей статье.

Защита от загрязнения, создаваемого жизнедеятельностью человека, и оздоровление вод естественных водоемов с помощью искусственного выращивания различных гидробионтов и создания искусственных сооружений (искусственных рифов), способствующих их росту, известно давно. Помимо очистки воды такая деятельность повышает биопродуктивность этих акваторий за счет создания лучших условий для размножения и сохранения молоди многих рыб, ракообразных и моллюсков.

Санитарная марикультура широко применяется в Англии, Испании, Франции, США. Искусственные рифы для повышения биопродуктивности водоемов в больших количествах выставляются в Японии, Австралии, Франции и других государствах [1]. Влияние искусственных рифов на экосистему довольно значительно [3], из-за чего раз в четыре года по этому вопросу проводятся международные конференции.

В России также имеется опыт санитарной марикультуры, но пока он не нашел широкого распространения, хотя отдельные эксперименты показали ее высокую эффективность. В Приморском крае такие работы проводились в районе о-ва Попов для снижения загрязнения, наносимого выбросами местного рыбокомбината. Искусственные рифы из автомобильных покрышек выставлялись в разное время в заливе Посьета, в северной части Амурского залива. Наблюдения за их обрастанием и заселением гидробионтами подтвердили возможность и эффективность использования автомобильных шин в качестве субстрата искусственных рифов.

Рассмотрим возможную продуктивность установки средств санитарной марикультуры на примере защиты Амурского залива от стока вод Второй Речки.

Для создания защитных сооружений санитарной марикультуры предлагается комплексное использование биорифов с искусственным заселением на них водорослей и трав, например, костария ребристая, некоторые виды ламинарии, zostера (рис. 1 а, б) и гибких тросовых установок (ГБТС) с субстратом для выращивания тихоокеанской мидии (рис. 2). Эти установки со временем будут также заселяться естественным путем другими гидробионтами.

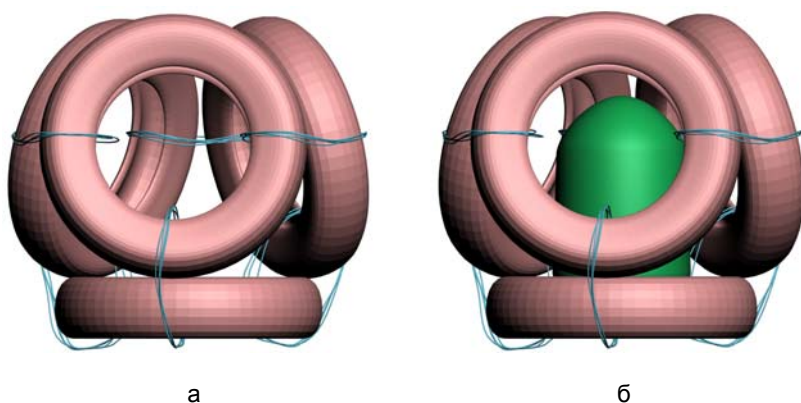


Рис. 1. Макет единичного рифа из автомобильных покрышек: а – вид сбоку; б – с пикулем

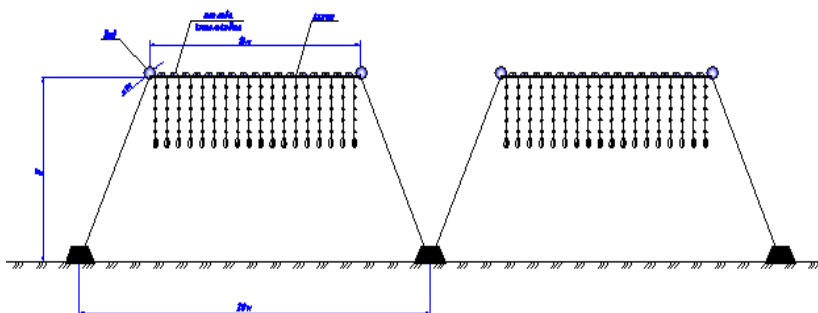


Рис. 2. Установка для выращивания мидии

Для ускорения обрастания рифов водорослями покрывать их сетными полотнами, предварительно оспоренными в более благоприятных местах, например в районе мыса Песчаный или о-ва Русский. Наиболее целесообразно сети оспаривать ламинарией циклопиеподобной (рис. 3).

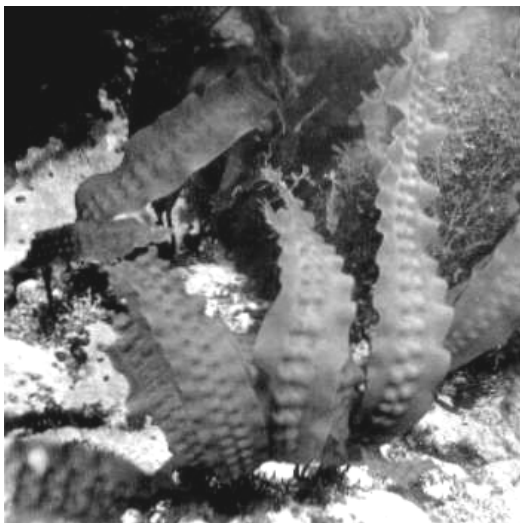


Рис. 3. Ламинария цикориеподобная

Вода, проходящая через морские водоросли, оставляет на них значительное количество твердых фракций, которые частично поглощаются самими водорослями и поедаются организмами, живущими на этих водорослях.

Различные виды моллюсков способны отфильтровать и перерабатывать значительное количество взвесей в воде и на грунте. При этом нейтрализуются многие вредные вещества вплоть до тяжелых металлов.

Очистке воды от твердых фракций способствуют также морские звезды, которые обычно в больших количествах присутствуют на рифах и в местах скопления моллюсков.

Известно, что в Амурском заливе на глубинах более четырех метров образовались жидкие илы, создающие «мертвую зону» для морских растений и животных. Вокруг искусственных рифов создаются локальные течения, которые постепенно размывают илистые образования вокруг них, за счет чего биологически продуктивная зона вокруг рифов постоянно расширяется. Это дополнительный фактор оздоровления водоема.

Мидия тихоокеанская (рис. 4) выбрана в качестве заградителя от сточных вод потому, что она обладает высокой фильтрационной способностью. По данным ВНИРО [2] одна мидия длиной 5-6 см профильтровывает 3 л воды в час. При искусственном выращивании на одном метре мидийного коллектора (капроновая веревка со вставками каната б/у) растет одновременно более 500 моллюсков. На одной ветви ГБТС длиной

100 м обычно вывешивается 100 коллекторов длиной по два метра. На них будет произрастать 100000 моллюсков, которые будут профильтровывать 300 м^3 воды в час или 7200 м^3 воды в сутки.

По нашим измерениям через выходной канал в устье Второй Речки г. Владивостока при скорости сброса 1 м/с вытекает 195 м^3 воды в час или 4680 м^3 воды в сутки, что сопоставимо с фильтрующей способностью одной ветви мидийной установки длиной 100 м.

Для создания защитного санитарного сооружения в устье Второй Речки мы предлагаем выставить в шахматном порядке полукольцо искусственных рифов из автомобильных покрышек, идущих от береговой черты с радиусом 100 м. За грядой рифов, начиная с глубины 2 м выставить в шахматном порядке 18-20 мидийных ГБТС длиной по 30, которые должны полностью перекрывать выход сточных вод (рис. 5).



Рис. 4. Мидия тихоокеанская

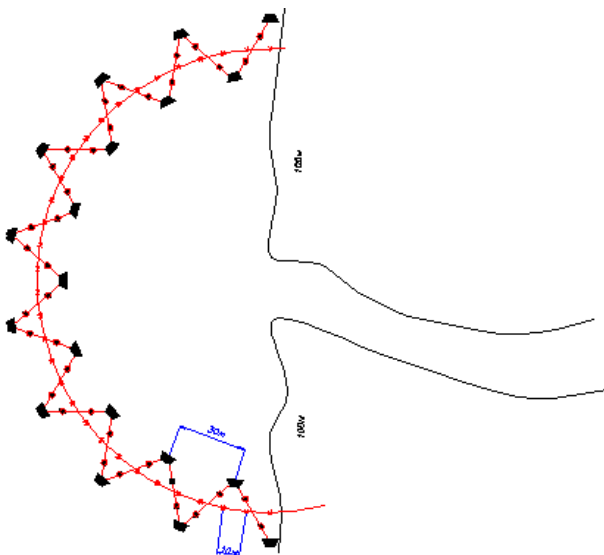


Рис. 5. Схема размещения единичных рифов и мидийных ГБТС на акватории

Для создания санитарных защитных сооружений вокруг подводного выхода сточных вод в районе мыса Кунгасный предлагаем окружить его кольцом искусственных рифов из автомобильных покрышек радиусом 100 м и цепью мидийных установок за рифовым барьером.

Размеры и конструкции рифов в каждом конкретном случае будут определяться после промера глубины воды и глубины слоя жидкого ила.

Аналогичные сооружения предлагаются и для других выходов сточных вод, а также для защиты пляжей, с конкретизацией их конструкции после промеров глубин и течений в этих районах.

Для создания сооружений санитарной марикультуры целесообразно создать специализированное предприятие.

Для производственной деятельности предприятию санитарной марикультуры потребуется отвод берегового участка земли площадью не менее 1 га, приобретение грузового автомобиля с краном грузоподъемностью 3-5 т, самоходной баржи с аппарелью и грузовым краном, две мотолодки, водолазное снаряжение с компрессором, береговой цех для изготовления рифов и мидийных ГБТС, средства малой механизации для цеха, складские помещения, бытовое помещение для охраны и отдыха рабочих, оградительное сооружение территории, подвод электроэнергии и пресной воды для производственных и бытовых нужд, приобретение материалов для изготовления искусственных рифов и мидийных установок (автопокрышки, троса, канаты, дель, нитки, кухтыли и т.п.), приобретение ГСМ.

Предполагаемые первоначальные затраты по организации участка санитарной марикультуры составят 8-10 миллионов рублей.

В дальнейшем они сократятся до 4-5 миллионов рублей в год. При возможности реализации выращиваемой продукции эти затраты значительно сократятся.

Предположительно численность постоянного производственного и обслуживающего персонала с плавсоставом и водолазами составит 10-12 человек.

При выполнении этих работ предполагается постоянное сотрудничество с сотрудниками Института биологии моря, ТИПРО-центра, Дальрыбвтуза. За контролем качества отфильтрованной воды периодически будут привлекаться сотрудники санитарного надзора.

Библиографический список

1. *Милн П.Х.* Морские хозяйства в прибрежных водах. М.: Пищ. пром-сть, 1978. 294 с.
2. *Моисеев П.А. и др.* Морская аквакультура. М.: Агропромиздат, 1985. 253 с.
3. *Маркавцев В.Г.* Марикультура и экология прибрежных акваторий // *Новости рыболовства.* № 4. 2008. С. 70-74.

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ КОРАБЛЯ

**В.В. Карасев; С.А. Верещагин; В.Н. Коломоец,
Дальрыбвтуз, Владивосток**

Произведен анализ существующих способов измерения скорости корабля, применяемых в корреляционных лагах. Определены направления по совершенствованию взаимно корреляционного способа измерения скорости корабля с целью повышения точности измерения скорости корреляционными лагами.

В настоящее время известно несколько способов корреляционного измерения скорости движения корабля относительно дна [3].

Анализ существующих способов измерения скорости корабля в данной работе позволит оценить достоинства каждого способа, определить недостатки и наметить пути их дальнейшего совершенствования. Рабочая формула определения скорости корабля для автокорреляционного (АК), взаимно корреляционного (ВК), взаимно автокорреляционного (ВАК) способов имеет вид

$$V = \frac{X}{\tau_i}, \quad (1)$$

где V – скорость корабля; X – $\frac{1}{2}$ расстояния между центрами приемных гидроакустических антенн; τ_i – корреляционная задержка.

Автокорреляционный способ (АК) основан на вертикальном излучении гидроакустических сигналов, приеме отраженных от дна эхосигналов, автокорреляционной обработке, измерении ширины автокорреляционной функции в зависимости от скорости корабля. Коэффициент автокорреляции, определяющий меру связи принимаемых эхосигналов, в зависимости от рельефа дна в районе плавания корабля определяется выражениями [1]:

- для сильно расчлененного рельефа дна, когда ширина диаграммы направленности антенны меньше полуширины индикатрисы рассеяния

$$\rho_{11}(\tau) = \frac{\sin\left(2Vk \cdot \tau \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta\alpha}{2}\right)}{2V \cdot k \cdot \tau \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta\alpha}{2}}, \quad (2)$$

где k – волновое число излучаемой звуковой волны, $k = 2\pi/\lambda$; λ – длина волны излучения; $\Delta\alpha$ – эффективная ширина ХН антенны в направлении движения корабля; V – скорость корабля;

- для слабо расчлененного рельефа дна, когда угловая полуширина индикатрисы рассеяния много уже ширины диаграммы направленности

$$\rho_{11}(\tau) = e^{-2(k \cdot tg \delta^2)V^2 \cdot \tau^2}, \quad (3)$$

где δ – среднеквадратический угол наклона неровностей дна.

При $V = 0$ значение коэффициента автокорреляции $\rho_{11}(\tau) = 1$, поскольку отражение сигнала идет от одной и той же площадки дна. При $V \neq 0$ и росте времени τ коэффициент автокорреляции $\rho_{11}(\tau)$ монотонно убывает, причем, чем большая скорость корабля, тем резче (круче) кривая изменения коэффициента автокорреляции. Сужение автокорреляционной функции с увеличением скорости корабля объясняется расширением спектра эхо-сигнала. Однозначная зависимость ординаты, то есть коэффициента автокорреляции $\rho_{11}(\tau)$ от скорости корабля при некотором фиксированном значении временного интервала τ , делает принципиально возможным измерение скорости корабля относительно дна с помощью прибора, вычисляющего коэффициент автокорреляции $\rho_{11}(\tau)$.

Из формулы (3) значение скорости определяется выражением

$$V = \frac{\lambda}{2\pi \cdot tg \delta \cdot \tau} \left(\frac{1}{2} \ln \frac{1}{\rho_{11}(\tau)} \right)^{1/2}. \quad (4)$$

Выражение (4) позволяет сделать вывод о возможности применения корреляционного анализа для определения абсолютной скорости корабля.

Автокорреляционный способ (АК) определения скорости корабля не нашел применения в кораблевождении из-за существенных недостатков:

1. Коэффициент автокорреляции зависит от параметра δ выражения (3), (4), характеризующего свойство отражающей поверхности (неровности дна), поэтому форма автокорреляционной функции будет различной, при одной и той же скорости для различных районов дна океанов и морей.

2. Так как автокорреляционные измерители скорости корабля представляют разомкнутую систему автоматического регулирования, это вызовет погрешность, равную сумме погрешностей каждого отдельного звена системы лага. Погрешность вычисления ординаты автокорреля-

ционной функции у современных корреляторов составляет более 1 %, а это будет ограничивать точность измерения скорости.

3. Погрешность вычисления текущей автокорреляционной функции зависит от времени усреднения: чем больше время усреднения, тем выше точность измерения автокорреляционной функции, а это противоречит быстродействию корреляционного измерителя скорости при условии дефицита времени решения задач в море.

4. АК способ позволяет измерять только путевую скорость корабля, но нельзя определить угол сноса и все элементы скоростного треугольника, т.е. его продольную и поперечные составляющие.

В настоящее время считается более перспективными КГАЛ, использующие ВК и АВК способы измерения скорости корабля.

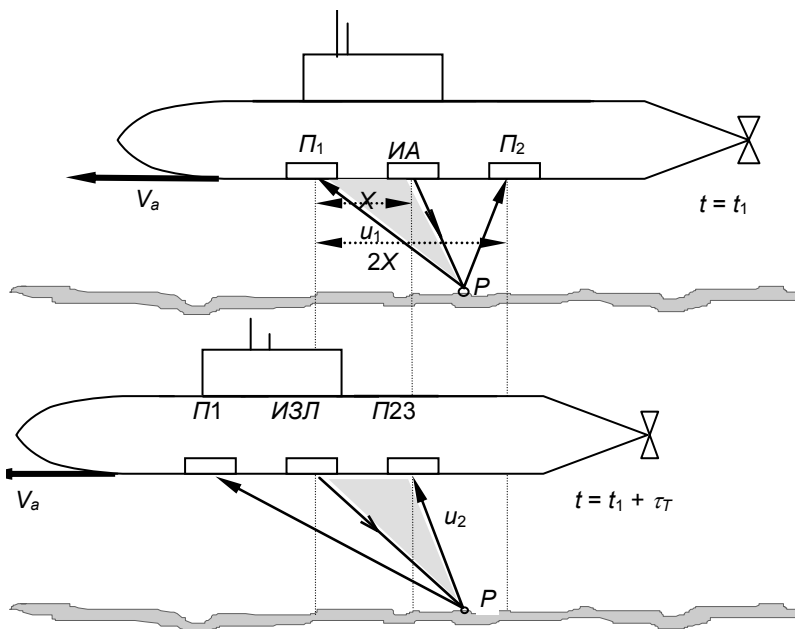


Рис. 1. Принцип действия взаимно корреляционного гидроакустического лага

Взаимно корреляционный способ (ВК) основан на определении скорости корабля по временной задержке τ_T (транспортное запаздывание) соответствующей максимуму взаимно корреляционной функции от эхо-сигналов, принятых на приемные антенны, разнесенные в днище корабля на строго определенное расстояние. Указанная временная задержка может быть определена совмещением сигналов и нахожде-

нием максимума взаимно корреляционной функции этих эхо-сигналов или их взаимно корреляционной обработкой [2].

Для реализации данного способа в диаметральной плоскости корабля установлены на строго определенное расстояние $2X$ две приемные антенны Π_1 и Π_2 и излучающая антенна $ИА$, расположенная посередине, между приемными антеннами. При движении корабля излученные антенной $И$ сигналы, отражаясь от дна, приходят на приемные антенны корабля Π_1 и Π_2 , как эхо-сигналы, не одновременно (рис. 2, 3).

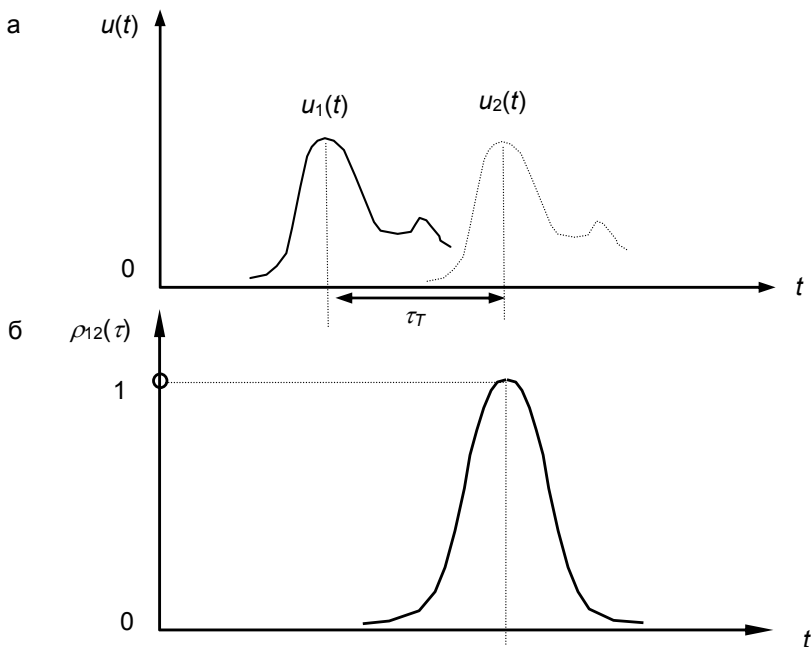


Рис. 2. Определение максимума коэффициента взаимной корреляции: а – формы сигналов $u_1(t)$, $u_2(t + \tau_T)$; б – форма кривой коэффициента взаимной корреляции

Эхо-сигнал $u_2(t)$, приходящий на последнюю по ходу корабля приемную антенну Π_2 , будет запаздывать по времени на величину τ_T (транспортное запаздывание) от сигнала $u_1(t)$, приходящего на приемную антенну Π_1 . Запаздывание прихода эхо-сигналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$ определяется выражением

$$\tau_T = \frac{X}{V}, \quad (5)$$

где X – $\frac{1}{2}$ расстояния между приемными антеннами Π_1 и Π_2 ; V – скорость корабля.

Поскольку расстояние между приемными антеннами Π_1 и Π_2 известно, то, замерив τ_T , можно определить скорость корабля.

$$V = \frac{X}{\tau_T}. \quad (6)$$

Учитывая, что эхо-сигнал $u_2(t)$, принятый второй Π_2 , по ходу корабля приемной антенной, повторяет форму сигнала, принятого передней Π_1 приемной антенной (см. рис. 2, а), но отстает от него на время τ_T , т.е. $u_2(t) \approx u_1(t + \tau_T)$, то, вводя в тракт приема сигнала первой приемной антенны Π_1 временную задержку с обратным знаком ($-\tau_3$), т.е. $u_1(t) = (t - \tau_3)$, можно записать значение взаимно корреляционной функции

$$R_{12}(\tau) \approx \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u_1(t - \tau_3) \cdot u_1(t + \tau_T) dt = R_{11}(\Delta\tau), \quad (7)$$

где $R_{11}(\Delta\tau)$ – автокорреляционная функция сигнала; $\Delta\tau = \tau_3 - \tau_T$.

Так как автокорреляционная функция имеет максимум при нулевой введенной задержке $\Delta\tau = \tau_3 - \tau_T = 0$, то, введя в тракт сигнала передней антенны регулируемую временную задержку $\tau_3 = \tau_T$ и отслеживая максимальное значение взаимно корреляционной функции (рис. 2, б), можно легко рассчитать по формуле (6) скорость корабля.

Одним из взаимно корреляционных способов определения скорости корабля является способ, предложенный в работе [4]. Скорость корабля в таких коррелометрах определяется по минимальному значению ВКФ.

В КГАЛ, использующих нахождение τ_3 по минимуму ВКФ, операцию поиска значения регулируемой временной задержки τ_3 по максимуму коэффициента ВК предлагается заменить на операцию поиска данной задержки по минимуму отношения преобразования Гильберта от коэффициента ВК к самому коэффициенту ВК

$$B_1(\tau) = \frac{\tilde{\rho}_{12}(\tau)}{\rho_{12}(\tau)} = \frac{1}{2} \operatorname{tg} 2\pi f_0 \tau = \operatorname{tg} \varphi. \quad (8)$$

В такой схеме КГАЛ отыскивается функционал, который позволит, обрабатывая два гармонических эхо-сигнала, выделить новую функцию $\operatorname{tg} \varphi$. За счет увеличения крутизны ВКФ в районе максимума повышается точность измерения скорости.

Взаимно автокорреляционный (ВАК) способ позволяет определять модуль абсолютной скорости корабля V и угол сноса C . КГАЛ, работа которого основана на взаимно автокорреляционной обработке сигналов, позволяет также определить полную картину расчета элементов скоростного треугольника, т.е. вектор абсолютной скорости V , продольную составляющую скорости V_x , поперечную составляющую скорости V_y и угол сноса C .

Работа взаимно автокорреляционного гидроакустического лага сводится к измерению временной задержки τ_1 , при котором уровень АКФ одного из сигналов $u_1(t)$ будет равен уровню ВКФ двух сигналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$, измеренных при нулевом временном сдвиге.

Измеряемые временные задержки τ_0 , τ_1 , τ_2 , характеризующие положение максимума коэффициентов автокорреляции, взаимной корреляции, показаны на рис. 3. На рис. 3 τ_0 – временная задержка, характеризующая положение максимума коэффициента взаимной корреляции; τ_1 – временная задержка, характеризующая равенство коэффициента автокорреляции и коэффициента взаимной корреляции при нулевом временном сдвиге; τ_2 – временная задержка, характеризующая равенство коэффициента автокорреляции и коэффициента взаимной корреляции.

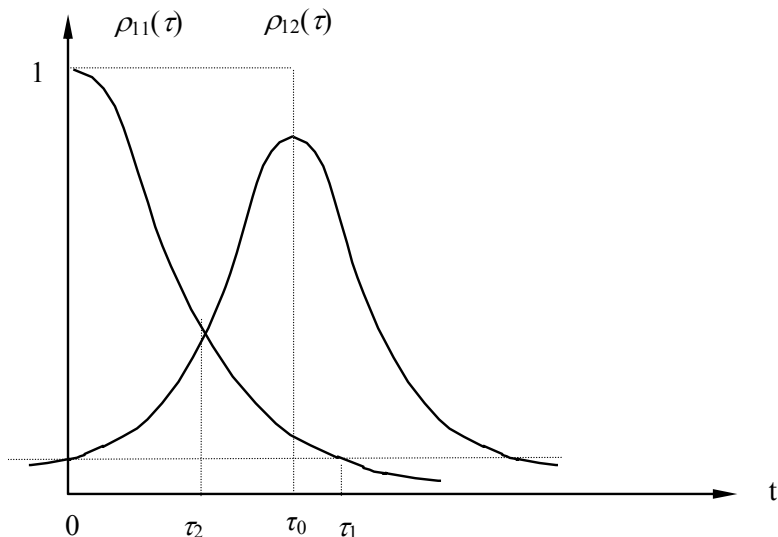


Рис. 3. Показатели коэффициентов АК и ВК функций

При равенстве уровней коэффициентов корреляции $\rho_{11}(\tau_1) = \rho_{12}(\tau_2)$ по корреляционной задержке τ_1 при нулевом временном сдвиге определяют абсолютную скорость корабля V (модуль полной скорости –

ВАКМ метод), по корреляционной задержке τ_2 определяют продольную составляющую абсолютной скорости корабля V_x (курсовую скорость – ВАКК метод).

Техническая реализация ВАК способа определения скорости корабля показана на рис. 4. При установке в днище корабля излучающей антенны *ИА* и двух приемных антенны *П1* и *П2* гидроакустический сигнал излученный антенной *ИА*, отразившись от дна, приходит как эхосигнал $u_1(t)$ на приемную антенну *П1*, и методом автокорреляционной обработки по положению максимума коэффициента автокорреляции $\rho_{11}(\tau_1)$, определяется временной сдвиг τ_1 .

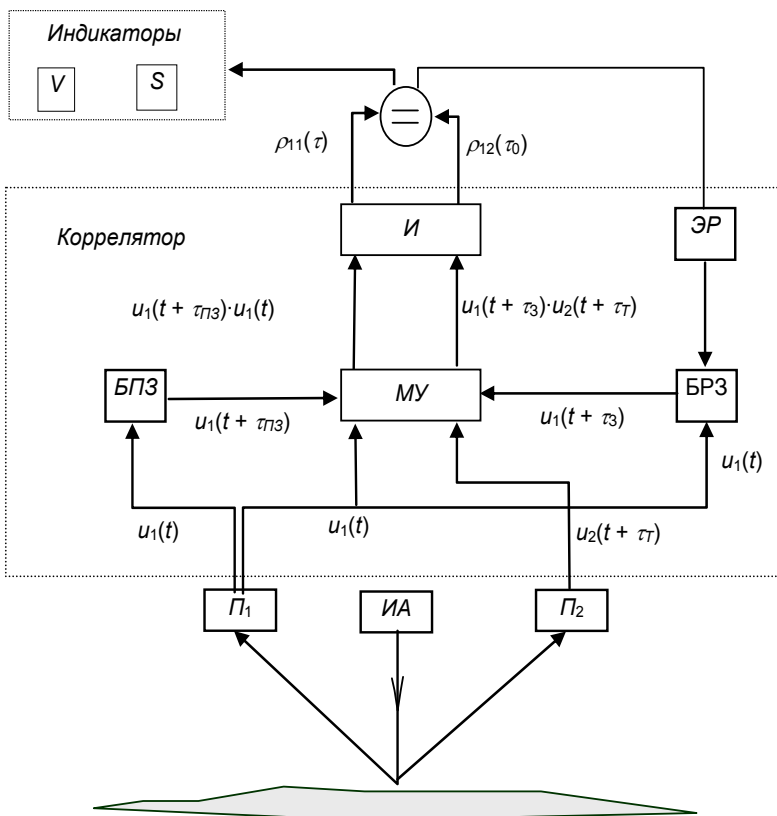


Рис. 4. Структурная схема взаимно автокорреляционного лага: *П1*, *П2*, *ИА* – приемные и излучающая антенны; *БПЗ* – блок постоянной задержки; *БРЗ* – блок регулируемой задержки; *МУ* – множительное устройство; *И* – интегратор; *ЭР* – экстремальный регулятор

Одновременно с приходом сигнала $u_1(t)$ на приемную антенну Π_1 на вторую приемную антенну Π_2 приходит эхо-сигнал $u_2(t)$, и взаимно корреляционной обработкой сигналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$ определяют временной сдвиг сигналов τ_0 , характеризующий максимум коэффициента взаимной корреляции $\rho_{12}(\tau_0)$.

Поддерживая с помощью экстремальной следящей системы $\rho_{11}(\tau_1) = \rho_{12}(\tau_0)$, определяют временную задержку τ_2 , и в конечном счете курсовую скорость корабля.

Для нахождения математической модели взаимно автокорреляционного метода измерения скорости корабля для случая произвольного движения корабля воспользуемся аналитической зависимостью [3]

$$\rho_{12}(\tau) = e^{-2\pi \left[\frac{\Delta \alpha^2}{\lambda^2} \left((X \sin C)^2 + (X \cos C - V\tau)^2 \right) \right]}. \quad (9)$$

Для условия нахождения временной задержки τ_1 , характеризующей равенство коэффициента автокорреляции и коэффициента взаимной корреляции при нулевом временном сдвиге, преобразуем выражение (9) к виду

$$e^{-2\pi \left[\frac{\Delta \alpha^2}{\lambda^2} V\tau_1 \right]} = e^{-2\pi \left[\frac{\Delta \alpha^2}{\lambda^2} (X \sin C)^2 \right]} e^{-2\pi \left[\frac{\Delta \alpha^2}{\lambda^2} (X \cos C)^2 \right]}, \quad (10)$$

откуда модуль полной скорости корабля будет

$$V = \frac{X}{\tau_1}. \quad (11)$$

Преобразуя выражение (9) для условия нахождения временной задержки τ_2 , характеризующей равенство коэффициента автокорреляции и коэффициента взаимной корреляции, найдем значение продольной составляющей скорости корабля

$$e^{-2\pi \left[\frac{\Delta \alpha^2}{\lambda^2} V\tau_2 \right]} = e^{-2\pi \left[\frac{\Delta \alpha^2}{\lambda^2} (X \sin C)^2 \right]} e^{-2\pi \left[\frac{\Delta \alpha^2}{\lambda^2} (X \cos C)^2 \right]}. \quad (12)$$

$$\text{Откуда} \quad (V\tau_2)^2 = X^2 - 2XV\tau_2 \cos C + (V \cdot \tau_2)^2. \quad (13)$$

Из выражения (13) найдем продольную составляющую скорости корабля

$$V_X = V \cos C = \frac{X}{2\tau_2}. \quad (14)$$

Для определения поперечной составляющей скорости корабля V_Y и угла сноса C , воспользуемся полученными значениями V и V_X

$$V_Y = (V^2 - V_X^2)^{1/2}; \quad C = \arctg (V_Y / V_X). \quad (15)$$

Таким образом, подводя итоги анализа способов измерения скорости в КГАЛ, можно сделать следующие выводы:

1. АК способ измерения скорости корабля использовать в чистом виде для целей кораблевождения практически невозможно, так как на ширину ФАК существенное влияние оказывают характеристики отражающей поверхности, и показания лага необходимо корректировать при их изменении.

2. ВК способ измерения скорости имеет методическую погрешность при движении корабля с учетом сноса вследствие неравенства базы приемных гидроакустических преобразователей сигнала ее проекции на линию движения. Применяя преобразования Гильберта, в алгоритме выработки корреляционной функции можно получить функцию $\text{tg}2\varphi$ с большей крутизной, чем у аналогов $\sin\varphi$ и $\cos\varphi$ и тем самым повысить точность измерения скорости корабля.

3. ВАКМ и ВАКК способы позволяют измерять модуль полной скорости и продольную скорость корабля. Преимущество взаимно автокорреляционного способа определения скорости корабля заключается в том, что скорость корабля измеряется независимо от ориентации базы гидроакустических антенн относительно направления движения корабля при дрейфе и в случаях неустойчивого движения.

Библиографический список

1. Букатый В.М., Дмитриев В.И. Гидроакустические лаги. М.: Пищ. пром-сть, 1980. 176 с.
2. Грибанов Ю.И., Веселова Г.П., Андреев В.Н. Автоматические цифровые корреляторы. М.: Энергия, 1971. 240 с.
3. Завьялов В.В. Измерители скорости с линейной базой направленных приемников. Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2004. 175 с.
4. Мелик-Шахназаров А.М., Маркатун М.Г. Цифровые измерительные системы корреляционного типа. М.: Энергоатомиздат, 1985. 128 с.

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПОВЫШЕНИЮ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ КОРАБЛЯ И ТОЧНОСТИ СЧИСЛЕНИЯ

**В.В. Карасев; С.А. Верецагин; В.Н. Коломоец,
Дальрыбвтуз, Владивосток**

На основе анализа требований стандарта точности судовождения к счислимому месту корабля и скорости корабля даны рекомендации при решении задач счисления с учетом дрейфа и течения, а также обоснование на необходимость установки на корабле корреляционного гидроакустического лага.

Международным стандартом точности судовождения (резолюция А.529(13) 13-й Ассамблеи организации ИМО) определены требования к точности текущего места корабля в зависимости от его скорости и расстояния до ближайшей навигационной опасности. Счисление пути корабля является основным методом кораблевождения, поэтому для выполнения требований резолюции ИМО на корабле необходимо вести наиболее точно счисление пути корабля. Коррекция счисления пути производится периодически и предназначена для уточнения текущего места корабля. Счисление ведется по показаниям гирокомпаса и лага, с учетом внешних факторов, воздействующих на движение корабля – течения и дрейфа. Следовательно, на безопасность кораблевождения оказывают влияние погрешности как внутренних факторов – курса и скорости корабля, так и внешних факторов – течения и дрейфа. Погрешности внутренних факторов – курса и скорости в общем случае имеют две основные составляющие [1, 2, 3]: постоянную или медленно изменяющуюся по времени; флуктуационную.

Влияние постоянной погрешности гирокомпаса (ГК) на точность решения навигационных задач можно снизить путем определения ее величины в базе и учета ее, как поправки. Флуктуационную часть в обычных условиях плавания полностью исключить нельзя. Поэтому на значение ее основной характеристики средней квадратической погрешности (СКП) необходимо наложить ограничения, при выполнении которых влияние данной погрешности на качество решения навигационных задач будут незначительными (рис. 1).

На рис. 1: $\Delta ГК_{\Gamma}$ – постоянная поправка гирокомпаса; $\Delta ГК(t)$ – мгновенное значение постоянной поправки ГК в зависимости от времени плавания; $\sigma_{\Delta ж_{\Gamma}}$ – СКП постоянной поправки ГК; $\sigma_{\Delta ж}$ – СКП чувствительного элемента ГК, являющаяся оценкой устойчивости его колебаний.

В общем виде суммарная СКП ГК определяется выражением

$$\sigma_{\Sigma \Delta ж} = \sqrt{\sigma_{\Delta ж}^2 + \sigma_{\Delta \Pi}^2}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\Delta ж}$ – СКП чувствительного элемента ГК, является оценкой устойчивости его колебаний; $\sigma_{\Delta \Pi}$ – СКП определения поправки ГК.

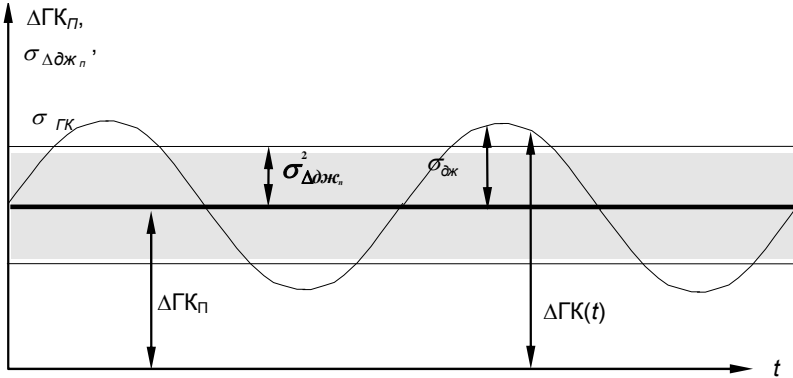


Рис. 1. Погрешности гирокомпаса

Векториальная погрешность счисления (рис. 2) из-за погрешности ГК описывается выражением вида

$$\sigma_z(t) = \frac{\sigma_{k\Sigma}}{57,3} S_r, \quad (2)$$

где S_r – генеральное плавание корабля.

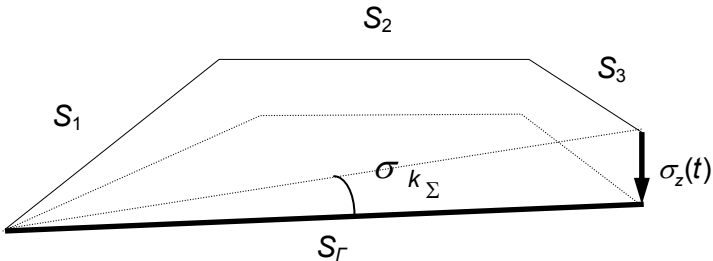


Рис. 2. Влияние погрешности гирокомпаса на изменение пути корабля

При среднем значении СКП суммарной поправки гирокомпаса $\sigma_{\kappa} \leq 0,3^\circ$ СКП счисления $\sigma_z(t)$ не превысит 0,5 мили на 100 миль генерального плавания корабля.

Суммарная погрешность относительного лага $\sigma_{\Delta\lambda}$ приводит к тому, что генеральное расстояние S_{Γ} прокладывается на карте с учетом этой погрешности. СКП счисления $\sigma_s(t)$ будет направлена вдоль линии генерального перемещения S_{Γ} (рис. 3), описывается выражением вида

$$\sigma_s(t) = \frac{\sigma_{\Delta\lambda}}{100 \% } S_{\Gamma}, \quad (3)$$

где $\sigma_{\Delta\lambda}$ – суммарная СКП относительного лага

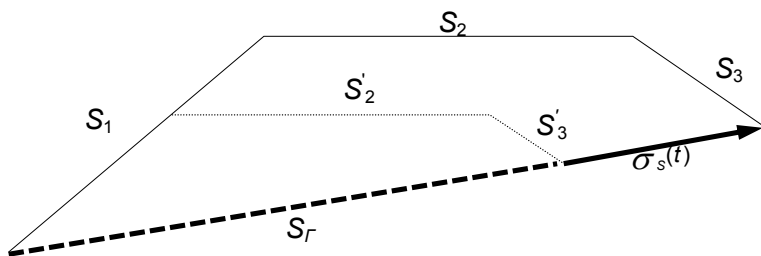


Рис. 3. Влияние погрешности лага на изменение пути корабля

При суммарной СКП лага $\sigma_{\Delta\lambda} \leq 0,5 \%$, погрешность счисления $\sigma_s(t)$ не превысит 0,5 мили на 100 миль генерального плавания.

Расчеты, произведенные по формулам (2), (3), показывают, что влияние погрешностей лага и гирокомпаса на накопление погрешностей текущего места являются несущественными и составляют 0,5 мили на 100 миль пройденного пути.

Как показали результаты исследовательских работ, основной причиной невязок при ведении счисления является течение. Физическая природа морских течений такова, что они обладают значительной изменчивостью во времени и пространстве. Следовательно, вектор течения, рассматриваемый на некотором отрезке времени, – векторная случайная функция времени. Исследования показали, что осредненные значения проекции вектора течения на параллель и меридиан примерно одинаковы, что говорит о характере распределения погрешностей течения, близких к круговому. Корреляционная функция случайной величины скорости течения хорошо аппроксимируется одним из следующих выражений: [1, 2, 3, 4]:

$$K_{V_T} = \sigma_{V_T}^2 e^{-c|t|} \cos \beta t, \quad (4)$$

$$K_{V_T} = \sigma_{V_T}^2 e^{-c|\tau|} \left(\cos \beta\tau + \frac{c}{\beta} \sin \beta\tau \right), \quad (5)$$

где $\sigma_{V_T}^2$ – дисперсия проекции скорости вектора течения на меридиан или параллель; c, β – параметры корреляционной функции.

Вероятностные характеристики течения зависят от района плавания корабля. Для приближенных расчетов параметры корреляционной функции можно принять $c \approx (0,2 - 0,4) \text{ ч}^{-1}$, $\beta \approx (0,2 - 0,8) \text{ ч}^{-1}$, а величину $\sigma_{V_T}^2 = 0,2 - 0,5 \text{ уз}^2$ [2].

Для прогнозирования величин невязок, важную роль имеет значение интервала времени устойчивости (стационарности) течения. Для приближенных расчетов величину интервала времени устойчивости (стационарности) течения можно описать выражением

$$t_u = 0,35 / c, \quad (6)$$

где c – параметр корреляционной функции, характеризующий степень затухания корреляционной функции вектора скорости течения.

Подставляя в формулу (6) значения $c \approx (0,2 - 0,4) \text{ ч}^{-1}$ получим интервал времени устойчивости (стационарности) течения $t_u \approx 1,5 \text{ ч}$. Можно считать, что в период 1,5 ч после определения вектора суммарного сноса течением его учет не даст большой невязки.

На корабле при ведении счисления данные о характере течения выбираются из навигационных пособий (атласов, таблицах течений) или, если на корабле установлены абсолютный и относительный лаги, по сравнению их показаний. СКП по направлению и по скорости течения приведены в таблице.

Средняя квадратическая погрешность течения

Данные о течении:	Средняя квадратическая погрешность течения	
	по направлению σ_{KT}	по скорости σ_{VT}
Из атласов и таблиц течений	30°-40°	0,3 V_T
По сравнению показаний абсолютного и относительного лагов	10°-20°	0,1-0,3 уз

Второй составляющей внешних факторов, влияющих на точность счисления пути корабля, является дрейф. СКП угла ветрового дрейфа может быть представлена как сумма систематической составляющей ветра и кратковременных отклонений от среднего значения. СКП систематической составляющей ветра остается постоянной в течение определенного времени, пока не изменится направление и скорость ветра. Она является причиной неточного составления таблиц углов дрей-

фа, составленных по ограниченному количеству наблюдений. СКП счисления пути корабля под действием дрейф от ветра $\sigma_c(t)$ описывается выражением вида

$$\sigma_c(t) = \frac{\sigma_\alpha}{57,3} S_i, \quad (7)$$

где σ_α – СКП угла дрейфа; S_i – пройденное расстояние на курсе.

Исследования показывают, что σ_α в среднем составляет 0,1-0,3° от учитываемого угла дрейфа [1].

Кратковременное отклонение угла дрейфа от среднего значения за счет порывистого ветра, имеющего случайный характер, изменения скорости и направления ветра вызовет появление погрешности счисления вида

$$\tilde{\sigma}_c(t) = \frac{\sigma_\alpha \sigma_W V_T}{57,3} K \sqrt{t}, \quad (8)$$

где σ_W – среднеквадратическое отклонение скорости ветра от среднего значения; W – среднее значение скорости кажущегося ветра; K – коэффициент для расчетов, $K \approx 0,3-0,5 \text{ ч}^{-0,5}$.

Суммарная СКП счисления за счет воздействия ветра на корабль определяется выражением

$$\sigma_{\Sigma c(t)} = \sqrt{\sigma_c^2(t) + \tilde{\sigma}_c^2(t)}. \quad (9)$$

В практике кораблевождения точность счисления оценивается радиальной СКП счисления $M_c(t)$, которая зависит от продолжительности времени воздействия внутренних и внешних факторов. Экспериментально установлено, что при времени плавания по счислению $t \leq 2$ ч радиальная СКП счисления $M_c(t)$ растет по линейному закону, а при плавании по счислению $t > 2$ ч радиальная СКП счисления $M_c(t)$ растет по закону параболы и определяется выражениями:

$$M_c(t) = 0,7 \cdot K_c \cdot t, \quad \text{при } t \leq 2 \text{ ч}; \quad (10)$$

$$M_c(t) = K_c \cdot \sqrt{t}, \quad \text{при } t > 2 \text{ ч}, \quad (11)$$

где K_c – коэффициент точности счисления, миль/ч^{-0,5}.

Коэффициент точности счисления K_c зависит от условий плавания (район плавания, времени года), определяется выражением

$$K_c = 1,4 \left[\left(\frac{\sigma_{\text{ПУ}\alpha}}{57,3} \cdot V \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{V\%}}{100} \cdot V \right)^2 + \sigma_{VT}^2 \right]^{0,5}, \quad (12)$$

где $\sigma_{\text{ПУ}\alpha}$ – СКП путевого угла при дрейфе; $\sigma_{V\%}$ – СКП определения лагом относительной скорости, проценты; σ_{VT} – СКП значения скорости течения в районе плавания.

В реальных условиях плавания по относительному лагу $K_c \approx 0,6 - 1,8$ мили/чⁿ, при плавании по абсолютному лагу коэффициент точности счисления намного меньше $K_c \approx 0,1 - 0,6$ мили/чⁿ [4]. Расчет коэффициента точности счисления производится на основе опытных данных по невязкам или по погрешностям в элементах счисления.

Погрешность текущего места корабля M (рис. 4) при совместной обработке радиальной СКП последней обсервации M_0 и радиальной СКП счисления $M_c(t)$ определяется выражением [1, 2, 3]

$$M = \sqrt{M_0^2 + (0,7K_c t)^2}, \quad \text{при } t \leq 2 \text{ ч} \quad (13)$$

$$M = \sqrt{M_0^2 + (K_c \sqrt{t})^2}, \quad \text{при } t > 2 \text{ ч} \quad (14)$$

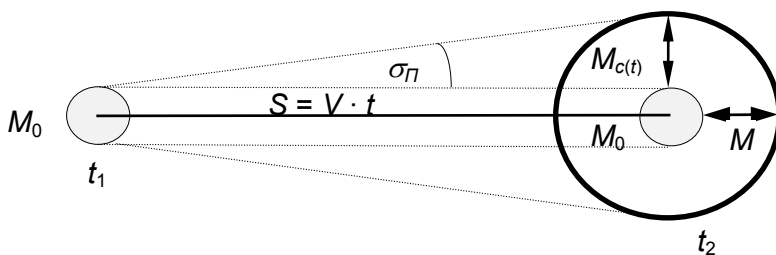


Рис. 4. Радиальная СКП текущего места корабля

Таким образом, точность счисления пути корабля будет зависеть от погрешностей курсоуказателя и лага, точности обсерваций, а также от точности определения элементов течения и их учета. Для повышения точности измерения скорости и определения элементов течения на кораблях необходимо устанавливать высокоточные абсолютные лаги, такие, как корреляционные.

Библиографический список

1. Скворцов М.И. Математическая обработка и анализ навигационной информации. Владивосток: ТОВВМУ им. С.О. Макарова, 1992.

2. Груздев Н.М., Гладков Г.Е. Математическая обработка и анализ навигационной информации. М.: МО РФ, 1992.

3. Кандрашихин В.Т. Оценка точности морского судовождения. М.: Транспорт, 1989.

4. Михальский В.А. Оптимальные методы и способы морской навигации. М.: ВСОК ВМФ, 1991.

5. Руководство по оценке точности кораблевождения. Л.: ГУНиО МО СССР. № 9341. 1970.

УДК 629.5.058.45

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЛАГОВ

В.В. Карасев; В.Н. Коломеец, Дальрыбвтуз, Владивосток

Произведен анализ существующих методов вычисления корреляционных функций, применяемых в цифровых корреляторах, даны перспективные направления по применению методов в современных корреляционных лагах.

1. Мультипликативный метод (метод умножения)

Множительный метод универсален и применим к случайным стационарным эргодическим процессам с произвольными законами распределения. Оценка автокорреляционной функции на ограниченном интервале времени T может быть определена по выражению

$$A_{11}^T(\tau) = \frac{1}{T - \tau} \int_0^{T-\tau} U_1(t) \cdot U_1(t - \tau) dt. \quad (1)$$

В основу работы цифровых корреляторов, реализующих метод умножения, положены следующие алгоритмы вычисления оценок автокорреляционной (АКФ) и взаимной корреляционной функций (ВКФ)[2]:

$$A_{11}^*(k\Delta\tau) = \frac{1}{N - m} \sum_{i=1}^{N-m} [U_1'(i\Delta\tau) - M^*(U_1'(i\Delta\tau))] \times \\ \times [U_1'(i\Delta\tau - k\Delta\tau) - M^*(U_1'(i\Delta\tau))], \quad (2)$$

$$R_{12}^*(k\Delta\tau) = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} [U_1'(i\Delta\tau) - M^*(U_1'(i\Delta\tau))] \times [U_2'(i\Delta\tau - k\Delta\tau) - M^*(U_2'(i\Delta\tau))], \quad (3)$$

где $U_1'(i\Delta\tau), U_2'(i\Delta\tau)$ – квантованные по уровню случайные процессы $U_1(t), U_2(t)$; M^* – символ операции вычисления математического ожидания; N – количество подынтервалов времени анализа; $\Delta\tau$ – длительность подынтервала; $k = 0, 1, 2, \dots, i-1$.

Как видно из этих выражений, измеритель скорости движения с цифровым коррелятором мультипликативного типа должен выполнять операции квантования по уровню и дискретизации по времени, задержки по времени, умножения, суммирования и накопления. Такой коррелятор представляет собой специализированное цифровое вычислительное устройство значительного объема с большим числом типовых цифровых узлов – микросхем логических элементов, комбинационных и последовательностных узлов: триггеров, регистров сдвига, счетчиков. Для упрощения схем корреляторов квантование производят на два уровня с помощью аналогово-цифрового преобразователя [4]. Структурная схема данного метода для вычисления ВКФ приведена на рис. 1.

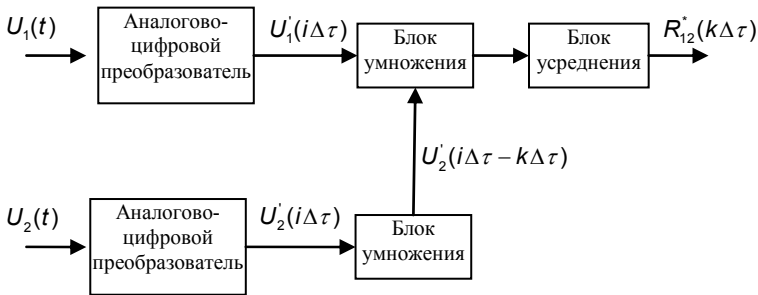


Рис. 1. Функциональная схема определения ВКФ методом умножения (одноканальная)

Для преобразования и обработки первичной информации можно использовать широтно-импульсные сигналы (ШИС) [3].

Широтно-импульсные сигналы представляют собой непрерывную последовательность прямоугольных импульсов, с постоянными амплитудой и частотой следования, но с длительностью t_j , моделирующей непрерывную физическую величину $U(t)$ в равноотстоящие моменты времени $t_j = jT_0$, где $T_0 = const$ – период следования импульсов, $j = 0, 1, 2, \dots$. Широтно-импульсные сигналы можно достаточно просто перемножать с аналоговыми сигналами, а для их задержки по времени используют регистры сдвига.

2. Полярный метод

Для центрированных нормальных случайных процессов $\overset{0}{U}_1(t)$, $\overset{0}{U}_2(t)$ достаточно знания автокорреляционной функции, чтобы найти распределение любого порядка [2]. Взаимная корреляционная функция центрированных случайных процессов, взаимное распределение которых нормально, также полностью определяет их совместное распределение. Поэтому для определения автокорреляционной или взаимной корреляционной функций таких процессов достаточно найти совместную вероятность некоторых значений $\overset{0}{U}_1(t)$ и $\overset{0}{U}_1(t-\tau)$ или $\overset{0}{U}_1(t-\tau)$ и $\overset{0}{U}_2(t)$ или каких-то функций от них при разных значениях τ . Наиболее удобно вычислять вероятности совпадения $P(\tau)$ или несовпадения $Q(t)$, знаков случайных процессов, сдвинутых друг относительно друга на интервал времени. При этом информация об амплитудах процессов теряется, однако сами вычисления существенно облегчаются. Вероятность совпадения довольно просто выражается через коэффициент корреляции $\rho(t)$.

$$P(\tau) = \frac{1}{\pi} \arccos(-\rho(\tau)), \quad (4)$$

$$P_{12}(\tau) = \frac{1}{\pi} \arccos(-\rho_{12}(\tau)), \quad (5)$$

$$Q(t) = 1 - P(\tau). \quad (6)$$

Если вычисляется вероятность совпадения знаков одной полярности, то

$$P^{++}(\tau) = P^{-}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \arccos(-\rho(\tau)). \quad (7)$$

В ряде случаев вместо вероятности совпадения вычисляют знаковую корреляционную функцию $A^{**}(\tau)$ и знаковую взаимную корреляционную функцию $R_{12}^{**}(\tau)$:

$$A^{**}(\tau) = M \left[\text{sign} \overset{0}{U}(t) \cdot \text{sign} \overset{0}{U}(t-\tau) \right],$$

$$R_{12}^{**}(\tau) = M \left[\text{sign} \overset{0}{U}_1(t-\tau) \cdot \text{sign} \overset{0}{U}_2(t) \right]. \quad (8)$$

Значение $A^{**}(\tau)$ определяется через вероятности совпадения и несовпадения знаков (4) и (6) следующим образом:

$$A^{**}(\tau) = P(\tau) - Q(\tau) = 2P(\tau) - 1 = \frac{2}{\pi} \arcsin \rho(\tau). \quad (9)$$

От любой из величин $P(\tau)$, $P^{++}(\tau)$, $A^{**}(\tau)$, $Q(\tau)$ можно перейти к коэффициенту корреляции $\rho(\tau)$ (или взаимной корреляции $\rho_{12}(\tau)$)

$$\begin{aligned} \rho(\tau) &= -\cos[\pi P(\tau)] = -\cos[2\pi P^{++}(\tau)] = -\cos[2\pi P^{-}(\tau)] = \\ &= \cos[\pi Q(\tau)] = \sin\left[\frac{\pi}{2} A^{**}(\tau)\right], \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \rho_{12}(\tau) &= -\cos[\pi P_{12}(\tau)] = -\cos[2\pi P_{12}^{++}(\tau)] = -\cos[2\pi P_{12}^{-}(\tau)] = \\ &= \cos[\pi Q_{12}(\tau)] = \sin\left[\frac{\pi}{2} R_{12}^{**}(\tau)\right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Переход от операций с числами к операциям со знаками чисел в значительной степени упрощает все узлы коррелятора: отпадает необходимость сохранения формы реализации при прохождении блоков запаздывания, умножение сводится к логическим операциям, дискретизация по времени дает возможность заменить усреднение простым пересчетом импульсов, а блоки запаздывания реализовать в виде регистров сдвига.

3. Релейный метод

Релейный метод, то есть вычисление $M[U(t) \cdot \text{sign}U(t - \tau)]$ по методу фазовой синхронной демодуляции, в радиотехнике известен давно. Фазовый детектор, применяемый при обнаружении слабых сигналов на фоне шумов, по существу является не чем иным, как дискриминационным элементом релейного коррелятора. Однако в качестве метода для вычисления коэффициентов корреляции случайных процессов с нормальным распределением этот метод применяется значительно реже, чем полярный [1]. Это объясняется частично тем, что в релейном методе лишь один из сигналов замещен знаковой функцией, тогда как в полярном методе заменены оба сигнала. Релейный метод по сравнению с полярным имеет ряд существенных преимуществ, делающих его применение в ряде случаев предпочтительным.

Во-первых, в полярных корреляторах полностью теряется информация об амплитудах процессов, тогда как релейный метод позволяет

получить и коэффициент корреляции, и интенсивность флуктуаций. Это видно из следующих соотношений:

$$A^*(\tau) = M[U(t) \cdot \text{sign}U(t - \tau)] = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma \rho(\tau),$$

$$R_{12}^*(\tau) = M[\text{sign}U_1(t - \tau) \cdot U_2(t)] = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma_{12} \rho_{12}(\tau). \quad (12)$$

Среднеквадратичные отклонения равны

$$\sigma = M|U(t)| \sqrt{\frac{\pi}{2}} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} A^*(0),$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\pi}{2}} R_{12}^*(0). \quad (13)$$

Во-вторых, как следует из (13), переход от полярной корреляционной функции, или вероятности совпадения знаков, к коэффициенту корреляции происходит с выполнением существенно нелинейных операций. Релейная корреляционная функция линейно зависит от коэффициента корреляции и переход к коэффициенту корреляции сводится к умножению на постоянную величину. При $M[U(t)] = 0$ имеем:

$$\rho(\tau) = \frac{A^*(\tau)}{A^*(0)},$$

$$\rho(\tau) = \frac{R_{12}^*(\tau)}{R_{12}^*(0)}. \quad (14)$$

В-третьих, релейные корреляторы могут проводить измерение коэффициентов корреляции не центрированных случайных процессов, что для полярных корреляторов принципиально невозможно. Для нормальных процессов при $M[U(t)] = 0$ и характеристике квантователя $f(U) = \text{sign}U$ имеем

$$\rho(t) = \frac{A^*(\tau) - A^*(\infty)}{A^*(0) - A^*(\infty)}, \quad (15)$$

как в мультипликативных корреляторах.

В-четвертых, пропорциональность релейной корреляционной функции $A^*(\tau)$ и коэффициента корреляции $\rho(\tau)$ для нормальных случайных процессов соблюдается при любом виде характеристики нелинейности квантователя $f(U)$, так что наличие зоны нечувствительности у дискриминатора знака повлечет лишь изменение коэффициента пропорциональности, но соотношения (12), (13) будут по-прежнему справедливы.

Релейный коррелятор должен включать в себя дискриминатор знака, перемножающее устройство (например, синхронный детектор) и интегратор. Вместо дискриминатора знака с характеристикой $f(x) = \text{sign } x$ можно использовать односторонний ограничитель с характеристикой [2]

$$U_+(x) = \begin{cases} 1, & \text{при } x > 0 \\ 0, & \text{при } x \leq 0 \end{cases}$$

$$\text{sign } x = 2U_+(x) - 1. \quad (16)$$

При этом возрастает статистическая погрешность получаемых оценок.

Таким образом, аналоговый мультипликативный способ требует большой трудоемкости при перемножении многозарядных чисел, что усложняет множительные устройства. Использование широтно-импульсных сигналов в схеме цифрового мультипликативного коррелятора упрощает схему, повышает его точность и быстродействие за счет сохранения информации об амплитуде огибающего сигнала, переноса спектра сигнала с выхода первого приемника в более высокочастотную область и относительного сужения спектра сигнала на входе интегратора.

При применении релейного коррелятора в схеме может быть использовано более простое множительное устройство релейного действия [1]. При полярной корреляции еще более упрощается коррелятор, так как в этом случае вместо множительного устройства можно обойтись просто схемой совпадения. Однако применение релейных и полярных корреляционных функций приводит к появлению методических погрешностей, вызванных заменой реального входного случайного процесса его клиппированным аналогом.

Библиографический список

1. *Букатый В.М., Дмитриев В.И.* Гидроакустические лаги. М.: Пищ. пром-сть, 1980. 176 с.
2. *Грибанов Ю.И., Веселова Г.П., Андреев В.Н.* Автоматические цифровые корреляторы. М.: Энергия, 1971. 240 с.
3. *Завьялов В.В.* Измерители скорости с линейной базой направленных приемников. Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2004. 175 с.
4. *Мелик-Шахназаров А.М., Маркатун М.Г.* Цифровые измерительные системы корреляционного типа. М.: Энергоатомиздат, 1985. 128 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КУТКОВОЙ ЧАСТИ ТРАЛОВ С УЧЕТОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА УЛОВОВ

Э.Н. Ким; Е.В.Осипов; В.В. Чернецов, Дальрыбвтуз, Владивосток

Приводятся результаты по совершенствованию методов проектирования кутковой части тралов, направленные на обеспечение заданного уровня качества уловов.

Наиболее массовым объектом экспорта России является минтай. Требования к сырью на рынках Кореи и Японии отличаются от российских, что связано с культурными традициями этих стран. Экономические результаты различных рыбопромышленных фирм показывают, что за счет поставок икры минтая на внешний рынок компенсируются значительные затраты, связанные с промыслом минтая.

Проведенные исследования [1] показали изменения характеристик ястыков в зависимости от давления в траловом мешке (рис. 1, 2).

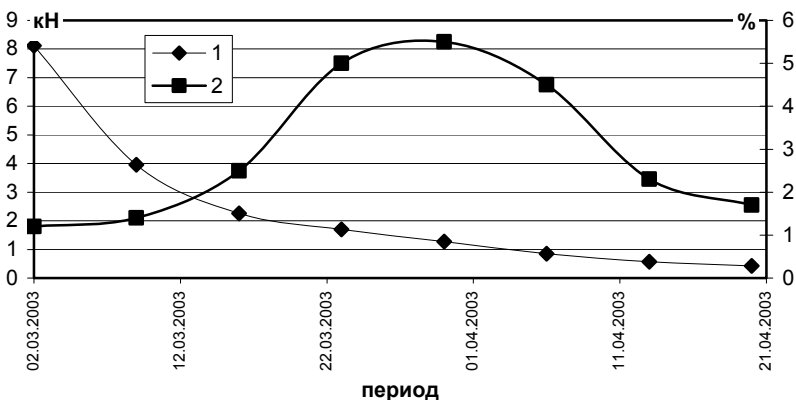


Рис. 1. Изменение характеристик ястыков минтая в период марта-апреля 2003 г.:
1 – средняя сила давления, при котором происходит разрушение ястыка в теле минтая; 2 – процентный выход икры минтая

При расчете изменения размера желчного пятна (рис. 2) были выбраны изменения вектора на начальном участке, согласно экспериментальным данным уравнение приняло вид

$$d = ae^{bt}, \quad (1)$$

где $a = 0,1427$, $b = 0,6319$, $R^2 = 0,93$.

Согласно спецификации $d \leq 0,01$ м.

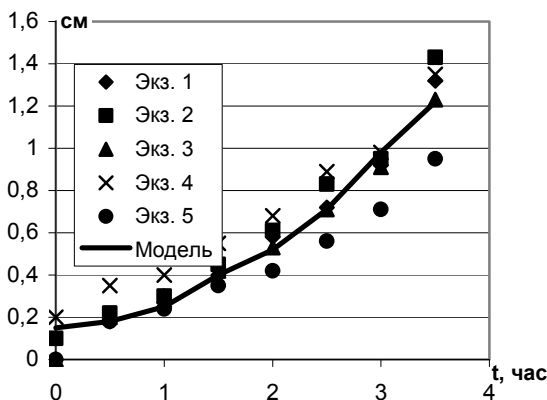


Рис. 2. Исследования изменений размера желчного пятна

Используя соотношения параметров сетной оболочки, предложенные в работе [10], получим уравнение для определения ее высоты из учета давления на тело гидробионта

$$H = \frac{P}{\gamma(q_0 / h + 1)}, \quad (2)$$

где P – давление на тело гидробионта; γ – объемный вес рыбы ($\gamma = 9,00 \text{ кН/м}^3$); q_0 , h – относительные параметры сетной оболочки (табл. 1).

Таблица 1
Параметры сетной оболочки при разном ее заполнении и угле $\varphi = 30^\circ$ [10]

\bar{S} , %	q_0	h	b	b_0	s
95	0,18	0,25	0,35	0,17	0,075
90	0,08	0,23	0,38	0,24	0,071
85	0,05	0,21	0,39	0,26	0,068
80	0,02	0,13	0,40	0,30	0,055
75	0,01	0,10	0,41	0,32	0,050

Используя (2) и данные по силе давления (см. рис. 1), построим распределение высоты мешка трала для минтая с учетом не разрушения его ястыков при разном наполнении \bar{S} (рис. 3). В этом случае средняя высота мешка составляет $H_{cp} = 1,88$ м, при $p = 0,99$ и любом

угле раскрытия ячей φ и обеспечивает максимальный процентный выходкры мента 5,5 %.

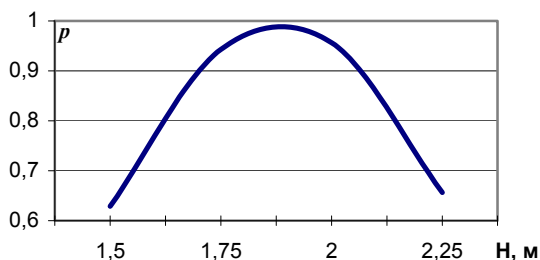


Рис. 3. Плотность распределения высоты мешка без повреждения ястыков в теле мента [2]

В этом случае найдем характеристики сетных оболочек при $a = 100$ и $H < H_{cp}$ для ромбической ячей с углом $\varphi = 30^\circ$ и углом $\varphi = 90^\circ$ (квадратная ячей) (табл. 2, рис. 4).

Таблица 2
Параметры сетной оболочки при разном ее заполнении

\bar{S} , %	H , м	S , м	B , м	B_0 , м	n , яч.	
					$\varphi = 30^\circ$	$\varphi = 90^\circ$
95	1,875	4,21875	2,625	1,275	75	37,5
90	1,886	4,77404	3,116	1,968	82	41
85	1,869	5,38628	3,471	2,314	89	44,5

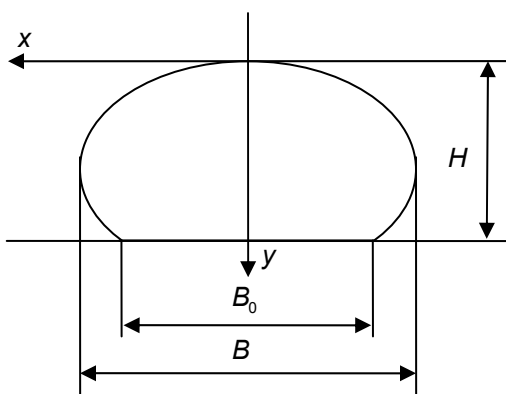


Рис. 4. Характеристики цилиндрической сетной оболочки

Заметим, что фиктивная площадь дели для любых α будет иметь соотношение

$$\frac{S_f(\varphi = 30)}{S_f(\varphi = 90)} = 2. \quad (3)$$

Это позволяет сделать следующие выводы:

1) уменьшение высоты мешка до $H = 1$ м позволяет продлить время работы тралового мешка с сохранением целостности ястыков минтая на 5-7 дней;

2) увеличение объема вылова с сохранением целостности ястыков достигается уменьшением заполнения мешка трала, которое может контролироваться с помощью датчиков улова;

3) уменьшение высоты мешка для $\varphi = 30^\circ$ приводит к уменьшению улова за время траления, что объясняется плохой фильтрацией, а для $\varphi = 90^\circ$ такой эффект не наблюдается, при этом масса мешка в два раза меньше чем с ромбической ячейей.

Решение задачи проектирования кутковой части трала в рамках пунктов 2 и 3 за счет оптимизации потоков внутри траловой системы. На рис. 5 показано изменение потока в трале в зависимости от наполняемости мешка и скорости траления, как можно заметить, поток выдвигается вперед трала, что не позволяет гидробионтам пройти в мешок.

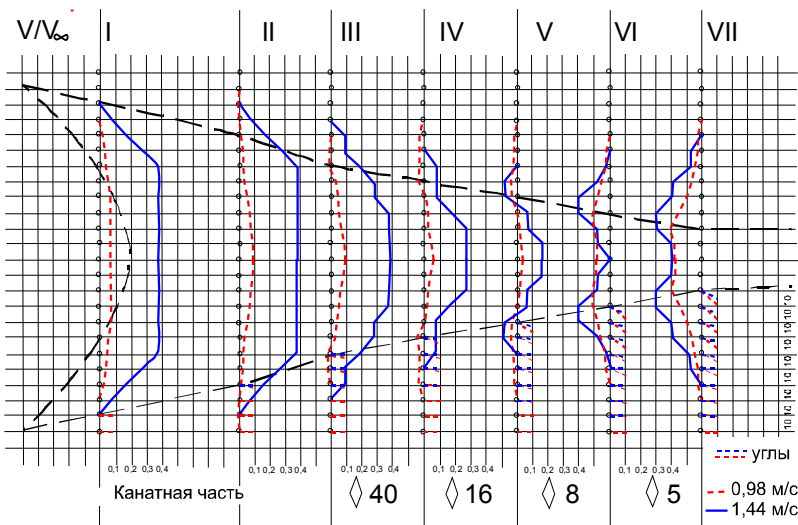


Рис. 5. Значения абсолютных скоростей потока в различных сечениях трала 62,4/208 м

Для этого можно использовать разную длину тралового мешка, проведенные исследования [3] показали, что с увеличением длины мешка трала скорости наполняемости мешка возрастает. Время траления при использовании мешков 42 м, взамен мешков 36 м, сократилось с 8 часов до 1,5 часа, что сказывается на качестве сырца.

Для уменьшения времени наполнения мешка разработано устройство (рис. 6), изменяющее поток внутри трала (поля скоростей, полученные с помощью численного моделирования, показаны на рис. 6, б). Согласно схеме (рис. 5) устройство обеспечивает: 1 – траловый мешок и мотня разнесены, это создает разрежение, в результате направление потока будет смещено вдоль трала; 2 – создает ускорение потока на поверхности траловой оболочки с направлением внутрь мешка.

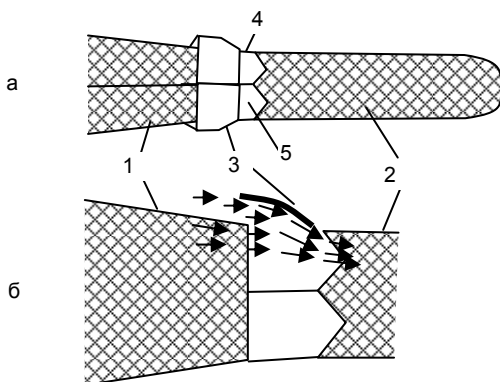


Рис. 6. Поля скоростей в трале: а – изменения в конструкции [8, 9]; б – поля скоростей после изменений: 1 – мотня; 2 – мешок; 3 – гидродинамические щитки; 4 – топенанты; 5 – отверстия

Библиографический список

1. Ким Э.Н., Осипов Е.В., Чернецов В.В. Влияние технологических параметров тралового лова на выход икры минтая. Владивосток: Науч. тр. Дальрыбвтуза, 2004. Вып. 16. С. 33-35.
2. Ким Э.Н., Осипов Е.В., Чернецов В.В. Методика расчета параметров мешков тралов с учетом сохранности качества улова: Матер. науч.-практ. конф. «Проблемы современного естествознания. Рациональное использование водных биоресурсов». Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2006. С. 99-102.
3. Чернецов В.В. Влияние характеристик трала и времени траления на качество улова: Науч. тр. Дальрыбвтуза. Владивосток, 2003. Вып. 15. С. 106-109.
4. Осипов Е.В., Чернецов В.В., Ким Э.Н. Трал. Патент РФ № 64026. Дата выдачи 13.11.2006. Изобретения. Полезные модели. 2007. № 18.

УСТРОЙСТВА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСКРЫТИЯ ТРАЛОВ**В.В. Кудакаев; А. Н. Бойцов; В.В. Чернецов; О.А. Висягин,
Дальрыбвтуз, Владивосток**

В настоящее время конструкторы траловых систем пытаются усовершенствовать распорные доски в плане их облегчения, а также уменьшения аварийности при тралении на сложных грунтах. В работе отображена одна из таких усовершенствованных досок и представлены зарубежные и российские разработки альтернативных устройств горизонтального раскрытия тралов.

Современные требования к рыболовству и стремление рыбаков использовать усовершенствованные орудия лова подталкивает создателей тралов к поиску новых конструкторских решений для орудий промышленного рыболовства. Одним из направлений в разработках является усовершенствование траловых распорных устройств. Одна из таких досок была представлена конструкторами компании Swan Net Gundry [1]. Они разработали пелагическую траловую доску Орех из стали и нейлона. Доска сокращает потребление топлива на 20-30 % или увеличивает горизонтальное раскрытие трала на 50-60 %. Она имеет стальной каркас, вокруг которого в специальной форме отливаются корпус из нейлона. Такая конструкция уменьшает лобовое сопротивление и увеличивает подъемную силу доски. Масса одной доски вместе с башмаком в воздухе составляет 2300 кг, а в морской воде только – 1000 кг. Это объясняется тем, что нейлон имеет в воде почти нулевую плавучесть, и массу создают только стальной каркас и башмак. На промысле вблизи поверхности, когда башмак может быть снят, масса доски еще больше уменьшается.

Испытания этих досок показали, что при замене стальных досок площадью 12-13 м² на нейлоновые доски Орех площадью 7 м² скорость траления возрастает на 40 %, а потребление энергии снижается примерно на 20-30 % при сохранении прежней скорости буксировки трала. Используя доски Орех, судно может буксировать более крупные тралы, а также возможно увеличение глубины траления.

Помимо траловых систем с жесткими распорными устройствами в мировом рыболовстве широко используются гибкие распорные устройства (ГРУ). Такие устройства легки в управлении не только самих ГРУ, но также и траловой системы в целом. Использование таких устройств не требует точной настройки траловой доски, так как возможно изменение углов атаки непосредственно во время, когда траловая система находится в воде.

Изменяя размеры устья трала таким образом, чтобы крылья трала и ГРУ ложились примерно в одну плоскость по отношению к потоку воды, можно добиться уменьшения общего сопротивления траловой системы, что в конечном итоге приведет к экономии топлива при ведении поиска рыбных скоплений.

Одно из таких устройств показано на рис. 1, оно было разработано в Японии в 1995 г. [4]. Полное описание этого изобретения изложено в патенте № 5444933, зарегистрированном в США. Найти этот патент можно на Интернет страницах PatentStorm [2] и WikiPatents [3]. Первое из преимуществ этого устройства в том, что с его помощью можно закрыть устье трала, и это даст возможность уменьшить сопротивление траловой системы. Другое преимущество этого устройства в том, что использование траловой системы, оснащенной таким распорным устройством, не требует тех усилий, как требуются при использовании траловых досок.

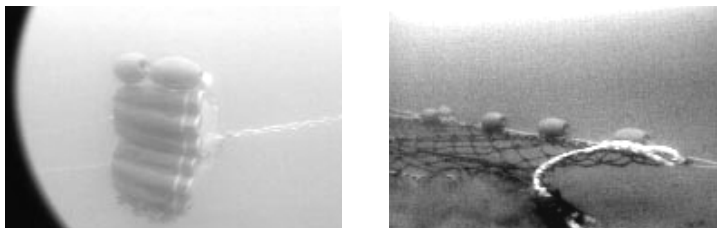


Рис. 1. Мягкое распорное устройство компании Nichimo

Устройство состоит из запатентованных брезентовых парашютов и комбинации веревок, которые являются заграждением. Такая разновидность гибких распорных устройств может буксироваться на расстоянии 1-2 м от грунта. В то же время при помощи веревочных заграждений, которые, касаясь морского дна, могут эффективно направлять рыбу в устье трала. По сравнению с тяжелыми траловыми досками, эта система является экологически-благоприятной.

С российской стороны тоже ведутся разработки подобных устройств [5]. Назначение такого устройства заключается в его названии: «Гидродинамическое устройство раскрытия и управления параметрами входного устья трала в процессе его буксировки» (ГДРУ). Единственно стоит добавить, что это устройство – для горизонтального раскрытия трала. На рис. 2 отображено дерево этого устройства.

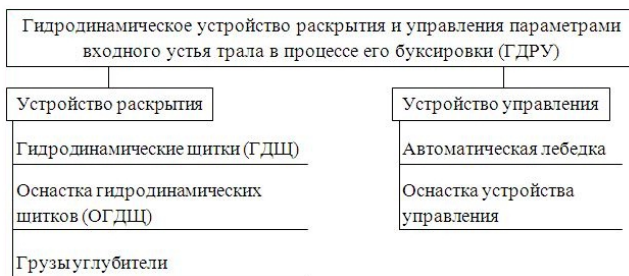


Рис. 2. Дерево гидродинамического устройства раскрытия и управления параметрами входного устья трала в процессе его буксировки

На рис. 3 изображен трал оснащенный ГДРУ.

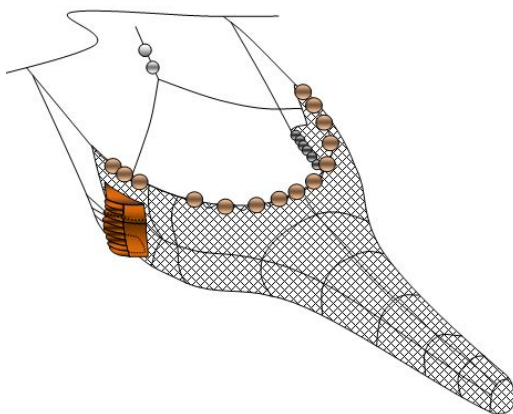


Рис. 3. Общий вид трала, оснащенного устройством раскрытия и управления

Состав ГДРУ изображен на рис. 4.

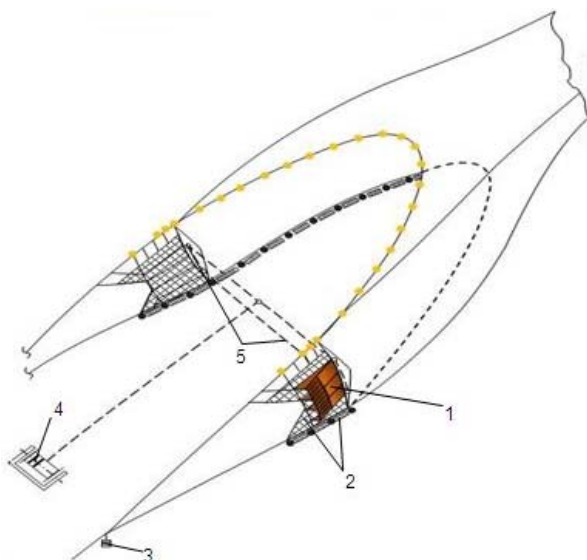


Рис. 4. Гидродинамическое устройство раскрытия и управления параметрами траловой системы в процессе ее буксировки: 1 – гидродинамические щитки; 2 – оснастка гидродинамических щитков; 3 – грузы-углубители; 4 – автоматическая лебедка управления; 5 – оснастка устройства управления

На первом этапе создания такого устройства исходили из задач, стоящих перед океаническим добывающим флотом. Прорабатывались возможности облова быстро подвижных рыб (тунец) разноглубинными канатными тралами, оснащенными устройствами горизонтального раскрытия и управления, обладающими меньшим гидродинамическим сопротивлением, вместо использования траловых досок, которые могли бы работать на малых углах атаки, что позволило бы увеличить скорость буксировки траловой системы и способствовало бы усовершенствованию техники и тактики траловой системы за счет управления параметрами входного устья трала.

На этапе проработки технического решения для указанного выше применения группой разработчиков во главе с ведущим конструктором Дальтехрыбпрома (Владивосток) Висягиным О.А. была проведена серия технических испытаний для опытных образцов ГДРУ, в результате чего была подтверждена работоспособность данного устройства.

Российскими конструкторами было предложено 2 варианта ГДРУ. Первый вариант устройства включал в себя: гибкие элементы с оснасткой (щитки), голые концы щитков (стропа), сборочные щитки, стяжные кольца щитков, боковые вставки к тралу управляющей лебедки (УЛ) управляющего троса (стяжного троса). Щитки представляли собой плоские прямоугольные пластины 1200x1000 мм, выкроенные из транспортной ленты и оснащенные оттяжками и стяжными кольцами, как показано на рис. 5.

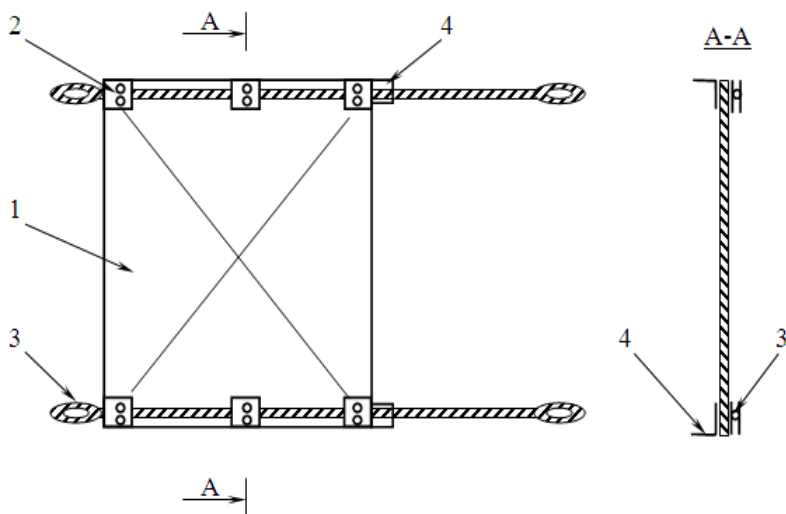


Рис. 5. Оснастка гидродинамического щитка (вариант 1):
1 – щиток; 2 – крепежные изделия; 3 – оттяжка; 4 – ребро жесткости (уголок)

Передние кромки щитков посредством оттяжек крепились на сборочных, как показано на рис. 6. К этим же местам подходили голые концы щитков (6 штук от каждого крыла), которые другими концами сводились в одну точку, и через вертлюги подсоединялись к среднему кабелю.

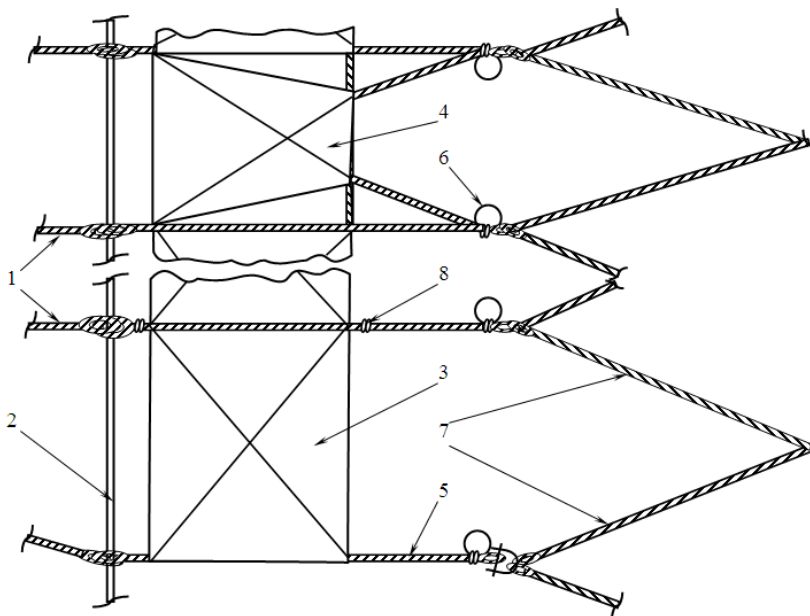


Рис. 6. Сборка основных узлов устройства раскрытия (вариант 1):
 1 – голые концы; 2 – сборочная; 3 – щиток; 4 – щиток центральный;
 5 – оттяжка; 6 – кольцо; 7 – зубья боковой вставки; 8 – привязки

Верхние, нижние и средние кабели сводились вместе и соответственно соединялись с ваерами. Задние кромки щитков оттяжками соединялись с «зубьями» боковых вставок, которые были изготовлены специально для выбранного траля.

Через стяжные кольца щитков правого и левого крыла проводился управляющий трос таким образом, чтобы образовалась петля, способная затягиваться или распускаться в зависимости от приложенных к тросу усилий. Другим концом управляющий трос был заведен на барабан управляющей лебедки (штатная лебедка для ИГЭК).

Каждая сборочная, как указано на рис. 7, свободно проводилась через огоны боковой подборы и крепилась к концу верхней и нижней подбор соответствующего крыла траля. Таким образом, каждая сборочная несла по 5 щитков общей площадью $6,7 \text{ м}^2$ в плане.

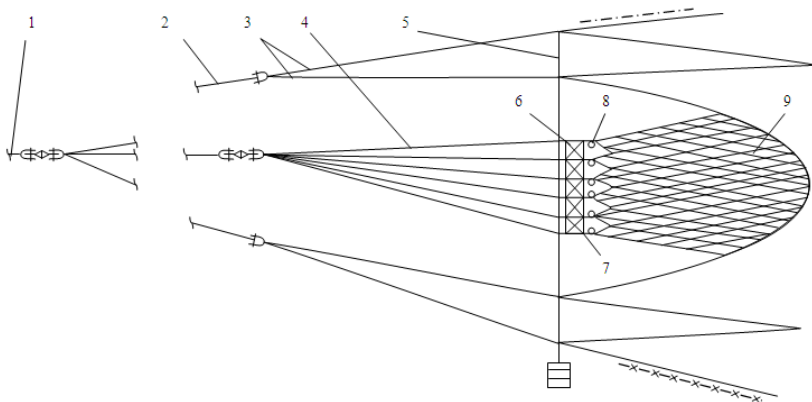


Рис. 7. Оснастка трала устройством раскрытия (вариант 1):
 1 – ваер; 2 – кабель; 3 – голые концы трала; 4 – голые концы щитков;
 5 – сборочная щитков; 6 – щиток; 7 – оттяжка; 8 – кольцо; 9 – боковая вставка

Для проведения экспериментальных работ с устройством был выбран разноглубинный канатный трал 54,4/192 м, который является промысловым для судов типа СРТМ-К на ДВ бассейне.

Расчетные параметры входного устья трала:

1. Вертикальное раскрытие в гужевом сечении 25 м
2. Горизонтальное раскрытие 27 м

Принцип работы устройства основан на приведении в равновесное состояние и выводе из него всех сил траловой системы в необходимый момент траления в зависимости от требований промысловой ситуации, путем приложения или снятия дополнительного усилия управляющей лебедки на управляющий трос.

Способствует выполнению этого принципа форма каждого щитка, выполненная в виде плоской прямоугольной пластины. Из этого следует, что распорные элементы не имеют заранее заданных углов атаки, т.е. отсутствуют строительные углы. Нагрузки распределяются по линии ваер – кабель – голые концы щитков – поверхности щитков – оттяжки щитков – боковая вставка – оболочка трала. Естественно при такой схеме распределения нагрузок, без введения в действие дополнительных сил, способных вызвать появление распорных сил, устье трала будет закрыто или близко к этому состоянию равновесия. Из этого следует, что закрытие устья трала осуществляется путем снятия дополнительных нагрузок и за счет собственных сжимающих сил траловой системы.

В данной схеме особенно важно, чтобы было выполнено следующее условие: гибкие гидродинамические элементы во время их нахождения на палубе должны стать жесткими во время работы в воде. Это

может быть достигнуто только путем отбора и перераспределения нагрузок от траловой системы, а именно:

поперечная жесткость – за счет создания необходимой нагрузки на сборочные путем подбора оптимального соотношения между статической плавучестью и загрузкой по концам крыльев верхней и нижней подбор;

продольная жесткость – за счет выбора оптимальной длины оттяжек щитков.

Продольная жесткость может быть достигнута и за счет использования различных ребер жесткости, что практически, ввиду небольших размеров щитков по длине, не затрудняет работу с устройством на палубе.

Принципиальное различие схемы работы тралом с ГДРУ от работы классическим тралом вооруженным траловыми досками состоит в отсутствии досок и включенной в работу автоматической лебедки ИГЭК.

Техника работы с ГДРУ

Постановка трала.

Комплекс управляющей лебедки устанавливается в положение «1». Постановка трала осуществляется по обычной схеме. Втравливая ваера, трал выводится в горизонт траления. В этом положении горизонтальное раскрытие устья отсутствует. Задние кромки щитков стянуты в продольной оси трала и все вместе представляют собой наполненную куполообразную фигуру с отверстием в центре. В таком состоянии траловая система готова для открытия устья трала, так как у щитков появляются углы атаки.

Процесс открытия и закрытия трала.

Открытие трала выполняется за счет протравливания стяжного троса, в этот момент управляющая лебедка ИГЭК переключается в положение «расторжено», причем вытравливается одновременно не более 3-6 метров, чередуя с короткими остановками для предотвращения образования излишней слабину стяжного троса.

Эти манипуляции объясняются тем, что давление потока на задние кромки щитков оказалось недостаточно для преодоления условия, когда контроллер управляющей лебедки ИГЭК в положении «1». Протравливание в натяг стяжного троса позволяют щиткам, сохраняя углы атаки, расходиться во внешние стороны от оси трала. Углы атаки щитков сохраняются, но изменяются от максимальных значений в начальный момент процесса открытия и до минимальных в его заключительной фазе.

Заканчивается процесс максимального открытия в положении, при котором устанавливалось устойчивое равновесное состояние между всеми снимающими силами траловой системы и распорными силами до полными усилием управляющей лебедки. Дальнейшее потравливание стяжного троса уменьшало углы атаки щитков, тем самым выводил систему из равновесия. С этого момента начиналось схождение щитков и закрытие входного устья трала по горизонтали, а образующаяся

при этом слабина стяжного троса выбиралась управляющей лебедкой в положение контроллера на «1». Обычно трал закрывался раньше, чем управляющая лебедка выбирала всю слабину стяжного троса. При таком положении контроллера управляющей лебедки процесс закрытия трала завершался формированием купола, что означало готовность устройства к процессу открытия.

Выборка трала.

Выборка трала осуществлялась после завершения процесса его закрытия при положении контроллера управляющей лебедки «1», что обеспечивало стяжному тросу нагрузку, достаточную для удержания щитков в форме купола до подхода их к слипу судна. Для выборки щитков на промысловую палубу контроллер управляющей лебедки устанавливался в положение «расторжено».

Второй вариант ГДРУ на первом этапе исследований сохранял полное подобие предшествующему варианту.

Отличие состояло в изменении оснастки расположения распорного устройства, которое повлекло изменение принципа работы ГДРУ, что можно увидеть на рис. 8, 9.

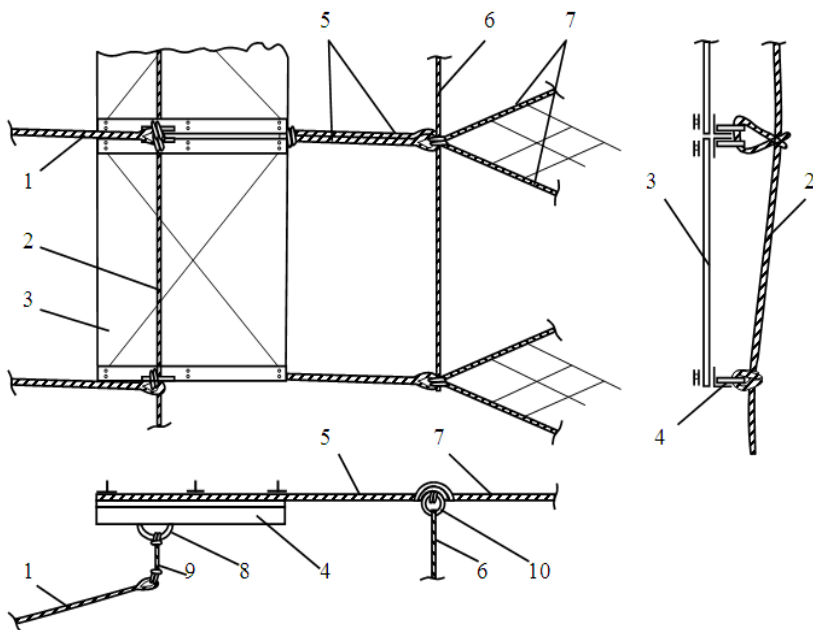


Рис. 8. Сборка основных узлов устройства раскрытия (вариант 2):
 1 – стропа щитков; 2 – сборочная щитков; 3 – щиток; 4 – уголок; 5 – оттяжка; 6 – стяжной трос; 7 – зубья сетной вставки; 8 – рым; 9 – стропа; 10 – кольцо

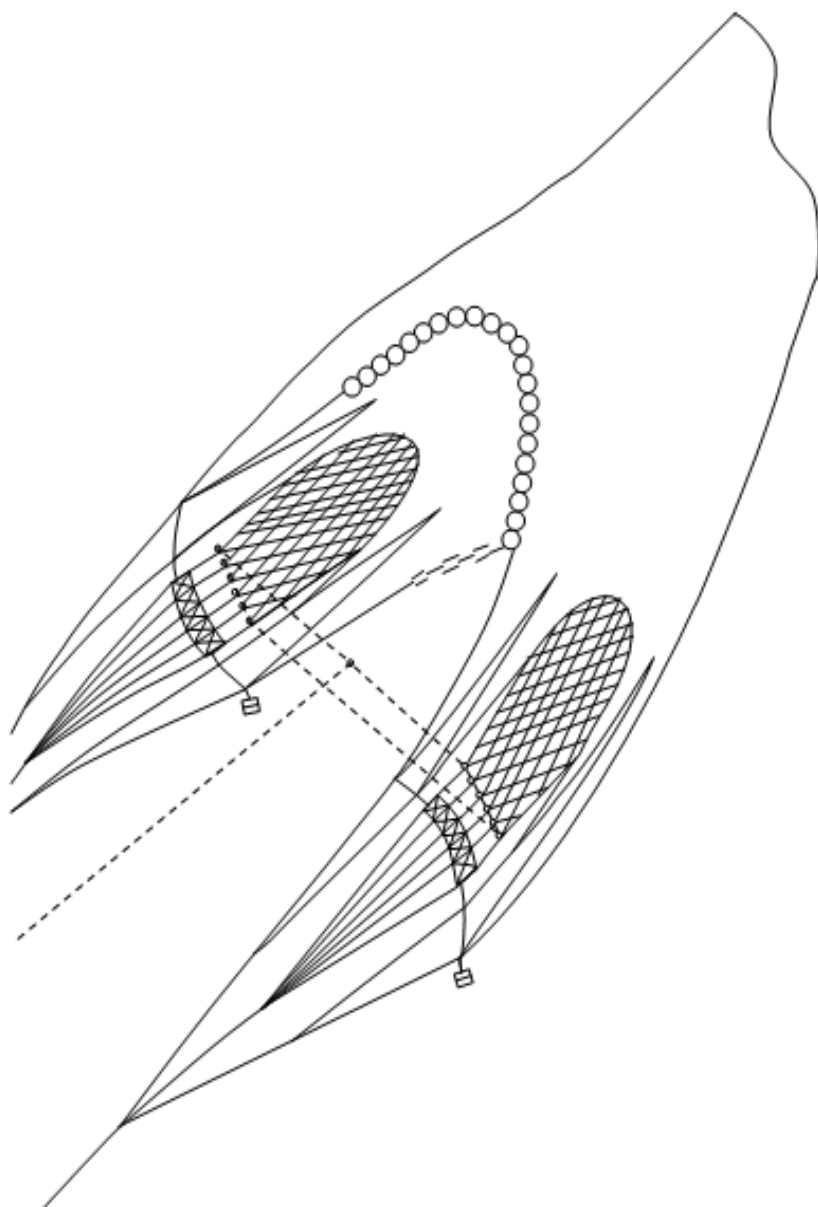


Рис. 9. Общий вид расположения ГДРУ на трале (вариант 2)

Особенности оснастки второго варианта ГДРУ состояла в следующем:

1. Вертикальная сборочная гидродинамических щитков перенесена с передней кромки по направлению к задней на 30 % длины щитков.

2. На продольных ребрах жесткости, выполненных из стандартных уголков 50x50 мм, предусмотрены специальные рымы для крепления сборочной щитков, возвышающихся над рабочей поверхностью распорного устройства. Таким образом, были заданы строительные углы атаки щитков.

Работа устройства раскрытия с заданными углами атаки в этом случае аналогична работе традиционных распорных устройств и имеет следующие особенности:

1. Для обеспечения раскрытия трала исключилась необходимость применения управляющего троса.

2. Закрытие входного устья трала осуществляется путем увеличения нагрузки в управляющем тросе.

Вследствие чего задние кромки щитков разворачиваются, и рабочая поверхность устройства раскрытия располагается поперек водного потока, т.е. углы атаки щитков становятся закритическими.

В этом случае величина распорной силы значительно уменьшается, чему способствует, помимо всего прочего, складывание задних кромок щитков за счет усилий стяжного троса.

Таким образом, используя незначительные усилия в управляющем тросе устройства, удается обеспечить схождение щитков и соответственно закрытие входного устья трала.

На сегодняшний день потребности рыбаков подталкивают конструкторов разрабатывать устройства горизонтального раскрытия тралов, которые позволяют экономить топливо, работать на сложных грунтах и при этом заботиться о сохранении бентоса. Устройства, позволяющие добиться таких результатов, и были рассмотрены в данной статье.

Библиографический список

1. *Добровинский С.С., Корнейчук Ю.А.* Промышленное рыболовство: Уч. пос. Владивосток: ДИПК, 2004. С. 116.

2. Веб страница PatentStorm <http://www.patentstorm.us/patents/5444933-description.html>.

3. Веб страница WikiPatents <http://www.wikipatents.com/patenthtml.php?id=5444933>.

4. Веб страница компании Nichimo в Интернете: <http://www.nichimo.co.jp/english/kaiyo/kenkyu/soft.html>.

5. *Бойцов А.Н., Висягин О.А., Зыкин В.И., Габрюк В.И., Осипов Е.В.* Результаты экспериментальных и теоретических исследований гидродинамического распорного устройства раскрытия и управления параметрами входного устья трала: Науч. отчет. Владивосток, 1994.

ДИСКРЕТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МЕЛЛИНА В ПРИМЕНЕНИИ К РЕШЕНИЮ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Л.Д. Полищук, Дальрыбвтуз, Владивосток

Рассмотрена реализация интегрального преобразования Меллина на ЦВМ. Получены дискретные выражения для прямого и обратного преобразований, и приведен их анализ.

Даны рекомендации по применению алгоритмов быстрого преобразования, которые существенно уменьшают число элементарных операций и экономят память ЦВМ.

Обработка гидроакустических сигналов часто предусматривает использование различных интегральных преобразований. Так, при определении энергетического спектра флуктуаций скорости движения рассеивателей по измеренным статистическим характеристикам реверберации широкое применение находит преобразование Меллина [1].

Преобразование Меллина $F(S)$ некоторой функции $f(t)$ определяется соотношением вида [2]

$$F(S) = \int_0^{\infty} f(t)t^{S-1}dt . \quad (1)$$

Существует обратное преобразование:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int F(S)t^{-S}dS , \quad (2)$$

где S – комплексная переменная.

При пользовании ЦВМ сигнал $f(t)$ представляется конечным числом N дискретных отсчетов по времени. Это означает замену интегрального преобразования (1) дискретным преобразованием Меллина (ДПМ). Рассмотрим реализацию дискретного преобразования Меллина на ЦВМ.

Положим, что на вход системы поступает непрерывная временная функция, имеющая вид суммы экспоненциальных составляющих

$$f(t) = a_1 e^{S_1(t)} + a_2 e^{S_2(t)} + \dots = \sum_{k=1}^m a_k e^{S_k(t)}, t > 0, f(t) = 0, t < 0, \quad (3)$$

где a_k – амплитуда экспоненциальных составляющих; S_k – полюсы преобразованного в комплексную плоскость сигнала, которые являются действительными или комплексно-сопряженными числами.

В частности, если сигнал гармонический с частотой ω , то его можно представить как:

$$f(t) = \cos \omega t = \frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2}. \quad (4)$$

Рассмотрим импульсную дискретизацию одной составляющей сигнала $f_k(t) = a_k e^{S_k t}$. Дискретизованный сигнал будет описываться значениями функции $f_k(t)$, взятыми в моменты времени $t_k = nT$, где T – интервал дискретизации. Тогда:

$$f_k[t_n] = \sum_{n=0}^{\infty} a_k e^{S_k t} \delta(t - nT), \quad (5)$$

где $\delta(x)$ – дельта-функция.

Выражение (5) представляет собой сумму запаздывающих импульсов с комплексными коэффициентами.

Поскольку преобразования Меллина запаздывающего импульса будет [3]

$$\int_0^{\infty} \delta(t - nT) t^{S-1} dt = (nT)^{S-1}, \quad (6)$$

то на основании общего свойства аддитивности интегральных преобразований с учетом (5), (6) получим ДПМ функции $f_k[t_n]$:

$$\int_0^{\infty} f_k[t_n] t_n^{S-1} dt_n = a_k (nT)^{S-1} \sum_{n=0}^{\infty} e^{nS_k T}. \quad (7)$$

При $|e^{S_k T}| < 1$ сумма в (7) является убывающей геометрической прогрессией, следовательно:

$$\int_0^{\infty} f_k[t_n] t_n^{S-1} dt_n = \frac{a_k (nT)^{S-1}}{1 - e^{S_k T}} \quad (8)$$

и ДПМ для функции (3) будет:

$$F[kS] = \sum_{k>0}^{N-1} \frac{a_k (nT)^{S-1}}{1 - e^{S_k T}}. \quad (9)$$

Если длительность сигнала $f(t)$ конечна, то (9) конечно и для реализации его на ЦВМ следует использовать методы быстрых преобразований, что существенно уменьшает число элементарных операций и экономит объем памяти.

Библиографический список

1. *Ольшевский В.В.* Статистические методы в гидролокации. Л.: Судостроение, 1973.
2. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. М.: Наука, 1973.
3. *Двайт Г.Б.* Таблицы интегралов и другие математические формулы. М.: Наука, 1973.

УДК 639.2.081.114 (088.8)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАЛОВОГО ПРОМЫСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

В.И. Семененко; В.В. Чернецов, Дальрыбвтуз, Владивосток

Обсуждается возможность повышения производительности тралового промысла без увеличения габаритов и скоростей буксировки тралов. Как один из способов достижения этих целей рассматривается возможность повышения скорости потока воды на отдельных участках трала с помощью нового оригинального устройства – камфузора.

Мировая рыбная промышленность и рыбная промышленность России, в частности, работает на ресурсах с высокой степенью неустойчивости. Сроки и районы лова смещаются в зависимости от времени года, от гидрологических и метеорологических условий. Поэтому требуется большая оперативность промысла, а следовательно, высокая надежность и производительность орудий добычи для обеспечения стабильного планового вылова рыбы.

В ряду наиболее производительных орудий промышленного рыболовства долгое время первенство по объему годового вылова занимает траловый лов. Это объясняется его всесезонностью, большой маневренностью, возможностью вести облов различных гидробионтов, как по грунту, так и в толще воды с довольно высоким уровнем механизации.

Но в последние годы отмечается снижение производительности тралового промысла при значительном росте габаритных размеров тралов и мощности силовых установок траулеров. К примеру, в семидесятых годах минтай, рыбу со средними энергетическими возможностями, облавливали среднетоннажные суда тралами с вертикальным раскрытием 6-10 м при скорости траления 2,5-3,5 уз и длительности трале-

ния 1-1,5 ч. В наше время на промысле этой рыбы крупнотоннажный флот, применяя тралы с вертикальным раскрытием свыше 50 м при скорости траления 4,5-5 уз, добывается промысловых уловов иногда только за 8-12 ч. Это можно объяснить несколькими факторами.

Рыбаки ведут лов живых организмов, которые реагируют на опасность и отвечают на нее защитными реакциями. Рыбы со временем могут адаптироваться к определенным условиям и способам их облова, вырабатывают приемы уклонения от опасности и даже противопоставляют ей свои защитные меры. Рыбная стая, например, в определенных ситуациях действует как единый организм, преобразуясь в шар с высокой скоростью движения периферийных рыб, создавая видимость большого тела, превосходящего в размерах врага, и излучает суммарное акустическое и электрическое поле [7]. При этом рыбы получают информацию об опасности не только от прямого восприятия хищника своими органами чувств, но и через информацию, идущую от периферийных рыб.

В восьмидесятые годы некоторые ученые пытались объяснить бурный рост габаритов тралов и скоростей траления. Например, кандидат технических наук Рыкунов Э.М. высказывал мнение, что рыба со временем учится распознавать и избегать тралов, шумовое поле которых ей уже известно, и предлагал чаще менять конструкцию тралов и траловой оснастки. Крупный исследователь поведенческих реакций рыб, доктор биологических наук Владимир Рустамович Протасов, предполагал, что в процессе эксплуатации определенного скопления рыб постепенно полностью вылавливаются особи с низкой энергетикой и чувствительностью к опасности, затем со средними «способностями» и так далее. С годами в этом скоплении начинают преобладать особи с высокой энергетикой и чувствительностью к опасности, т.е. идет ускоренная эволюция этого стада рыб. Исходя из практики сегодняшнего промысла минтая, оба эти предположения кажутся правомерными.

Перестроечные процессы в нашей стране вынудили рыбаков работать в ближних районах на внутренних ресурсах. Мощный промысловый пресс за короткое время привел к снижению сырьевых запасов отечественной экономической зоны. Добыча водных биоресурсов рыбаками Дальнего Востока значительно снизилась. Поэтому в ближайшие годы рыбная промышленность России вынуждена будет вернуться к ресурсам открытой части Мирового океана. Приближается цикл восстановления численности японской скумбрии и дальневосточной сардины. Возвращение в открытую часть океана к объектам лова, значительно превосходящим по энергетическим возможностям минтай, определенно потребует нового подхода к технике и тактике ведения тралового промысла.

Исследования с помощью подводных и телеметрических наблюдений за поведением рыб, вошедших в канатно-сетную оболочку трала, проводились рядом ученых [1, 2, 3, 5, 6, 8]. Они показали, что рыбы, имеющие крейсерскую скорость, сопоставимую со скоростью траления, свободно, не проявляя беспокойства, продвигаются внутрь трала до зоны так называемого критического уплотнения, перед которой разво-

рачиваются и продолжают движение вместе с тралом. Иногда отдельные рыбы выходят сквозь оболочку трала, но продолжают двигаться вместе с основной стаей рыб. Предполагают, что рыбы вступают в оптомоторную реакцию с сетной оболочкой трала. За зону критического уплотнения принимают водный объем, в котором расстояние между отдельными рыбами составляет меньше 0,5 длины рыбы. Зона критического уплотнения у крупногабаритных тралов обычно находится в районе мотни с диаметром от 14 до 10 м [8]. В конце траления, когда скорость буксировки трала значительно снижается из-за ограниченного тягового усилия траловых лебедок, часть рыбы свободно покидает трал. Предполагается, что улов формируется в основном за счет уставших рыб и не превышает 30 % от рыб, вошедших в трал [4].

Одним из путей повышения производительности промысла рыбы является воздействие искусственными физическими полями на ее органы ориентации. Проведенный нами анализ известных методов воздействия искусственными физическими полями на поведение рыб показал, что наиболее перспективной и экономичной может быть дезориентация рыб искусственным светом и переориентация оптомоторной реакции рыб внутрь трала, так как наиболее важным органом ориентации многих рыб является зрение. Для реализации этих методов нами ранее уже предлагались технические решения для осуществления этих методов. Это так называемый светотрал [8], показанный на рис. 1, и оптомоторный трал [9], показанный на рис. 2.

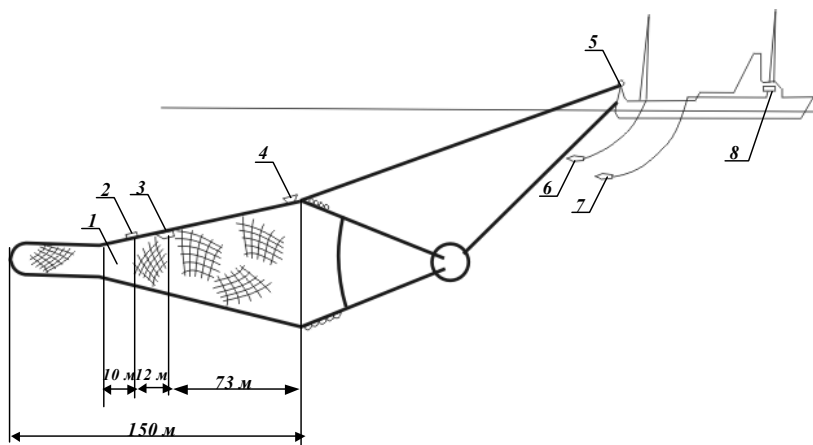


Рис. 1. Схема трала со световым оборудованием: 1 – траловый мешок; 2 – прибор контроля (устанавливается только при первичной настройке); 3 – импульсный светильник; 4 – траловый зонд; 5 – судно; 6 – параван тралового зонда; 7 – передатчик сигналов управления импульсным светильником; 8 – блок дистанционного управления

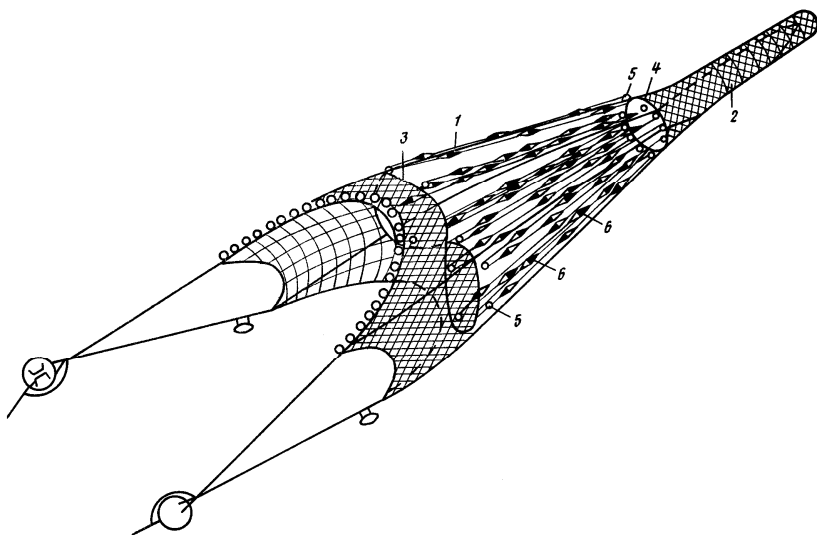


Рис. 2. Схематичное изображение оптомоторного трала

В настоящей статье мы предлагаем к реализации еще один возможный способ физического воздействия на рыбу, вошедшую в трал и вступившую в оптомоторную реакцию с оболочкой трала перед зоной критического уплотнения.

Как уже отмечалось, многие рыбы способны длительное время двигаться вместе с современными тралами, скорость буксировки которых не превышает 5 уз. Повышение этой скорости до 6 и более узлов позволяет свободно облавливать косяки даже таких скоростных рыб, как скумбрия и ставрида. Это доказано работой супертраулеров в ЮЗТО и в ЮВТО. При этом стало возможным применить так называемый непрерывный способ лова, когда рыба из трала постоянно откачивается через патрубок рыбо-насоса, закрепленный на концевой части тралового мешка.

Для судов, не имеющих возможности буксировать трал с такими скоростями, нами предлагается применить гидродинамическую вставку, получившую патент на изобретение (патент РФ № 76197, заявленный 14.03.08, № 2008109820, опубликован 10.09.08. Бюл. № 26, авторы Семенов В.И. и Чернецов В.В.).

Техническое решение этого предложения состоит в том, что с помощью гидродинамической вставки (камфузора) появляется возможность значительного увеличения скорости потока воды на определенном участке мотенной части трала. Если такой камфузор установить перед зоной критического уплотнения рыбы, то объект лова будет как бы втягиваться в траловый мешок, имеющий отцеживающий размер ячеи, и препятствовать его выходу в переднюю часть трала.

Камфузор (рис. 3 и 4) выполняется в виде полого усеченного конуса, изготовленного из водонепроницаемой мягкой ткани, например из лавсанового полотна, применяемого для изготовления судовых парусов. Входная образующая часть камфузора имеет отверстия по всему ее периметру, через которые камфузор крепится к внутренней стороне мотни, например, веревкой или капроновым шнуром.

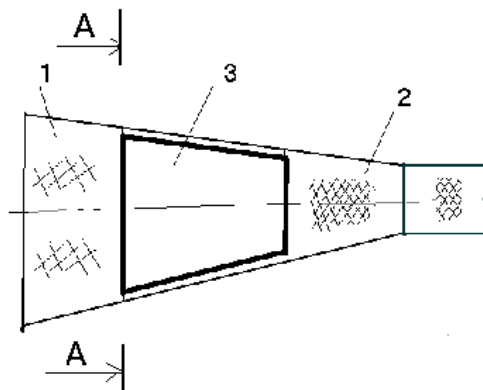


Рис. 3. Схема установки камфузора в трале: 1 – мотенная часть трала; 2 – преддуктовая часть трала; 3 – камфузор

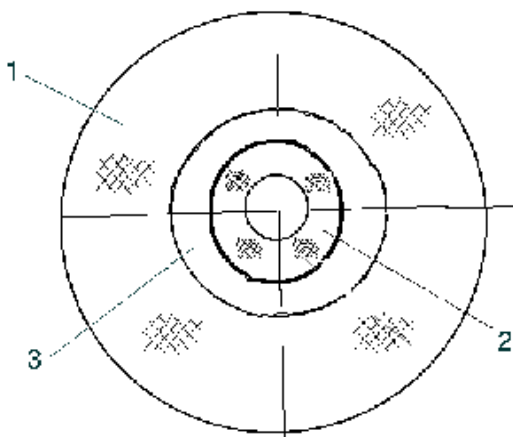


Рис. 4. Вид на камфузор по А – А

При буксировке трала судном скорость воды, протекающей через его сетную оболочку, на участке установки камфузора будет увеличи-

ваться на величину, равную отношению площади входного сечения камфузора к площади выходного сечения камфузора. Таким образом, на этом участке мотенной части трала при определенном соотношении входной и выходной площадей камфузора можно создать скорость потока воды, которая может превышать естественную критическую (бросковую) скорость движения гидробионтов (крупных рыб, кальмаров и др.), позволит направить их в сторону тралового мешка.

Высокая скорость будет препятствовать выходу ловимого объекта из трала и тем самым снизит потери улова.

Рассмотрим пример установки камфузора в мотенную часть трала 77,4/212 м, с которым мы проводили экспериментальные работы на промысле скумбрии, в промежутке между диаметрами мотни 14 м с площадью сечения 154 м² и 10 м с площадью сечения 78,5 м². Протяженность этого промежутка составляет 10 м. Очевидно, что при скорости траления, например 4 уз скорость водного потока на этом участке трала постепенно увеличится обратно пропорционально уменьшению площади сечения выходного отверстия, т.е. в 1,96 раза и составит 7,8 уз. Такая скорость будет непреодолима для большинства ловимых тралом рыб. Причем рыбы, оказавшиеся в зоне ускорения потока воды, будут как бы втягиваться внутрь трала и попадать вначале в зону критического уплотнения, а затем в траловый мешок, откуда рыба обычно не выходит, находясь в стесненном состоянии.

Естественно, что для каждой конструкции трала будут свои параметры камфузора и место их установки в мотенной части. Определить эти параметры можно по технической документации конкретного трала исходя из наших исследований [8], по которым критическая зона уплотнения рыбы находится обычно в районе мотни с диаметром от 14 до 10 м.

Организовать изготовление камфузоров можно практически на любой фабрике орудий лова или на предприятии «Геоток», которое занимается изготовлением плавучих якорей парашютного типа.

Проведение промысловых испытаний трала, оснащенного камфузором, предполагается на одном из судов рыбодобывающего флота.

Библиографический список

1. *Коротков В.К.* О поведении рыбы в трале // Рыб. хоз-во. 1969. № 7. С. 23-24.
2. *Коротков В.К., Кузьмина А.С.* Трал, поведение объекта лова и подводные наблюдения за ними. М.: Пищ. пром-сть, 1972. 297 с.
3. *Коротков В.К.* Реакция рыб на трал, технология их лова. Калининград, 1998. 397 с.
4. *Лисовой А.П.* Изучение поведения рыб в связи с совершенствованием орудий лова. М.: Наука, 1977. С. 30-33.
5. *Максимов Ю.М.* Характерные особенности защитного поведения пелагических рыб Мексиканского залива в зоне облова донного трала // Вопросы ихтиологии. 1976. Т. 16. Вып. 3 (98). С. 532-540.

6. *Обвинцев А.Л.* О взаимодействии объектов лова с тралом // Рыб. хоз-во. 1975. № 1. С. 48-51.

7. *Протасов В.Р.* Поведение рыб (механизмы ориентации рыб и их использование в рыболовстве). М.: Пищ. пром-сть, 1978. 265 с.

8. *Семенов В.И.* Световое траловое оборудование // Рыб. хоз-во. 2004. № 5. С. 47-50.

9. *Семенов В.И.* Использование зрительной оптомоторной реакции рыб для повышения эффективности промысла // Известия ТИНРО. Т. 152. 2008. С. 279-285.

УДК 534.222:681.883

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ДАЛЬНОЙ ЗОНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ И ПРИЕМА ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РЫБОПОИСКОВЫХ СИСТЕМ ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

**П.А. Стародубцев; В.В. Карасев; С.В. Гупорова,
Дальрыбвтуз, Владивосток**

Рассматриваются закономерности формирования дальней зоны излучения и приема акустических волн суммарной и разностной частоты в нелинейной морской среде. Обосновываются способы и реализующие их тракты формирования параметрических волн в дальней зоне излучающих и приемных гидроакустических систем. Приводятся примеры реализации параметрических эффектов при решении практических задач гидроакустики в рыбопоисковой отрасли.

Излучение близких по частоте акустических волн приводит к генерации в прилегающей к излучателю морской среде, содержащей газовые пузырьки и другие неоднородные (рыбные скопления), низкочастотных и высокочастотных параметрических составляющих суммарной и разностной частоты. Теоретически и экспериментально доказано, что интенсивность формирования параметрических волн очень низка и составляет единицы или доли процента от исходных (излучаемых) волн [1-3].

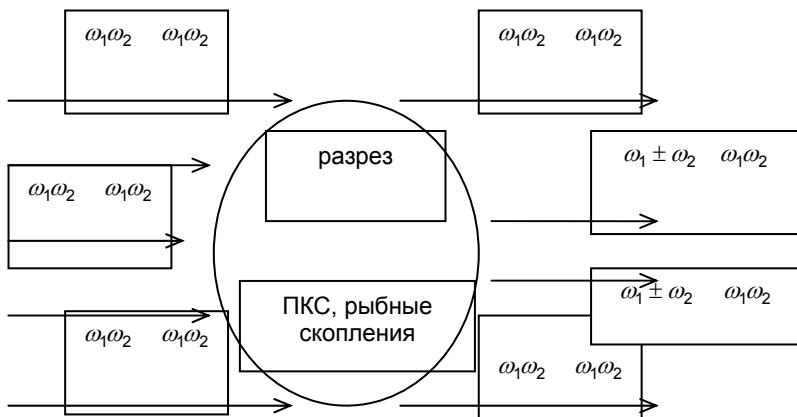
При этом в зависимости от насыщения среды пузырьками газа, а также от размеров и расположения общего объема рыбных скоплений, область параметрического взаимодействия излучаемых сигналов простирается на сотни метров (в случае излучения высокочастотных волн накачки), а для низкочастотных волн накачки (сотни герц – единицы килогерц) она может достигать нескольких тысяч метров [4].

Усиление интенсивности формирования параметрических волн суммарной и разностной частоты может осуществляться не только вблизи излучателя сигналов накачки, но и на более удаленных от него участках среды, содержащих газовые области (завесы) [5].

В этой связи следует напомнить о нелинейных свойствах и больших размерах пузырькового кильватерного следа (ПКС) рыболовецких судов, а также о скоплениях морских организмов: косяков рыб или звукорассеивающих слоев. Пространственные размеры ПКС могут составлять сотни метров-километры в длину и десятки-сотни метров в поперечнике (разрезе).

Преимущество использования повышенных нелинейных свойств ПКС при формировании параметрических сигналов заключается не только в их протяженности и объеме, но и в том, что они могут быть оперативно созданы в заданной точке «прозвучиваемой (исследуемой)» среды, а их продольная ось может быть сформирована в заданном направлении. В этом случае обеспечивается интенсивное усиление параметрического взаимодействия исходных звуковых волн и формирование (параметрическое переизлучение) инфранизкочастотных, а также высокочастотных волн в заданном «прозвучиваемом» направлении, а кильватерный след судна или область рыбных скоплений в этом случае представляет собой протяженную бестелесную пространственную параметрическую антенну бегущей волны.

Интенсивность параметрических составляющих суммарной и разностной частоты в данных антеннах выражается известной аналитической зависимостью [6, 7].



$$P_k(\omega_1 \pm \omega_2) = \frac{(\gamma + 1)\omega_1 \omega_2 P_1 P_2 l}{4\rho_0 c_0^3},$$

где P_k – давление комбинационных параметрических волн; $P_1 \omega_1, P_2 \omega_2$ – давления и частоты исходных волн близкой частоты; ρ_0, c_0 – плотность и скорость звука в среде; γ – коэффициент нелинейности среды; l – длина пути совместного распространения (взаимодействия) сигналов.

Испытания макетов экспериментальных параметрических систем выполнялись в различных вариантах. В первом случае была проверена и подтверждена возможность усиления интенсивности формирования высокочастотных параметрических сигналов суммарной частоты с использованием нелинейных свойств кильватерного следа рыболовецкого судна, а также при наличии в «прозвучиваемой (исследуемой)» среде рыбных скоплений. При реализации эффекта бестелесной антенны бегущей волны использовалась линейно-частотная модуляция «проектных» сигналов [8].

Во втором случае экспериментально была проверена и подтверждена закономерность направленного формирования (переизлучения) низкочастотных параметрических волн разностной частоты пузырьковой областью кильватерного следа рыболовецкого судна или рыбными скоплениями [9]. Так называемая бестелесная пространственно развитая антенна бегущей волны в этом случае формировалась в направлении его продольной оси (рис. 1).

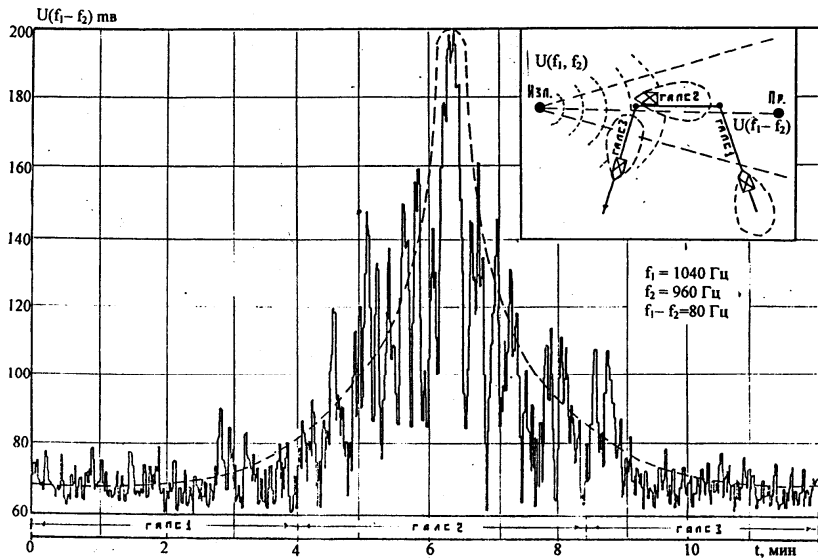


Рис. 1. Направленное формирование инфразвуковых сигналов

Гидроакустическая система, реализующая предлагаемый способ формирования дальней зоны излучения и приема гидроакустических преобразователей рыбопоисковых систем при нелинейном взаимодействии гидроакустических сигналов, состоит из излучающего и приемного трактов.

Излучающий тракт включает последовательно соединенные блоки: высокостабильные генераторы (формирователи сигналов близкой частоты); сумматор сигналов (блок геометрического суммирования); усилитель мощности; блок согласования (выхода усилителя с кабелем) и подводный излучатель.

Приемный тракт содержит: гидроакустическую антенну (из гидрофонов с предварительными усилителями); подводный кабель; основной (бортовой) усилитель; блок полосовых фильтров; анализатор спектров, а также регистраторы (самописец уровня и рекордер), вычислительное устройство (процессор или ПЭВМ). Макеты мобильных и стационарных экспериментальных систем контроля среды прошли натурные испытания, подтвердили свою надежность и эффективность. Усиление формируемых параметрических составляющих в ПКС корабля достигало $10 \div 15$ дБ.

Рассмотрим «просветную» активно-пассивную систему гидролокации морской среды как широкомасштабную приемоизлучающую параметрическую систему с низкочастотной накачкой среды. Энергия сигнала из точки излучения А в точку приема В (рис. 2) распространяется в пределах определенной области пространства, границы которой определяются на основе принципа Гюйгенса и построения зон Френеля.

На рис. 2 приведена качественная картина пространственной структуры зон Френеля между точками излучения и приема «просветных» сигналов. Каждая из зон (на рисунке они обозначены в порядке возрастания – $N_1 - N_5$) в пространстве образуют эллипсоиды вращения.

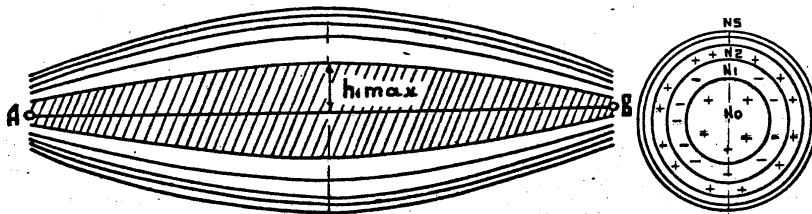


Рис. 2. Пространственная структура зон Фраунгофера между точками излучения-приема сигналов

Причем первая зона образует ту область пространства, которая в основном определяет перенос энергии «просветных» акустических волн из точки излучения в точку приема. Действия всех остальных зон в результате их попарной нейтрализации (вследствие отличия по фазе на 180°) эквивалентно действию примерно половины первой зоны. То есть, для того чтобы в точке приема получить энергию сигнала такой же величины, как и в свободном пространстве, необходимо, чтобы первая зона на всем пути распространения волн оставалась «чистой» от экранирования препятствиями или преобразования их рассеивающими неоднородностями. Радиус h зон номера n определяется по формуле Френеля.

$$h_n = \sqrt{\frac{R_1 R_2 \lambda n}{R_1 + R_2}},$$

где R_1, R_2 – расстояния, определяющие положение объекта на линии излучения – приема; λ – длина просветной акустической волны; n – номер зон Френеля (достаточно взять четное число первых зон, например, четыре).

В случае расположения объекта или нелинейной неоднородности среды в пределах пространства первой зоны Френеля будет происходить не только экранирование волн, но также их интенсивное параметрическое преобразование на рассеивающих неоднородностях. В этом случае, первая зона Френеля выполняет функции пространственной (бестелесной) параметрической антенны бегущей волны с низкочастотной накачкой [9-11]. При этом относительно классической параметрической антенны бегущей волны [12], формируемой с использованием ультразвуковой накачки среды в области излучателя или приемника сигналов, рассматриваемая антенна является симметричной (двухсторонней) приемоизлучающей.

В заключение необходимо отметить следующее. Закономерности параметрического преобразования акустических сигналов нелинейными областями пузырьковых кильватерных следов рыболовецких судов, а также рыбными скоплениями могут найти применение в «просветных» низкочастотных системах контроля морских акваторий, предназначенных для исследования океанской среды, структуры морского дна, а также решения других прикладных задач гидроакустики.

Библиографический список

1. Новиков Б.К., Тимошенко В.И. Параметрические антенны в гидролокации. Л.: Судостроение, 1990. 256 с.
2. Урик Р.Д. Нелинейные явления в гидролокаторе // Основы гидроакустики / Пер. с англ. Л.: Судостроение, 1978. С. 101-106.
3. Кобелев А.М., Сутин А.М. Генерация звука разностной частоты в жидкости с пузырьками газа разных размеров // Акуст. ж-л. 1980. Т. 26. № 6. С. 860-865.
4. Калачев А.И., Островский Д.В. Исследования ближнего поля параметрического излучателя // Акуст. ж-л. 1983. Т. 29. № 3. С. 406.
5. Назаров В.Е., Сутин А.М. Характеристики параметрического излучателя звука с пузырьковым слоем в дальней зоне // Акуст. ж-л. 1984. Т. 30. № 6. С. 803-807.
6. Зверев В.А., Калачев А.И. Модуляция звука звуком при пересечении акустических волн // Акуст. ж-л. 1970. Т. 16. № 2. С. 245-251.
7. Зверев В.А. Как зарождалась идея параметрической акустической антенны // Акуст. ж-л. 1999. Т. 45. С. 685-692.

8. *Мироненко М.В., Мироненко Т.А.* Способ обнаружения морских биологических объектов. Положительное решение на изобретение № 3565 от 23.09.1992 г.

9. *Мироненко М.В., Рокотов С.П.* Формирование в нелинейной водной среде параметрических сигналов разностной частоты: Межвузов. сб. статей. «Акустические антенны и преобразователи». Владивосток: ДВГУ, 1988. Вып. 10. С. 36-39.

10. *Зверев В.А., Калачев А.И.* Устройство для приема инфранизкочастотных колебаний. А.С. СССР № 422197. Бюл. Изобр. 1982. № 8. С. 277.

11. *Тернер Д.* Универсальный ультразвуковой гидролокатор с сигналом накачки. Пат. США. № 3. 870.988. 1975.

12. *Мироненко М.В., Мироненко А.М.* Метод дальнего параметрического приема акустических волн низкочастотного и инфранизкочастотного диапазонов: Сб. тр. 11-й сессии РАО. Т. 2. М.: ГЕОС, 2001. С. 222-225.

УДК 639.2.081.1.002

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЙКИ СТАВНЫХ НЕВОДОВ

О.В. Телятник, Дальрыбвтуз, Владивосток

В связи с возросшими объемами добычи лососей обеспечить соответствующие потребности промысловиков в качественных орудиях лова не представляется возможным. В силу нижерассматриваемых причин отсутствует современная технология постройки ставных неводов. Построенный по новой технологии невод был испытан на промысле и показал высокую эффективность.

Ставные невода являются распространенным орудием лова Дальнем Востоке. Только для промысла лосося эксплуатируется порядка 700 неводов. По экспертным оценкам для берегового вылова 400 тыс. т лосося в 2009 г. потребуются не менее 1000 неводов (500 – на Камчатке, 250 – на Сахалине, 150 – на Курилах, 100 – на северо-охотоморском побережье). Следовательно, существует проблема нехватки достаточно большого количества ставных неводов на предстоящей путине. Это связано с ограниченными техническими возможностями фабрик Дальнего Востока, с сокращением производства рыболовных материалов и ряду других причин.

На данную проблему откладывает свой отпечаток отсутствие конструкторской документации по ставным неводам и отраслевой технологической инструкции (ОТИ), что не позволяет обеспечить процесс изготовления ставных неводов на должном качественном уровне.

Необходимо учитывать сложность технологического процесса постройки ставных неводов, который заключается в том, что невода имеют большое количество комплекующих изделий: ловушек, садков, крыльев, оттяжек, пикулей и др., и практически весь технологический процесс состоит из ручных операций. Неоднозначный подход к технологическому процессу со стороны ФОЛов без должного контроля качества изготовления, а также без централизованного обеспечения руководствующих документов по стандартизации приводит к просчетам и ошибкам производства.

Проведенные исследования в этой области позволили нам сделать вывод, что к основным недостаткам существующей технологии изготовления ставных неводов относятся:

1. Несоответствие отдельных элементов (толщины нитки сетного полотна, размера ячеи) прочностным нагрузкам;
2. Неправильный раскрой сетной части невода приводит к провисанию дели, образованию мешков и порывам возле подбор;
3. Неравномерное распределение дели по подборам приводит к перекосу сетного полотна;
4. Бензельные узлы во всех канатных соединениях должны быть комбинированными (т.е. с пробивкой), не соблюдение этого правила приводит к авариям не только каркаса невода, но и порывам швов сетных деталей невода.

В соответствии с вышеизложенным, была построена общая технологическая схема (рис. 1), на основе которой была разработана новая технология изготовления ставного невода. Особое внимание было уделено усилению сетных пластин и деталей оснастки, несущих максимальные нагрузки.

Для этого сетное полотно по всему периметру посадки на подборы сшивается с опушкой и садится на веревочную цепочку (рис. 2, а). Усиливая верхнюю кромку сетного полотна таким способом, основное сетное полотно можно выбирать с более тонкой ниткой, например, 187 текс х 3, 187 текс х 4.

В большинстве случаев на фабриках сетное полотно выбирают с ниткой 187 текс х 6, 187 текс х 9, 187 текс х 12 и посадку на подборы производят без использования опушки (рис. 2, б).

Посадка на цепочку и пришивание опушки в отличие от традиционного метода позволяет снизить общий расход сетематериалов при изготовлении ставного невода на 40-50 %.

Другой метод, который применяют большинство промысловиков, заключается в следующем. При изготовлении крыльев применяется ступенчатый край (рис. 3). Крыло набирается из определенного числа литеров стандартной длины 30-50 м, но разной высоты. Так, если длина крыла составит 300 м, а максимальная глубина 10 м, то общее количество литеров составит 10, высотой от 2 до 11 м.

Ступенчатый край удобен в том случае, если крыло устанавливается там, где имеется неровное дно или существует значительный перепад глубин. Но, как показывает практика, в большинстве случаев преимущество имеет ровный край (рис. 3).

При ровном крае ускоряется сборка крыла, уменьшается количество литров и не образуется слабина дели возле нижней подборы.

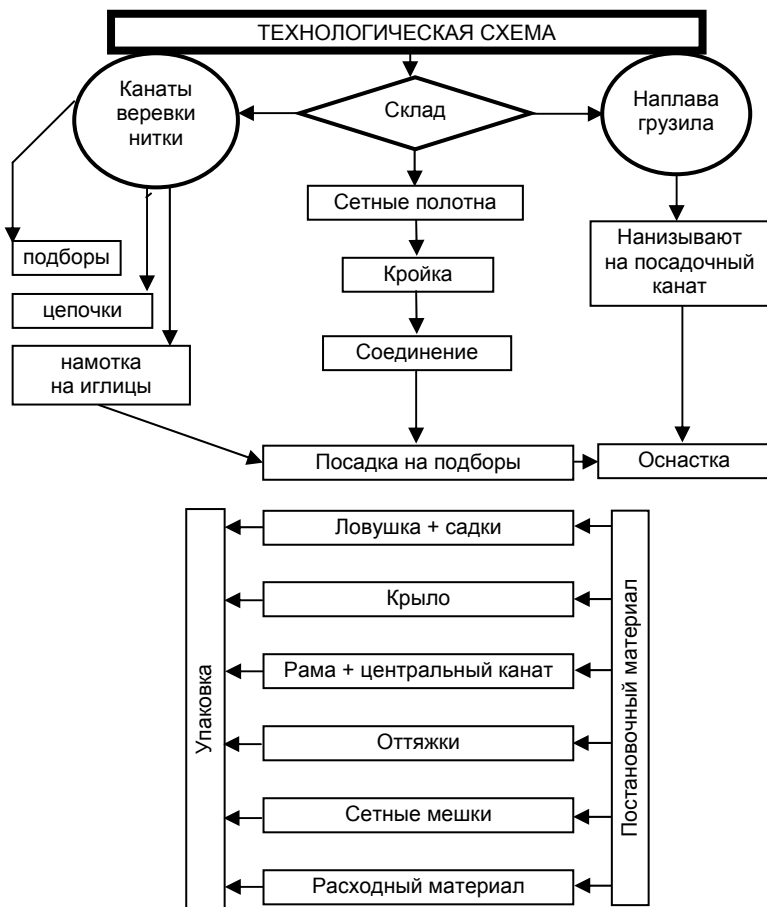


Рис. 1. Технологическая схема постройки ставного невода

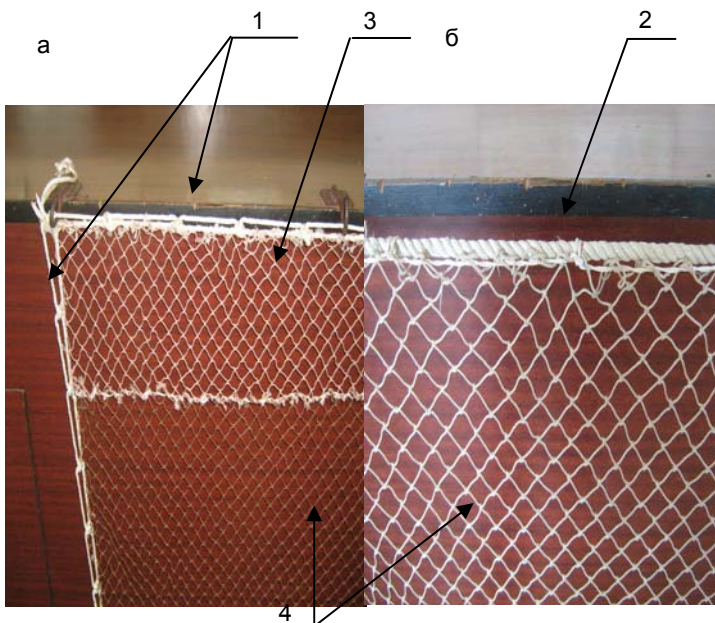


Рис. 2. Посадка на подборы: а – на цепочку, б – на канат:
1 – цепочка; 2 – канат; 3 – опушка; 4 – основное сетное полотно

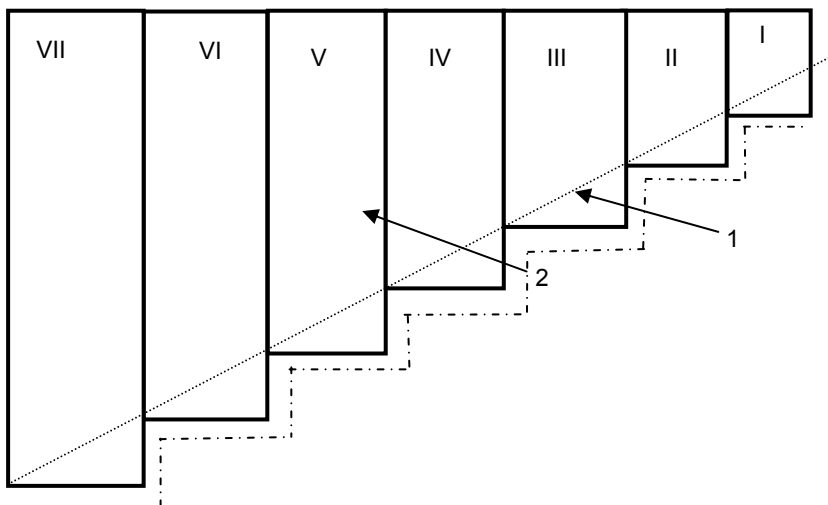


Рис. 3. Крыло в сборе: 1 – линия ступенчатого края, 2 – линия ровного края;
I-VII – литера крыльев

Одной из объемных технологических работ по изготовлению ставного невода являются такелажные работы. К ним относятся изготовление внутреннего каркаса. Это наиболее важная деталь, которую, как правило, выполняют в виде замкнутого контура. Все перекрестные связи в канатных элементах выполняются бензельными узлами, которые при несоблюдении правил выполнения такелажных работ приводят к их переползанию.

Для более качественного изготовления внутреннего каркаса и для удобства его сборки нами разработан следующий способ. В начале составляют план изготовления внутреннего каркаса (рис. 4). По этому плану строят таблицу характеристик канатных элементов внутреннего каркаса (табл. 1).

Таблица 1

**Характеристики канатных элементов внутреннего каркаса
невода 118 x 22 x 10,5 м**

№ п/п	Диаметр, мм	Длина, м	Длина заготовки, м	Количество	Общая длина, м
1	18	2	3	2	6
2	18	5	6	4	24
3	18	5,5	6,5	4	26
4	18	7	8	4	32
5	18	9	10	4	40
6	18	10	11	2	22
7	18	15	16	4	64
8	18	16	17	6	102
9	18	21	22	4	88
10	18	30	31	4	124
Итого					528

Используя данные табл. 1, определяют общую длину каната, необходимую для изготовления внутреннего каркаса, количество канатных элементов и их длину с учетом заделки огонов.

Учитывая вышеперечисленные недостатки, а также в результате многолетних опытных работ, проведенных на фабриках орудий лова и на промысле, была разработана и построена по новой технологии оптимальная конструкция ставного невода для промысла лосося (рис. 5), характеристики которого приводятся ниже.

Характеристики невода, показанного на рис. 5, сведены в табл. 2.

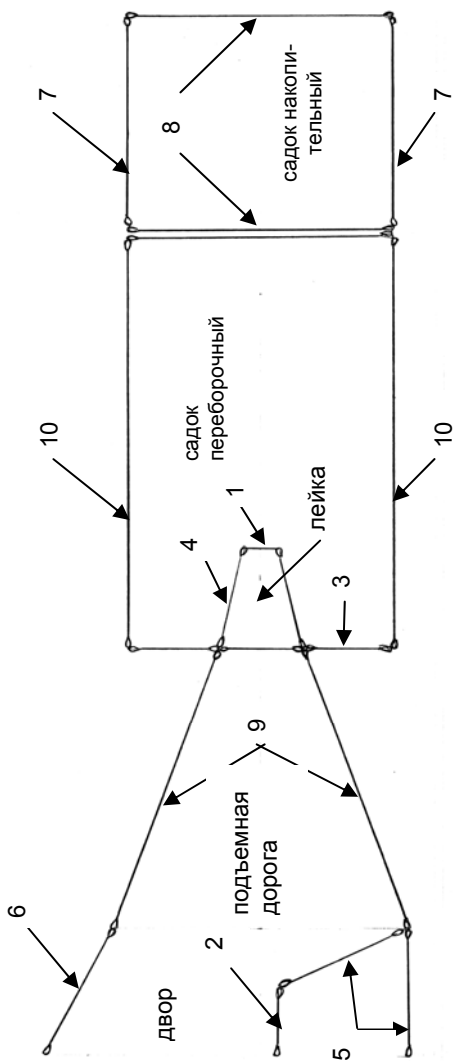


Рис. 4. План (схема) изготовления внутреннего каркаса ставного невода (показана половина невода):
 1 – 2 м (2 шт.), 2 – 5 м (4 шт.), 3 – 5,5 м (4 шт.), 4 – 7 м (4 шт.), 5 – 9 м (4 шт.), 6 – 10 м (2 шт.), 7 – 15 м (4 шт.),
 8 – 16 м (6 шт.), 9 – 21 м (4 шт.), 10 – 30 м (4 шт.)

Таблица 2

Характеристики ставного невода 118 x 22 x 10,5 м

Характеристика Наименование	Масса сетной части, кг	Масса подбор, кг	Масса наплавов, кг (шт.)	Масса грузов, кг (шт.)	Итого
Двор	80-120	70-100	60(130)	40 (80)	250-320
Подъемная дель	50-70x2	70-100	115 (250)	90 (180)	375-445
Лейка	6-8x2	0,8-1,2	4,5 (28)	7 (24)	24,5-29,0
Садок	100-50x4	20-30	410 (900)	50 (100)	880-1090
Крыло (500м)	250-300	50-75	-	500*	300-375
Итого	842-1176	211-306	591	187	1830-2260

* Примечание. В комплект не входит.

В табл. 2 указаны следующие комплектующие изделия:

1. Наплава Ц30 ОСТ 15-371-87 для лейки Ц10;
2. Грузила А-0.5 ОСТ 15 180-78 для лейки А-0,3.

Характеристики арматуры для невода, показанного на рис. 5 сведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики арматуры (канат Dan-Line d = 28 мм)

Характеристика Наименование	Длина каната, м	Масса каната, кг	Масса наплавов, кг (шт)	Итого
Центральный	600	213	228 (240)	441
Рама	364	129	143 (150)	272
Итого	964	342	270 (284)	713

Примечание. В табл. 3 указаны наплава Ц60 ОСТ 15-371-87

Характеристики постановочного материала невода, показанного на рис. 5, сведены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристики постановочного материала

Характеристика Наименование	Диаметр каната, мм	Длина каната, м	Масса, кг	Примечание
Растяжки	13	6x24=144	15	
Оттяжки * (1 часть)	22	25x55=1375	412	Капроновые
Оттяжки (2 часть)	27	25x55=1375	932	п/проп.-сталь
Мешки**			5x55=275	
Якоря***			(100x5=5500)	
Канат для мешков	8	3x55=165	7	
Итого			1640 (6858)	

Примечание.

*Оттяжки применяются комбинированные.

** Дель вер. капр. в два сложения 4,0-93,5 текс К-60. ТУ 15-08-286-86 (для камней).

*** Якоря могут использоваться взамен мешков с камнями.

Выводы

Обеспечить все более возрастающие потребности промысловиков в качественных орудиях лова для промысла лосося не представляется возможным. В силу вышерассмотренных причин отсутствует современная технология постройки ставных неводов.

В основу разработанной нами технологии было положено повышение прочностных характеристик основных элементов ставного невода. Для этого, во-первых, сетное полотно по всему периметру посадки на подборы сшивается с опушкой и садится на веревочную цепочку. Такой метод позволяет снизить сопротивление сетной части невода и уменьшить расходы сетного полотна на 40-50 %. Во-вторых, выкраивая крыло вышерассмотренным способом, добиваемся ускоренной сборки крыла, уменьшается при этом количество литеров и не образуется слабина дели возле нижней подборы. В-третьих, для более качественного изготовления каркаса и для удобства его сборки разработанный способ позволил быстро и экономно спланировать технологический процесс, подготовить точно в соответствии с проектом необходимое количество материала. В целом экономия материалов на постройку одного невода по новой технологии составляют 30 % в сравнении с однотипными.

Построенные по нашей технологии ставные невода были проверены на промысле на Камчатке, Сахалине и Курилах и показали высокую эффективность. Основные характеристики таких неводов приводятся в статье (табл. 2-4).

Библиографический список

1. *Старовойтов А.Н., Рассадников О.А.* Прогнозируемый и фактический вылов тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Итоги 2008 г., взгляд на путину – 2009 // Бюл. № 3 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». Владивосток: ТИПРО-центр, 2008. С. 245-251.
2. *Телятник О.В.* Обзор промысла лосося ставными неводами // Изв. ТИПРО-центра. 2006. Т. 147. С. 397-407.