

УДК 639.2.081.117

В.И. Габрюк, Е.Е. Мазур

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАЛОВЫХ ДОСОК
ПРИ ПЕЛАГИЧЕСКОМ ТРАЛЕНИИ**

Аналитически исследуется устойчивость движения траловых досок при пелагическом тралении. На примере прямоугольной цилиндрической доски проекта 2490 показано, что выпускаемые промышленностью траловые прямоугольные цилиндрические доски обладают большим запасом устойчивости по углу атаки, но не обладают запасом устойчивости по углу крена, поэтому в конструкцию необходимо внести изменения для обеспечения их устойчивости по крену.

Ключевые слова: траловые доски, пелагическое траление, гидродинамические силы.

V.I. Gabruk, E.E. Mazur

**RESECHING STABILITY OF TRAWL DOORS MOTION
FOR PELAGIC TRAWLING**

At this article we research stability of trawl doors motion. As an example we analyze trawl door type 2490, and find that this type of door have a reserve stability of attack angle, but not have a reserve stability of list angle.

Key words: mrawl doors, pelagic trawling, hydrodynamic forces.

Для устойчивого движения траловых досок поток воды должен плавно обтекать все элементы доски без срывов и образования вихрей [1].

Плавность обтекания досок нарушается в двух случаях:

- когда угол атаки доски больше критического, в этом случае поток срывается с задней кромки доски;
- когда поток набегает на стрингеры под некоторым углом, называемым углом скольжения потока β , рис. 1. В этом случае поток срывается с острых кромок стрингеров.

Таким образом, для плавного обтекания траловых досок необходимо выполнение двух условий:

- угол атаки доски должен быть меньше критического ($\alpha < \alpha_{кр}$);
- скорость потока должна быть параллельна стрингерам, в этом случае поток плавно обтекает стрингеры и угол $\beta = 0$.

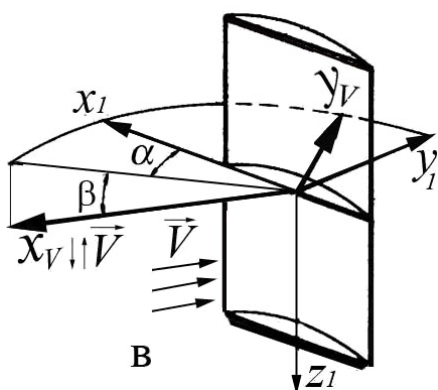


Рис. 1. Угол атаки доски α и угол скольжения потока относительно доски β : $x_1 y_1 z_1$ – связанная с доской система координат (ССК); $x_V y_V z_V$ – поточная система координат доски (ПСК)

Fig. 1. Attack angle α and angle stream sliding β : $x_1 y_1 z_1$ – united with door system coordinates; $x_V y_V z_V$ – stream system coordinates of door

Если хотя бы одно из этих условий не выполняется, то поток будет срываться либо с задней кромки доски, либо со стрингеров (либо одновременно с обоих указанных выше элементов доски). Срыв потока сопровождается образованием больших вихрей [2]. Каждый сорвавшийся вихрь сообщает доске толчок (импульс), делая ее движение неустойчивым.

На промысле устойчивого движения доски добиваются её настройкой, которая заключается в задании соответствующего угла между дугой и доской δ и выборе точек крепления дуги, лапок и ваера к доске. Для этого на доске предусмотрено несколько отверстий для крепления дуги, ваера и лапок.

Например, у доски проекта 2490 предусмотрено три отверстия для крепления дуги A_1, A_2, A_3 , три отверстия – для крепления ваера O_1, O_2, O_3 , четыре отверстия – для крепления верхней лапки E_1 и пять отверстий – для крепления нижней лапки E_2 , рис. 2.

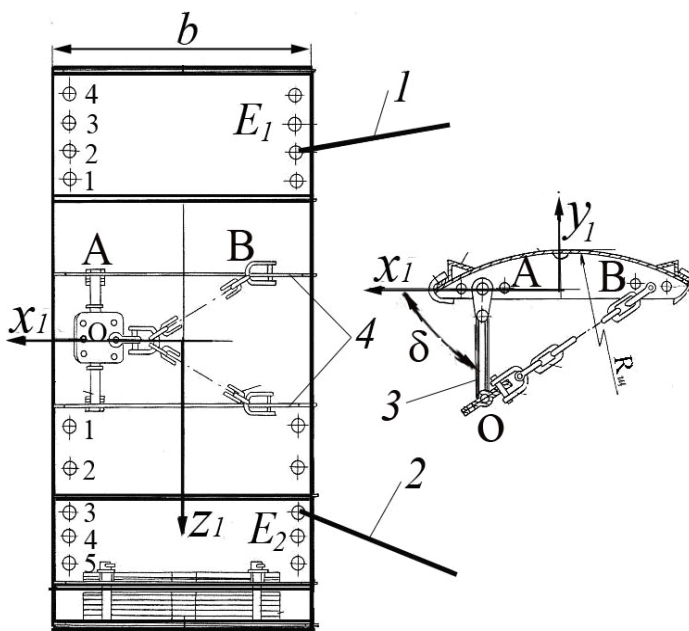


Рис. 2. Доска прямоугольная цилиндрическая проекта 2490. Руководитель проекта П.П. Аугулис: 1 – верхняя лапка (закреплена во второе отверстие сверху); 2 – нижняя лапка (закреплена в третье отверстие снизу); 3 – дуга (закреплена во второе отверстие стрингеров 4); 4 – стрингеры для крепления дуги
Fig. 2. Door square cylinder 2490 P.P. Augulis: 1 – up fluke; 2 – down fluke; 3 – arc; 4 – stringer

Координаты точек крепления ваера (x_0, y_0, z_0) , верхней (x_1, y_1, z_1) и нижней (x_2, y_2, z_2) лапок должны быть выбраны таким образом, чтобы выполнялись условия равновесия доски:

$$\begin{aligned} \Sigma M_{z_1}(\vec{F}_k) = 0 &\Rightarrow a_2 x_0 - a_1 y_0 = b_1, \\ \Sigma M_{y_1}(\vec{F}_k) = 0 &\Rightarrow a_3 x_0 - a_1 z_0 = b_2, \\ \Sigma M_{x_1}(\vec{F}_k) = 0 &\Rightarrow a_3 y_0 - a_2 z_0 = b_3. \end{aligned} \quad (1)$$

Величины, входящие в (1), определяются по формулам: при любой схеме лапок:

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q \sin \alpha \sin \lambda; \quad Q_2 = Q \cos \alpha \sin \lambda; \quad Q_3 = Q \cos \lambda; \\ R_1 &= (R_{XV} \cos \alpha + R_{YV} \sin \alpha); \quad R_2 = (-R_{XV} \sin \alpha + R_{YV} \cos \alpha); \quad R_3 = R_{ZV}; \\ R_{XV} &= C_{XV} (0,5 \rho V^2) S, \quad (x_V, y_V, z_V); \end{aligned}$$

при четырёхугольной (раздельной) схеме лапок:

$$\begin{aligned}
 a_i &= R_i + Q_i + T_{1i} + T_{2i}, \quad i = 1; 2; 3; \\
 b_1 &= T_{12}x_1 - T_{11}y_1 + T_{22}x_2 - T_{21}y_2 + R_2x_D - R_1y_D + Q_2x_C - Q_1y_C, \\
 b_2 &= T_{13}x_1 - T_{11}z_1 + T_{23}x_2 - T_{21}z_2 + R_3x_D - R_1z_D + Q_3x_C - Q_1z_C, \\
 b_3 &= T_{13}y_1 - T_{12}z_1 + T_{23}y_2 - T_{22}z_2 + R_3y_D - R_2z_D + Q_3y_C - Q_2z_C, \\
 T_{i1} &= T_i(\sin\alpha \sin\lambda \sin\theta_i \cos\nu_i - \cos\alpha \cos\theta_i \cos\nu_i - \sin\alpha \cos\lambda \sin\nu_i); \\
 T_{i2} &= T_i(\cos\alpha \sin\lambda \sin\theta_i \cos\nu_i + \sin\alpha \cos\theta_i \cos\nu_i - \cos\alpha \cos\lambda \sin\nu_i); \\
 T_{i3} &= T_i(\sin\lambda \sin\nu_i + \cos\lambda \sin\theta_i \cos\nu_i); \quad i = 1; 2 \\
 T_1 &= \frac{0,5R_X^T \sin(\theta_2 - \theta)}{\cos\theta \cos\nu_1 \sin(\theta_2 - \theta_1)}, \quad T_2 = \frac{0,5R_X^T \sin(\theta - \theta_1)}{\cos\theta \cos\nu_2 \sin(\theta_2 - \theta_1)},
 \end{aligned}$$

где T_1, T_2 – натяжения верхнего/нижнего кабелей; T_{ij}, R_i, Q_i – проекции натяжений кабелей, гидродинамической силы доски и веса доски в воде на оси связанной с доской системы координат; $(x_0, y_0, z_0), (x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)$ – координаты точки O крепления ваера и координаты точек крепления верхней E_1 и нижней E_2 лапок к доске в связанной с доской системе координат $x_1y_1z_1$, рис. 3.

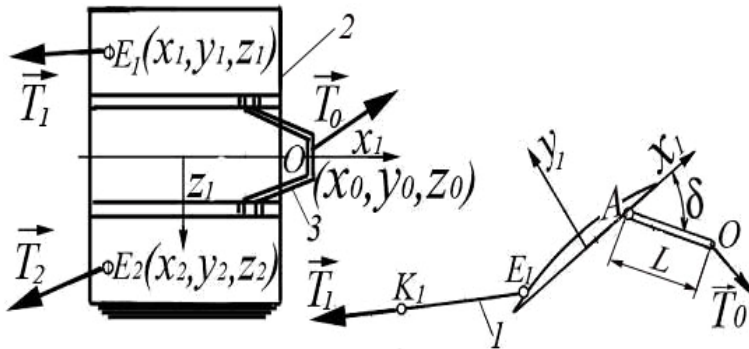


Рис. 3. Характеристики доски при четырехугольной (раздельной) схеме лапок: 1 – лапки; 2 – щиток доски; 3 – траловая дуга
 Fig. 3 Characteristic of trawl door with quadrangle type combination flukes: 1 – fluke; 2 – door’s dashboard; 3 – trawl arc

При треугольной схеме лапок (лапки соединяются в одной точке К, рис. 4):

$$\begin{aligned}
 a_i &= R_i + Q_i + T_i^0, \quad i = 1; 2; 3 \\
 b_1 &= x_E T_2^0 + x_D R_2 + x_C Q_2 - y_E T_1^0 - y_D R_1 - y_C Q_1; \\
 b_2 &= x_E T_3^0 + x_D R_3 + x_C Q_3 - z_E T_1^0 - z_D R_1 - z_C Q_1; \\
 b_3 &= y_E T_3^0 + y_D R_3 + y_C Q_3 - z_E T_2^0 - z_D R_2 - z_C Q_2; \\
 T_1^0 &= (\sin\alpha \sin\lambda \operatorname{tg}\theta - \cos\alpha - \sin\alpha \cos\lambda \operatorname{tg}\nu / \cos\theta)(0,5R_X^T); \\
 T_2^0 &= (\cos\alpha \sin\lambda \operatorname{tg}\theta + \sin\alpha - \cos\alpha \cos\lambda \operatorname{tg}\nu / \cos\theta)(0,5R_X^T); \\
 T_3^0 &= (\cos\lambda \operatorname{tg}\theta + \sin\lambda \operatorname{tg}\nu / \cos\theta)(0,5R_X^T),
 \end{aligned}$$

где T_1^0, T_2^0, T_3^0 – проекции натяжения одинарного кабеля на оси связанной с доской системы координат; x_E, y_E, z_E – координаты точки E пересечения линии одинарного кабеля K_0K с прямой E_1E_2 в связанной с доской системе координат $(x_1y_1z_1)$, рис. 4.

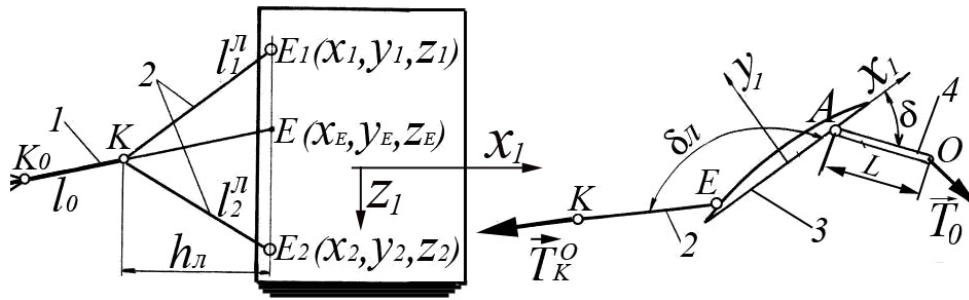


Рис. 4. Параметры доски при треугольной схеме лапок: 1 – одинарный кабель; 2 – лапки доски; 3 – щиток доски; 4 – дуга

Fig. 4. Characteristic of trawl door with triangular type combination flukes: 1 – cable; 2 – door's flukes; 3 – door's dashboard; 4 – trawl arc

Система (1) будет непротиворечивой, если выполняется вытекающее из теоремы Кронекера-Капелли условие совместности:

$$a_1 b_3 + a_3 b_1 - a_2 b_2 = 0,$$

раскрывая которое, получим:

для четырёхугольной схемы лапок:

$$\begin{aligned} & x_1(a_2 T_{13} - a_3 T_{12}) + y_1(a_3 T_{11} - a_1 T_{13}) + z_1(a_1 T_{12} - a_2 T_{11}) + \\ & + x_2(a_2 T_{23} - a_3 T_{22}) + y_2(a_3 T_{21} - a_1 T_{23}) + z_2(a_1 T_{22} - a_2 T_{21}) + \\ & + x_D(a_2 R_3 - a_3 R_2) + y_D(a_3 R_1 - a_1 R_3) + z_D(a_1 R_2 - a_2 R_1) + \\ & + x_C(a_2 Q_3 - a_3 Q_2) + y_C(a_3 Q_1 - a_1 Q_3) + z_C(a_1 Q_2 - a_2 Q_1) = 0; \end{aligned} \quad (2)$$

для треугольной схемы лапок:

$$\begin{aligned} & x_E(a_2 T_3^0 - a_3 T_2^0) + y_E(a_3 T_1^0 - a_1 T_3^0) + z_E(a_1 T_2^0 - a_2 T_1^0) + \\ & + x_D(a_2 R_3 - a_3 R_2) + y_D(a_3 R_1 - a_1 R_3) + z_D(a_1 R_2 - a_2 R_1) + \\ & + x_C(a_2 Q_3 - a_3 Q_2) + y_C(a_3 Q_1 - a_1 Q_3) + z_C(a_1 Q_2 - a_2 Q_1) = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Так как все отверстия для крепления лапок лежат на одной прямой параллельной оси z_1 , то выполняются следующие условия:

$$x_1 = x_2 = x_E, \quad y_1 = y_2 = y_E. \quad (4)$$

Если используется дуга для крепления ваера к доске, то выполняются соотношения:

$$x_0 = x_A + L \cos \delta, \quad y_0 = y_A + L \sin \delta, \quad (5)$$

где x_A, y_A – координаты точки А крепления дуги к доске; L – длина дуги; δ – угол между дугой и доской, см. рис. 2.

Из трех моментных уравнений равновесия доски (1) независимыми являются только два [3]. Условия равновесия (1), совместности (2), геометрические условия (4), (5) позволя-

ют определить шесть координат из одиннадцати $(x_A, y_A, x_0, y_0, z_0; x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2)$, пятью координатами $(x_A, y_A, x_2, y_2, z_2)$ при этом приходится задаваться. Однако ими нельзя задаваться произвольно. Их необходимо выбирать таким образом, чтобы равновесие доски было устойчивым, так как от устойчивого движения траловых досок зависит устойчивость движения всего тралового комплекса.

Условия плавного обтекания траловых досок $\alpha < \alpha_{кр}$ и $\beta = 0$ являются только необходимыми, но недостаточными условиями устойчивого равновесия траловых досок.[4]

В положении равновесия траловой доски ее углы атаки α и крена λ имеют определенные значения, а главные моменты действующих на доску сил равны нулю, т.е. $M_{X_1} = M_{Y_1} = M_{Z_1} = 0$.

Случайные воздействия могут вывести доску из положения равновесия, при этом углы α и λ получают приращения $\Delta\alpha$ и $\Delta\lambda$ и возникают отличные от нуля главные моменты $\Delta M_{X_1}, \Delta M_{Z_1}$.

Равновесие доски устойчиво в малом, если при малых ее отклонениях от положения равновесия возникают моменты ΔM_{X_1} и ΔM_{Z_1} , стремящиеся вернуть ее в положение равновесия. Это возможно только тогда, когда знаки главных моментов $\Delta M_{X_1}, \Delta M_{Z_1}$ и приращений углов $\Delta\alpha$ и $\Delta\lambda$ противоположны, что аналитически выражается неравенствами:

$$M_{X_1}^\lambda = \partial M_{X_1} / \partial \lambda < 0; \quad M_{Z_1}^\alpha = \partial M_{Z_1} / \partial \alpha < 0, \quad (6)$$

где верхними индексами λ и α обозначены производные по этим переменным.

Раскрывая неравенства (6), получим:

при четырехугольной схеме лапок:

$$M_{Z_1}^\alpha = (x_D - x_0)\tilde{R}_2^\alpha - (y_D - y_0)\tilde{R}_1^\alpha + (x_C - x_0)Q_2^\alpha - (y_C - y_0)Q_1^\alpha + (x_1 - x_0)\tilde{T}_{12}^\alpha - (y_1 - y_0)\tilde{T}_{11}^\alpha + (x_2 - x_0)\tilde{T}_{22}^\alpha - (y_2 - y_0)\tilde{T}_{21}^\alpha + x_D^\alpha \tilde{R}_2 < 0; \quad (7)$$

$$M_{X_1}^\lambda = (y_C - y_0)\tilde{Q}_3^\lambda + (z_C - z_0)\tilde{Q}_2^\lambda + (y_1 - y_0)\tilde{T}_{13}^\lambda - (z_1 - z_0)\tilde{T}_{12}^\lambda + (y_2 - y_0)\tilde{T}_{23}^\lambda - (z_2 - z_0)\tilde{T}_{22}^\lambda < 0; \quad (8)$$

при треугольной схеме лапок:

$$M_{X_1}^\lambda = y_E \tilde{T}_3^\lambda - z_E \tilde{T}_2^\lambda - z^\lambda \tilde{T}_2 - y_0 (\tilde{T}_3^\lambda - \tilde{Q}_3^\lambda) + z_0 (\tilde{T}_2^\lambda + \tilde{Q}_2^\lambda) + y_C \tilde{Q}_3^\lambda - z_C Q_2^\lambda < 0; \quad (9)$$

$$M_{Z_1}^\alpha = x_E \tilde{T}_2^\alpha - y_E \tilde{T}_1^\alpha - x_0 (\tilde{R}_2^\alpha + \tilde{T}_2^\alpha + \tilde{Q}_2^\alpha) + x_D \tilde{R}_2^\alpha - y_D \tilde{R}_1^\alpha + y_0 (\tilde{R}_1^\alpha + \tilde{T}_1^\alpha + \tilde{Q}_1^\alpha) + x_C \tilde{Q}_2^\alpha + y_C \tilde{Q}_1^\alpha + x_D^\alpha \tilde{R}_2 < 0, \quad (10)$$

где $\tilde{T}_i, \tilde{R}_i, \tilde{Q}_i$ – проекции сил $\vec{T}, \vec{R}, \vec{Q}$ на связанные с доской оси, отнесенные к половине сопротивления трала, т.е. $\tilde{T}_i = T_i / (0,5R_X^T)$; верхние индексы α и λ означают производные по углу атаки и углу крена доски, т.е. $\tilde{R}_i^\alpha = \partial \tilde{R}_i / \partial \alpha, \tilde{R}_i^\lambda = \partial \tilde{R}_i / \partial \lambda$.

Производные от проекций сил по углам α и λ , когда траление осуществляется параллельно течению, определяются по формулам:

при любой схеме лапок доски:

$$\begin{aligned}\tilde{Q}_1^\alpha &= \tilde{Q} \cos \alpha \sin \lambda; & \tilde{Q}_2^\alpha &= -\tilde{Q} \sin \alpha \sin \lambda; \\ \tilde{Q}_2^\lambda &= \tilde{Q} \cos \alpha \cos \lambda; & \tilde{Q}_3^\lambda &= -\tilde{Q} \sin \lambda; \\ \tilde{R}_1^\alpha &= \tilde{S} \left(C_{XV} |\sin \alpha - C_{XV}^\alpha \cos \alpha + C_{YV} \cos \alpha + C_{YV}^\alpha \sin \alpha \right); \\ \tilde{R}_2^\alpha &= \tilde{S} \left(C_{XV} |\cos \alpha + C_{XV}^\alpha \sin \alpha - C_{YV} \sin \alpha + C_{YV}^\alpha \cos \alpha \right);\end{aligned}$$

при четырёхугольной схеме лапок доски:

$$\begin{aligned}\tilde{T}_{i1}^\alpha &= \tilde{T}_i (\sin \alpha \cos \theta_i \cos \nu_i - \cos \alpha \cos \lambda \sin \nu_i + \cos \alpha \sin \lambda \sin \theta_i \cos \nu_i), \quad i \in (1;2); \\ \tilde{T}_{i2}^\alpha &= \tilde{T}_i (\cos \alpha \cos \theta_i \cos \nu_i + \sin \alpha \cos \lambda \sin \nu_i - \sin \alpha \sin \lambda \sin \theta_i \cos \nu_i), \quad i \in (1;2); \\ \tilde{T}_{i2}^\lambda &= \tilde{T}_i (\cos \alpha \sin \lambda \sin \nu_i + \cos \alpha \cos \lambda \sin \theta_i \cos \nu_i), \quad i \in (1;2); \\ \tilde{T}_{i3}^\lambda &= \tilde{T}_i (\cos \lambda \sin \nu_i - \sin \lambda \sin \theta_i \cos \nu_i), \quad i \in (1;2);\end{aligned}$$

при треугольной схеме лапок доски:

$$\begin{aligned}\tilde{T}_1^\alpha &= (\cos \alpha \sin \lambda \operatorname{tg} \theta + \sin \alpha - \cos \alpha \cos \lambda \operatorname{tg} \nu / \cos \theta); \\ \tilde{T}_2^\alpha &= (-\sin \alpha \sin \lambda \operatorname{tg} \theta + \cos \alpha + \sin \alpha \cos \lambda \operatorname{tg} \nu / \cos \theta); \\ \tilde{T}_2^\lambda &= (\cos \alpha \cos \lambda \operatorname{tg} \theta + \cos \alpha \sin \lambda \operatorname{tg} \nu / \cos \theta); \\ \tilde{T}_3^\lambda &= (-\sin \lambda \operatorname{tg} \theta + \cos \lambda \operatorname{tg} \nu / \cos \theta).\end{aligned}$$

При определении производных от коэффициентов гидродинамических сил по углу атаки C_{XV}^α , C_{YV}^α пользуются гипотезой стационарности, согласно которой гидродинамические силы, действующие на доску при неустановившемся (нестационарном) движении, принимаются такими же, как и при установившемся (равномерном прямолинейном) движении; они определяются кинематическими параметрами доски в данный момент времени. Согласно гипотезе стационарности производные C_{XV}^α , C_{YV}^α находятся графическим дифференцированием как тангенсы углов между касательными к графикам функций $C_{XV}(\alpha)$, $C_{YV}(\alpha)$ и осью абсцисс α .

Используем полученные соотношения для исследования устойчивости движения прямоугольной цилиндрической доски проекта 2490 площадью в плане $S = 9 \text{ м}^2$ при четырёхугольной схеме лапок и креплении дуги во второе отверстие. Масса доски $M = 2040 \text{ кг}$. Верхняя лапка крепится во второе отверстие сверху, а нижняя – в третье отверстие снизу, рис. 2. Угол атаки доски $\alpha = 20^\circ$; угол крена доски $\lambda = -16,2^\circ$ (доска имеет крен на дуги).

Коэффициенты гидродинамических сил доски:

$$C_{XV} = 0,4; C_{ZV} = 1,28; C_{YV} = 0.$$

Производные от коэффициентов гидродинамических сил доски по углу атаки:

$$C_{XV}^{\alpha} = 1,12; C_{YV}^{\alpha} = 0,8; x_D^{\alpha} = 0.$$

Судно РТМС «Прометей», скорость траления 5 уз.

Трал 118/620 м, сопротивление траля $R_X^T = 148 \text{ кН}$.

Вес доски в воде, отнесённый к половине сопротивления траля:

$$\tilde{Q} = Q / (0,5R_X^T) = k_W Mg / (0,5R_X^T) = 0,87 \cdot 2040 \cdot 9,8 / 74000 = 0,235.$$

Относительная площадь доски в плане:

$$\tilde{S} = S \rho V^2 / R_X^T = 9 \cdot 1025 \cdot 2,57^2 / 74000 = 0,412.$$

Координаты точки крепления ваера к доске:

$$x_0 = 1,12 \text{ м}; \quad y_0 = -0,52 \text{ м}; \quad z_0 = -0,41 \text{ м}.$$

Координаты точки крепления верхнего кабеля к доске:

$$x_1 = -1 \text{ м}; \quad y_1 = 0,2 \text{ м}; \quad z_1 = -1,475 \text{ м}.$$

Координаты точки крепления нижнего кабеля к доске:

$$x_2 = -1 \text{ м}; \quad y_2 = 0,2 \text{ м}; \quad z_2 = 1,485 \text{ м}.$$

Координаты центра масс доски:

$$x_C = 0,063 \text{ м}; \quad y_C = 0,118 \text{ м}; \quad z_C = -0,59 \text{ м}.$$

Координаты центра давления доски:

$$x_D = 0,26 \text{ м}; \quad y_D = 0 \text{ м}; \quad z_D = 0,12 \text{ м}.$$

Координаты второго отверстия для крепления дуги к доске:

$$x_A = 0,72 \text{ м}; \quad y_A = 0,06 \text{ м}; \quad z_A = 0 \text{ м}.$$

Параметры верхнего кабеля:

$$T_1 = 38,7 \text{ кН}; \quad \theta_1 = -1,3^0; \quad \nu_1 = 9,53^0; \quad \tilde{T}_1 = T_1 / (0,5R_X^T) = 38,7 / 74 = 0,523.$$

Параметры нижнего кабеля:

$$T_2 = 38,7 \text{ кН}; \quad \theta_2 = 17,5^0; \quad \nu_2 = 9,1^0; \quad \tilde{T}_2 = T_2 / (0,5R_X^T) = 38,7 / 74 = 0,523.$$

Равновесие траловой доски будет устойчивым, если выполняются следующие три условия:

1 – скорость потока параллельна стрингерам доски (при этом $\beta = 0$);

2 – угол атаки доски меньше критического ($\alpha < \alpha_{kp}$);

3 – производные от главных моментов сил, действующих на доску, по углу крена и атаки отрицательны, т.е.

$$\partial M_1 / \partial \lambda = M_1^\lambda < 0, \quad \partial M_3 / \partial \alpha = M_3^\alpha < 0,$$

где M_1, M_3 – главные моменты сил, действующих на доску, относительно осей x_1 и z_1 соответственно.

Первые два условия выполняются при определении координат точек крепления ваера и лапок к доске из условий равновесия доски и условия их совместности. Проверим выполнение третьего условия.

$$\begin{aligned} M_1^\lambda &= (y_C - y_0)\tilde{Q}_3^\lambda + (y_1 - y_0)\tilde{T}_{13}^\lambda + (y_2 - y_0)\tilde{T}_{23}^\lambda - \\ &\quad - (z_C - z_0)\tilde{Q}_2^\lambda - (z_1 - z_0)\tilde{T}_{12}^\lambda - (z_2 - z_0)\tilde{T}_{22}^\lambda = \\ &= (0,118 + 0,517)0,0656 + (0,2 + 0,517)(0,08 + 0,123) - (0,59 + 0,41)0,212 + \\ &\quad + (-1,475 + 0,41)0,03326 + (1,485 + 0,41)0,1184 = 0,164 > 0. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_3^\alpha &= (x_D - x_0)\tilde{R}_2^\alpha - (y_D - y_0)\tilde{R}_1^\alpha + (x_C - x_0)\tilde{Q}_2^\alpha - (y_C - y_0)\tilde{Q}_1^\alpha + \\ &\quad + (x_1 - x_0)\tilde{T}_{12}^\alpha - (y_1 - y_0)\tilde{T}_{11}^\alpha + (x_2 - x_0)\tilde{T}_{22}^\alpha - (y_2 - y_0)\tilde{T}_{21}^\alpha + x_D^\alpha \tilde{R}_2 = \\ &= (0,26 - 1,116)0,443 - (0 + 0,517)0,229 + (0,063 - 1,116)0,0224 - \\ &\quad - (0,118 + 0,517)0,0616 + (-1 - 1,116)0,512 - (0,2 + 0,517)0,1013 + \\ &\quad + (-1 - 1,116)0,505 - (0,2 + 0,517)0,053 = -2,86 < 0. \end{aligned}$$

Так как производная по углу атаки отрицательная, то доска устойчива по углу атаки, т.е. при движении она будет сохранять его, даже при наличии возмущений. Но доска неустойчива по углу крена, поэтому при движении он будет изменяться при наличии возмущений. Эти выводы подтверждаются подводными наблюдениями Е.Г. Норина за поведением доски во время траления [5]. Это означает, что для обеспечения устойчивости прямоугольной цилиндрической доски проекта 2490 по крену необходимо внести изменения в её конструкцию и выполнить указанные выше расчёты для различных вариантов доски.

Список литературы

1. Габрюк В.И. Параметры разноглубинных тралов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 212 с.
2. Габрюк В.И. Компьютерные технологии в промышленном рыболовстве. – М.: Колос, 1995. – 544 с.
3. Габрюк В.И., Кулагин В.Д. Механика орудий рыболовства и АРМ промысловика. – М.: Колос, 2000. – 416 с.
4. Габрюк В.И., Чернецов В.В., Бойцов А.Н. Основы моделирования рыболовных систем. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2008. – 560 с.
5. Шевченко А.И. Пути повышения селективности промысла минтая. – Владивосток: ТИПРО, 2004. – 98 с.

Сведения об авторах: Габрюк Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор; Мазур Евгений Евгеньевич, аспирант: e-mail: mazuree@mail.ru.