

ПРОМРЫБОЛОВСТВО

УДК 639.2.081.117

**В.И. Габрюк, И.А. Корниенко, В.В. Кудакаев, С.В. Жигульская,
К.Г. Франковская***

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

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТРАЛОВЫХ ДОСОК**

Представлено выполненное с использованием математической модели компьютерное моделирование траловых досок проекта 2490 конструкции П.П. Аугулиса. Целью моделирования было определение конструктивных параметров этих досок, обеспечивающих их устойчивую работу при тралениях. Результаты моделирования показали, что исследуемая доска при правильном выборе точки крепления ваера может работать устойчиво при трех способах крепления ваера к доске: с использованием горизонтальной планки, дуги и крепления непосредственно к стрингеру.

Ключевые слова: траловая доска, точки крепления ваера и лапок, аналитические методы, устойчивость движения, математическая модель.

Gabruk V.I., Kornienko I.A., Kudakaev V.V., Zhigulskaya S.V., Frankovskaya K.G.
Computer modeling of rectangular-cylindrical trawl doors // *Izv. TINRO*. — 2015. — Vol. 181. — P. 231–240.

Computer modeling of the rectangular-cylindrical trawl doors designed by P.P. Augulis (project 2490) is realized for calculation of their parameters to ensure stable functioning in the process of trawling. Correct choice of the warp point ensures stable functioning of the door for three ways of fastening: directly to the stringer or by means of horizontal strap or bail.

Key words: trawl door, warp point, analytical method, stability of movement, numerical model.

Введение

Успешный лов рыб тралом возможен, когда он при их облове движется устойчиво, сохраняя заданный горизонт, вертикальное и горизонтальное раскрытие. Надежная работа трала зависит от устойчивого движения траловых досок, а оно определяется правильным выбором точек крепления ваера и лапок к доске. В настоящее время выбор этих точек осуществляется методом проб и ошибок на промысле (Рыкунов, 1972а, б,

* *Габрюк Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор, директор Центра компьютерных технологий, руководитель научной школы, e-mail: gabrukvi@rambler.ru; Корниенко Иван Анатольевич, аспирант, e-mail: kornienko.iv.an.89@gmail.com; Кудакаев Василий Владимирович, кандидат технических наук, начальник отдела, e-mail: kudakaev_v@mail.ru; Жигульская Светлана Витальевна, магистрант, e-mail: orbitalka@inbox.ru; Франковская Ксения Григорьевна, магистрант, e-mail: anthuriummajus@mail.ru.*

Gabruk Victor I., D.Sc., professor, director of computer center, head of research school, e-mail: gabrukvi@rambler.ru; Kornienko Ivan A., postgraduate student, e-mail: kornienko.iv.an.89@gmail.com; Kudakaev Vasily V., Ph.D., head of department, e-mail: kudakaev_v@mail.ru; Zhigulskaya Svetlana V., student, e-mail: orbitalka@inbox.ru; Frankovskaya Kseniya G., student, e-mail: anthuriummajus@mail.ru.

1975). Эта операция занимает 2–3 суток, что ведёт к потере промыслового времени и значительным экономическим затратам.

Адекватные математические модели траловых досок, разработанные в Дальрыбвтузе (Габрюк, Кулагин, 2000; Габрюк и др., 2008; Габрюк, 2011), и компьютерная программа их настройки (Габрюк и др., 2012) позволяют перед промыслом оптимизировать выбор положения точек крепления ваера и лапок к доске и добиться их устойчивого движения при траловых операциях.

Цель работы определить, при каких конструктивных параметрах прямоугольные цилиндрические доски проекта 2490 работают устойчиво.

Материалы и методы

Объектом исследования служили прямоугольные цилиндрические траловые доски проекта 2490, разработанные П.П. Аугулисом (рис. 1). Параметрический ряд этих досок имеет следующие площади в плане: 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 м².

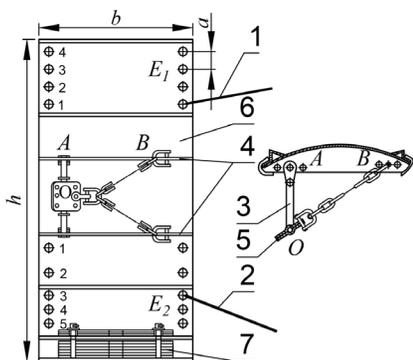


Рис. 1. Прямоугольная цилиндрическая траловая доска проекта 2490 конструкции П.П. Аугулиса: 1, 2 — лапки доски; 3 — траловая дуга; 4 — стрингеры для крепления дуги; 5 — планка для крепления ваера; 6 — щиток доски; 7 — киль; *маленькие цифры* — номера отверстий для крепления лапок доски

Fig. 1. Rectangular-cylindrical trawl door designed by P.P. Augulis (project 2490): 1, 2 — backstops; 3 — bail; 4 — stringers for bracket fastening; 5 — strap for warp fastening; 6 — faceplate of trawl door; 7 — keel; *small numerals* — numbers of holes for backstops fastening

У рассматриваемых досок ваер крепится к планке 5, находящейся на траловой дуге 3; верхняя 1 и нижняя 2 лапки крепятся с помощью скоб в отверстия E_1 и E_2 на щитке 6. Положение точек крепления ваера $O(x_0, y_0, z_0)$ и лапок $E_1(x_1, y_1, z_1)$, и $E_2(x_2, y_2, z_2)$ к доске необходимо выбирать так, чтобы доска находилась в равновесии и это равновесие было устойчивым, так как от устойчивого движения траловых досок зависят устойчивость всей траловой системы и успешный облов промыслового объекта.

Для устойчивого движения траловых досок поток воды должен плавно обтекать все элементы доски без срывов и образования вихрей. Плавность обтекания досок нарушается в двух случаях:

— во-первых, когда угол атаки доски больше критического. В этом случае поток срывается с задней кромки доски;

— во-вторых, когда поток набегает на стрингеры под некоторым углом, называемым углом скольжения потока β (рис. 2). В этом случае поток срывается с острых кромок стрингеров.

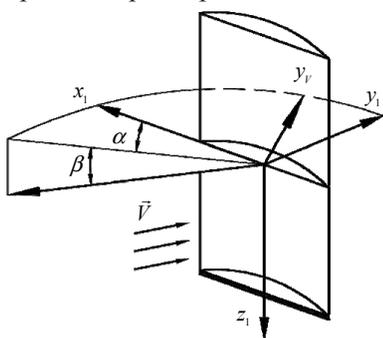


Рис. 2. Угол атаки доски α и угол скольжения потока относительно доски β ; $x_1 y_1 z_1$ — связанная с доской система координат; $x_v y_v z_v$ — поточная система координат доски

Fig. 2. Attack angle of trawl door (α) and slip angle of trawl door relative to flow (β); $x_1 y_1 z_1$ — coordinate system relative to trawl door; $x_v y_v z_v$ — coordinate system relative to flow

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 параллельной стрингерам. В этом случае поток плавно обтекает стрингеры и угол $\beta = 0$.

Если хотя бы одно из этих условий не выполняется, то поток будет срывать либо с задней кромки доски, либо со стрингеров (либо одновременно с обоих указанных выше элементов доски). Срыв потока сопровождается образованием больших вихрей. 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 A , лапок E_1, E_2 и ваера O к доске (см. рис. 1). Для этого на доске предусмотрено несколько отверстий для крепления дуги, ваера и лапок. У доски проекта 2490 предусмотрено три отверстия для крепления дуги A , три отверстия для крепления ваера O , четыре отверстия для крепления верхней лапки E_1 и пять отверстий для крепления нижней лапки E_2 (рис. 1).

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 определяются из моментных условий равновесия доски:

$$\begin{aligned} \Sigma M_{z_2}(\vec{F}_k) &= 0 \Rightarrow a_2 x_0 - a_1 y_0 = b_1; \\ \Sigma M_{y_2}(\vec{F}_k) &= 0 \Rightarrow a_3 x_0 - a_1 z_0 = b_2; \\ \Sigma M_{x_2}(\vec{F}_k) &= 0 \Rightarrow a_3 y_0 - a_2 z_0 = b_3. \end{aligned} \quad (1)$$

Оси x_2, y_2, z_2 в системе (1) параллельны осям x_1, y_1, z_1 и проходят через точку O крепления ваера к доске. Величины, входящие в систему (1), определяются по формулам

$$\begin{aligned} a_i &= T_{1i} + T_{2i} + R_i + Q_i, \quad i = 1, 2, 3; \\ b_1 &= T_{12} x_1 - T_{11} y_1 + T_{22} x_2 - T_{21} y_2 + R_2 x_D - R_1 y_D + Q_2 x_C - Q_1 y_C; \\ b_2 &= T_{13} x_1 - T_{11} z_1 + T_{23} x_2 - T_{21} z_2 + R_3 x_D - R_1 z_D + Q_3 x_C - Q_1 z_C; \\ b_3 &= T_{13} y_1 - T_{12} z_1 + T_{23} y_2 - T_{22} z_2 + R_3 y_D - R_2 z_D + Q_3 y_C - Q_2 z_C, \end{aligned}$$

где T_{1i}, T_{2i}, R_i, Q_i — проекции на оси связанной с доской системы координат натяжений верхней и нижней лапок, гидродинамической силы и массы доски в воде; $(x_C, y_C, z_C), (x_D, y_D, z_D)$ — координаты центра масс и центра давления доски.

На практике используются раздельная (четырёхугольная) (рис. 3) и треугольная (рис. 4) схемы лапок.

Рис. 3. Характеристики доски при четырехугольной (раздельной) схеме лапок: 1 — лапки; 2 — щиток доски; 3 — таловая дуга

Fig. 3. Parameters of trawl door with quadrangular arrangement of backstrops: 1 — backstrops; 2 — faceplate of trawl door; 3 — bail

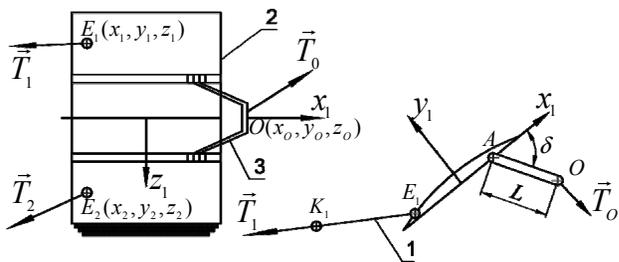
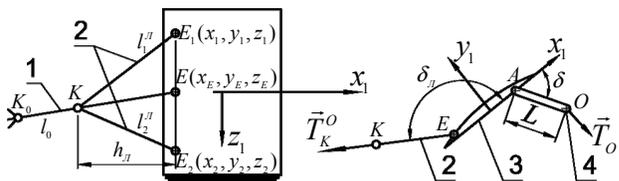


Рис. 4. Параметры доски при треугольной схеме лапок: 1 — одинарный кабель; 2 — лапки доски; 3 — щиток доски; 4 — дуга

Fig. 4. Parameters of trawl door with triangular arrangement of backstrops: 1 — sweep; 2 — backstrops; 3 — faceplate of trawl door; 4 — bail



На рис. 3 показаны 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_1, y_1, z_1) .

При треугольной схеме лапок верхняя и нижняя лапки соединяются в точке K (рис. 4), x_E, y_E, z_E — координаты точки E пересечения линии одинарного кабеля $K_0 K$ с прямой $E_1 E_2$ в связанной с доской системе координат (x_1, y_1, z_1) .

В общем случае система (1) не имеет решений, так как она противоречива (несовместна). Система (1) будет совместной, 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

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

Здесь T_1^0, T_2^0, T_3^0 — проекции натяжения одинарного кабеля \vec{T}^0 на связанные с доской оси. Из уравнений (2) и (3) следует, что точки крепления верхней и нижней лапок нельзя выбирать произвольно, так как их координаты $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_E, y_E, z_E)$ должны удовлетворять этим уравнениям.

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

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

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

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

где x_A, y_A — координаты точки A крепления дуги к доске; L — длина дуги; δ — угол между дугой и доской.

Из трех моментных уравнений равновесия доски системы (1) независимыми являются только два. Условия равновесия системы (1), совместности уравнения (2) и геометрические условия равенств (4) и (5) позволяют определить четыре координаты (x_0, y_0, z_0, z_1) . Пять координат $(x_A, y_A, x_2, y_2, z_2)$ должны задаваться, что нельзя делать произвольно. Их необходимо выбирать таким образом, чтобы доска находилась в равновесии, причем равновесие было устойчивым.

Условия плавного обтекания траловых досок $\alpha < \alpha_{кр}$ и $\beta = 0$ являются необходимыми, но недостаточными для устойчивого равновесия траловых досок. 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 $\Delta M_{x_1}, \Delta M_{z_1}$.

При малых отклонениях доски 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:

$$M_{x_1}^\lambda = \Delta M_{x_1} / \Delta\lambda < 0; M_{z_1}^\alpha = \Delta M_{z_1} / \Delta\alpha < 0, \quad (6)$$

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

Первое уравнение системы (6) является условием поперечной устойчивости доски (устойчивости по крену), а второе — условием продольной устойчивости (устойчивости по углу атаки). Раскрывая неравенства (6), получим

при четырёхугольной схеме лапок

$$M_{z_1}^\alpha = (x_D - x_0)\tilde{R}_2^\alpha - (y_D - y_0)\tilde{R}_1^\alpha + (x_C - x_0)\tilde{Q}_2^\alpha - (y_C - y_0)\tilde{Q}_1^\alpha + (x_1 - x_0)\tilde{T}_{12}^\alpha - (y_1 - y_0)\tilde{T}_{11}^\alpha + (x_2 - x_0)\tilde{T}_{22}^\alpha - (y_2 - y_0)\tilde{T}_{21}^\alpha + x_D^\alpha\tilde{R}_2 - y_D^\alpha\tilde{R}_1 < 0; \quad (7)$$

$$M_{x_1}^\lambda = (y_C - y_0)\tilde{Q}_3^\lambda - (z_C - z_0)\tilde{Q}_2^\lambda + (y_1 - y_0)\tilde{T}_{13}^\lambda - (z_1 - z_0)\tilde{T}_{12}^\lambda + (y_2 - y_0)\tilde{T}_{23}^\lambda - (z_2 - z_0)\tilde{T}_{22}^\lambda < 0, \quad (8)$$

при треугольной схеме лапок

$$M_{z_1}^\alpha = x_E\tilde{T}_2^\alpha - y_E\tilde{T}_1^\alpha + x_D\tilde{R}_2^\alpha - y_D\tilde{R}_1^\alpha + x_C\tilde{Q}_2^\alpha - y_C\tilde{Q}_1^\alpha - x_0(\tilde{R}_2^\alpha + \tilde{T}_2^\alpha + \tilde{Q}_2^\alpha) + y_0(\tilde{R}_1^\alpha + \tilde{T}_1^\alpha + \tilde{Q}_1^\alpha) + x_D^\alpha\tilde{R}_2 - y_D^\alpha\tilde{R}_1 < 0; \quad (9)$$

$$M_{x_1}^\lambda = y_E\tilde{T}_3^\lambda - z_E\tilde{T}_2^\lambda + y_C\tilde{Q}_3^\lambda - z_C\tilde{Q}_2^\lambda - y_0(\tilde{T}_3^\lambda + \tilde{Q}_3^\lambda) + z_0(\tilde{T}_2^\lambda + \tilde{Q}_2^\lambda) - z_E^\lambda\tilde{T}_2 < 0, \quad (10)$$

где $\tilde{T}_i, \tilde{R}_i, \tilde{Q}_i$ — проекции сил $\tilde{T}^O, \tilde{R}, \tilde{Q}$ на связанные с доской оси, отнесенные к половине сопротивления трала, т.е. $\tilde{T}_i = T_i^O / (0,5R_x^T)$; верхние индексы α и λ означают производные по углу атаки и углу крена доски, т.е. $\tilde{R}_i^\alpha = \partial\tilde{R}_i / \partial\alpha$, $\tilde{T}_i^\lambda = \partial\tilde{T}_i / \partial\lambda$, $\tilde{T}_{23}^\alpha = \partial\tilde{T}_{23} / \partial\lambda$.

При определении производных от коэффициентов гидродинамических сил по углу атаки $C_{XV}^\alpha, C_{YV}^\alpha$ 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. Согласно гипотезе стационарности производные $C_{XV}^\alpha, C_{YV}^\alpha$ находятся графическим дифференцированием, как тангенсы углов между касательными к графикам функций $C_{XV}(\alpha), C_{YV}(\alpha)$ и осью абсцисс α .

Результаты и их обсуждение

Существует три способа крепления ваера к доске: он может крепиться к траловой дуге (см. рис. 1), горизонтальной планке (рис. 5) и непосредственно к стрингеру или к планке, приваренной к стрингерам (рис. 6).

Рис. 5. Два варианта исполнения горизонтальной планки 1 для крепления ваера к доске с отверстиями для крепления ваера, расположенными: **а** — вдоль планки (параллельно оси x_1); **б** — поперёк планки (параллельно оси y_1); 1 — планка, шарнирно крепящаяся к стрингеру 2; 3 — щиток доски

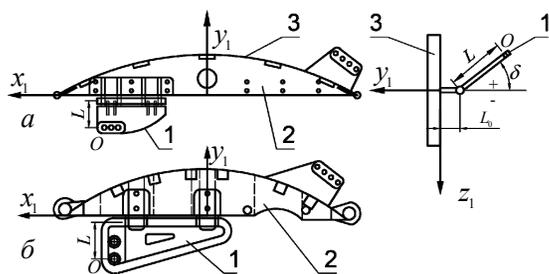


Fig. 5. Two options of horizontal strap (1) with holes for warp fastening to trawl door: **a** — holes along the strap (parallel with axis x_1); **б** — holes across the strap (parallel with axis y_1); 1 — hinged strap connected to stringer; 2 — stringer; 3 — faceplate of trawl door

Рис. 6. Крепление ваера к планке, приваренной к стрингерам (НБАМР, доска В.А. Кузика)

Fig. 6. Warp fastening to strap welded to stringers (trawl door designed by V.A. Kuzik)



Устойчивость движения доски исследовалась с помощью программы SM-Door (Габрюк и др., 2012), в которой осуществлялось варьирование длинами дуги и планки L , а также менялась разность глубин хода щитка и доски h . Результаты исследования сведены в табл. 1–3 и представлены на рис. 7–10.

Таблица 1
Данные моделирования доски с горизонтальной планкой для крепления ваера

Table 1

Modeling data of the trawl door with horizontal strap for warp fastening

L , м	M_{z1}^a	M_{x1}^a	X_0 , м	δ , град
$h = 5$ м				
0,1	-137,67	-16,30	0,61	61,6
0,2	-156,65	-17,0	0,80	52,6
0,3	-175,21	-17,72	0,97	49,6
0,4	-193,75	-18,43	1,15	48,0
0,5	-213,82	-19,24	1,33	46,9
$h = -5$ м				
0,1	-133,23	-15,29	0,56	22,2
0,2	-150,87	-15,85	0,72	30,3
0,3	-168,24	-16,42	0,88	33,0
0,4	-185,59	-16,97	1,04	34,4
0,5	-202,91	-17,53	1,21	32,2
$h = -10$ м				
0,1	-129,68	-14,63	0,51	3,3
0,2	-148,01	-15,17	0,68	20,4
0,3	-165,36	-15,69	0,84	25,7
0,4	-182,47	-16,20	1,0	28,3
0,5	-199,53	-16,70	1,16	29,8
$h = -15$ м				
0,1	-124,99	-13,90	0,46	-17,6
0,2	-145,26	-14,47	0,65	10,8
0,3	-162,83	-14,96	0,81	18,7
0,4	-179,90	-15,44	0,96	22,6
0,5	-196,80	-15,91	1,12	24,9

Примечание. h — разность глубин хода щитка и доски.

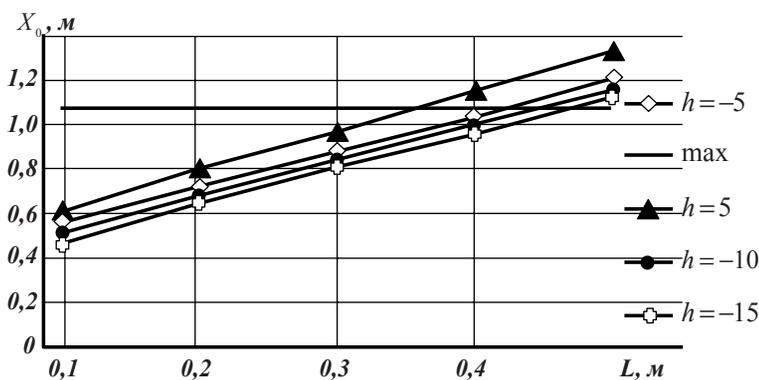


Рис. 7. График зависимости положения точки крепления ваера к доске (X_0) от длины планки при разных глубинах хода щитка и доски (h)

Fig. 7. Warp point (X_0) dependence on horizontal strap length for certain working horizons of trawl door and its faceplate (h)

Результаты моделирования доски с использованием горизонтальной планки для крепления ваера (см. рис. 5) представлены в табл. 1.

На рис. 6, 7 представлены зависимости производных от главных моментов по углу крена и углу атаки от длины планки при разных глубинах хода щитка и доски h .

На этих графиках видно, что доска работает устойчиво на всех режимах, так как производные от главных моментов имеют отрицательные значения, а длина планки слабо влияет на устойчивость доски.

Modeling data of the trawl door with bail for warp fastening

$L, \text{ м}$	M_{z1}^{α}	M_{x1}^{λ}	$X_0, \text{ м}$	$\delta, \text{ град}$
$h = 5 \text{ м}$				
0,3	-156,77	-17,01	0,80	-47,7
0,4	-167,16	-17,40	0,90	-41,1
0,5	-177,25	-17,79	0,99	-37,3
0,6	-187,20	-18,18	1,09	-34,7
0,7	-197,03	-18,57	1,18	-33,0
$h = -5 \text{ м}$				
0,3	-150,86	-15,85	0,72	-65,4
0,4	-162,44	-16,22	0,83	-54,4
0,5	-173,11	-16,57	0,93	-48,3
0,6	-183,39	-16,90	1,02	-44,5
0,7	-193,48	-17,23	1,12	-41,8
$h = -10 \text{ м}$				
0,3	-145,10	-14,46	0,65	-80,2
0,4	-159,35	-14,90	0,77	-64,9
0,5	-169,66	-11,15	0,87	-56,8
0,6	-180,32	-15,44	0,97	-51,9
0,7	-190,68	-15,73	1,06	-48,4
$h = -15 \text{ м}$				
0,3	-147,93	-15,17	0,60	-73,1
0,4	-160,26	-15,53	0,80	-59,9
0,5	-171,26	-15,86	0,90	-52,9
0,6	-181,75	-16,17	0,99	-48,4
0,7	-191,97	-16,47	1,09	-45,4

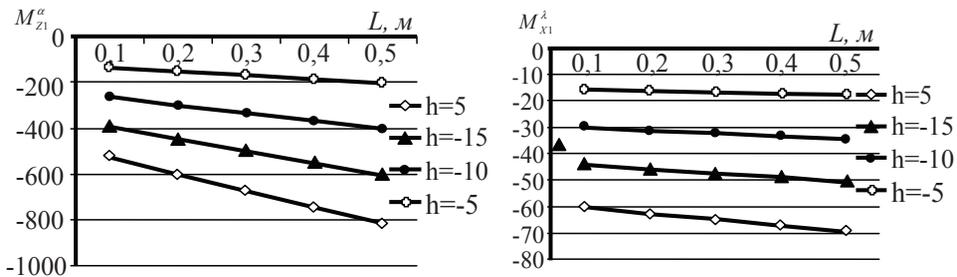


Рис. 8. Графики зависимости производной от главных моментов по углу атаки (M_{z1}^{α}) и крена (M_{x1}^{λ}) от длины планки при разных глубинах хода щитка и доски

Fig. 8. Derivative of the main moments (M_{x1}^{λ} and M_{z1}^{α}) in dependence on horizontal strap length for certain working horizons of trawl door and its faceplate

Но если посмотреть на график зависимости координаты точки крепления ваера к доске от длины планки, то можно увидеть, что при длине планки $L = 0,5 \text{ м}$, а в некоторых случаях и при $L = 0,4 \text{ м}$ координата точки крепления ваера к доске выходит за габариты доски. А это значит, что длину планки нужно выбирать в пределах $L = 0,1-0,4 \text{ м}$, а в некоторых случаях $L = 0,1-0,3 \text{ м}$. При этих длинах планки доска будет работать устойчиво.

Результаты моделирования доски с использованием дуги для крепления ваера представлены в табл. 2.

На рис. 9, 10 видно, что доска работает устойчиво на всех режимах, так как производные от главных моментов имеют отрицательные значения, а длина планки слабо влияет на устойчивость доски.

Данные моделирования доски с креплением ваера непосредственно к стрингеру

Modeling data of the trawl door with warp fastening directly to stringer

$L, \text{ м}$	M_{z1}^{α}	M_{x1}^{λ}	$X_0, \text{ м}$
$h = 5 \text{ м}$			
-0,01	-108,85	-15,53	0,33
-0,02	-101,46	-15,77	0,25
-0,03	-94,06	-16,01	0,18
-0,04	-86,66	-16,25	0,10
-0,05	-81,35	-16,49	0,02
-0,06	-71,87	-16,73	-0,06
$h = -5 \text{ м}$			
-0,03	-182,80	-11,09	1,09
-0,04	-173,52	-11,69	0,99
-0,05	-164,24	-12,28	0,90
-0,06	-154,96	-12,88	0,80
-0,07	-145,68	-13,47	0,70
-0,08	-136,40	-14,07	0,60
-0,09	-127,12	-14,66	0,50
-0,10	-117,84	-15,26	0,41
-0,14	-80,72	-17,64	0,01
$h = -10 \text{ м}$			
-0,08	-191,94	-9,61	1,17
-0,09	-181,56	-10,42	1,06
-0,10	-171,19	-11,22	0,95
-0,15	-119,33	-15,25	0,41
-0,16	-108,96	-16,06	0,30
-0,17	-98,59	-16,86	0,19
-0,18	-93,44	-17,67	0,08
-0,19	-77,84	-18,47	-0,03
$h = -15 \text{ м}$			
-0,10	-237,20	-4,95	1,63
-0,14	-191,46	-9,03	1,15
-0,15	-180,02	-10,05	1,03
-0,16	-168,58	-11,07	0,91
-0,17	-157,15	-12,09	0,79
-0,18	-145,71	-13,11	0,67
-0,19	-134,27	-14,13	0,55
-0,20	-122,84	-15,15	0,43
-0,21	-111,40	-16,17	0,31
-0,22	-99,97	-17,19	0,19
-0,23	-88,53	-18,21	0,07
-0,24	-77,09	-19,23	-0,05

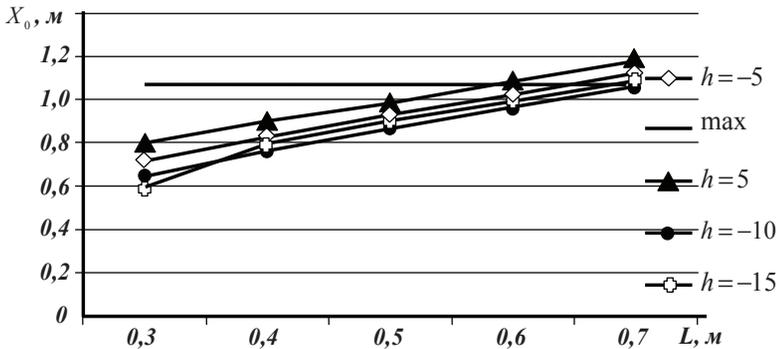


Рис. 9. График зависимости абсциссы точки крепления ваера к доске (X_0) от длины дуги при разных горизонтах хода щитка и доски

Fig. 9. Warp point (X_0) dependence on bail length for certain working horizons of trawl door and its faceplate

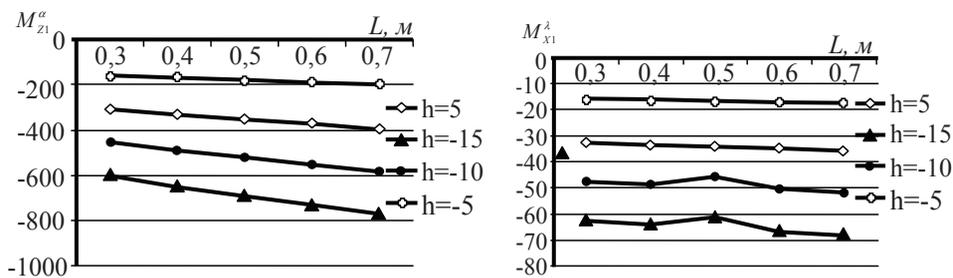


Рис. 10. Графики зависимости производной от главных моментов по углу атаки (M_{z1}^α) и крена (M_{x1}^λ) от длины дуги при разных горизонтах хода щитка и доски

Fig. 10. Derivative of the main moments (M_{x1}^λ and M_{z1}^α) in dependence on bail length for certain working horizons of trawl door and its faceplate

Конструктор цилиндрической доски П.П. Аугулис проектировал параметрический ряд досок площадью от 4 до 9 м², при этом длину дуги брал от 0,5 до 0,7 м, увеличивая в соответствии с ростом площади доски. Моделирование показывает, что такой подход не является корректным, так как при длине дуги, равной 0,7 м, доска может работать устойчиво только в некоторых режимах, а при меньших значениях длины дуги — на всех режимах. Поэтому мы рекомендуем для всех досок этого параметрического ряда использовать длину дуги 0,3–0,4 м.

Также была промоделирована доска с креплением ваера непосредственно к стрингеру. Результаты этого моделирования представлены в табл. 3 и на рис. 11, 12.

Рис. 11. График зависимости координат точек крепления ваера к стрингеру при разных горизонтах хода щитка и доски

Fig. 11. Point of warp fastening to stringer for certain working horizons of trawl door and its faceplate

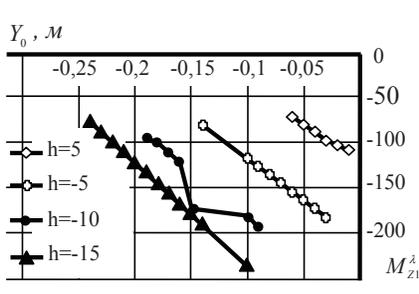
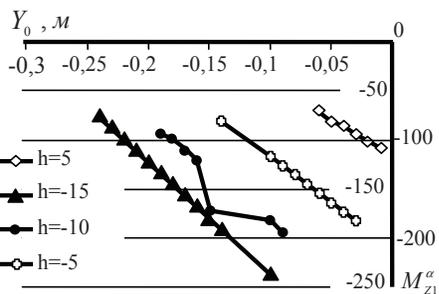
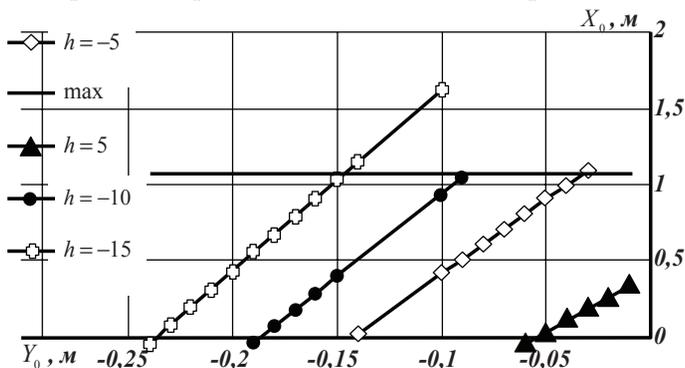


Рис. 12. Графики зависимости производной от главных моментов по углу атаки (M_{z1}^α) и крена (M_{x1}^λ) от координаты точки крепления ваера к стрингеру y_0 при разных горизонтах хода щитка и доски

Fig. 12. Derivative of the main moments (M_{x1}^λ and M_{z1}^α) in dependence on point of warp fastening to stringer (y_0) for certain working horizons of trawl door and its faceplate

Если точка крепления ваера к стрингеру находится близко от плоскости доски, то абсцисса равняется практически половине хорды доски, следовательно, ваер надо крепить ближе к носу доски (это условие выполняется южнокорейской фирмой «Moby-dick»). Если же увеличивать расстояние от точки крепления ваера до плоскости доски, то устойчивость по углу атаки резко падает, что нежелательно.

Для того чтобы доска обладала большим запасом устойчивости, мы рекомендуем брать точку крепления ваера ближе к носу и к плоскости доски, при этом $x_0 \approx 0,5b$; $y_0 = -(0 \div 0,1 \text{ м})$, где b — хорда доски.

У досок проекта 2490 лапки крепятся непосредственно к щитку (см. рис. 3, 4). При этом $y_E = 0,015b$, и доска имеет малый запас устойчивости по крену. Компьютерное моделирование показывает, что увеличение y_E от $y_E = 0,015b$ до $y_E = 0,010b$ приводит к увеличению устойчивости доски по крену. Увеличения y_E можно добиться путём использования стрингеров, как это показано на рис. 5.

Результаты моделирования показали, что исследуемая нами прямоугольная цилиндрическая доска проекта 2490 ведущего конструктора П.П. Аугулиса при правильном выборе точки крепления ваера может работать устойчиво при трех способах крепления ваера к доске: с использованием горизонтальной планки, дуги и крепления непосредственно к стрингеру.

При проектировании доски необходимо учитывать то обстоятельство, что при некоторых значениях параметров планки и дуги точка крепления ваера выходит за габариты доски, что означает отсутствие равновесия доски и её неустойчивую работу при тралении на промысле. Это, в свою очередь, снижает эффективность облова и ведёт к большему экономическим затратам, так как постоянно приходится выполнять промысловую настройку траловой системы. Следовательно, точку крепления ваера к доске нельзя выбирать произвольно. Она должна быть выбрана так, чтобы обеспечивалось равновесие доски, причем устойчивое. Это позволяет выполнять компьютерная программа CM-Doog (Габрюк и др., 2012), разработанная на основе математической модели траловой доски, изложенной в данной статье.

Заключение

Результаты исследования показывают: для того чтобы точки крепления ваеров к доскам не выходили за их габариты и доски работали устойчиво, необходимо выполнять следующие условия:

— длина горизонтальной планки L для крепления ваера должна лежать в пределах от 0,1 до 0,3 м;

— длину дуги L для крепления ваера необходимо выбрать в пределах от 0,3 до 0,4 м;

— при креплении ваера непосредственно к стрингеру точку крепления ваера следует выбирать ближе к носу и плоскости доски, при этом $x_0 \approx 0,5b$; $y_0 = -(0 \div 0,1 \text{ м})$, где b — хорда доски.

При проектировании траловых досок и их настройке с указанными выше рекомендациями доски проекта 2490 будут работать устойчиво, обеспечивая устойчивое движение всей траловой системы на разных глубинах траления и эффективность промысла.

Список литературы

Габрюк В.И. Механика орудий рыболовства в математических моделях, алгоритмах, компьютерных программах : моногр. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2011. — 519 с.

Габрюк В.И., Кулагин В.Д. Механика орудий рыболовства и АРМ промысловика : моногр. — М. : Колос, 2000. — 416 с.

Габрюк В.И., Мазур Е.Е., Кудакаев В.В. Моделирование траловых досок для пелагического траления «CM-Doog» : СВИДЕТЕЛЬСТВО о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012614641. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 24 мая 2012 г.

Габрюк В.И., Чернецов В.В., Бойцов А.Н. Основы моделирования рыболовных систем : моногр. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2008. — 560 с.

Рыкунов Э.М. Влияние веса элементов пелагического трала на распорную силу траловых досок // Рыб. хоз-во. — 1972а. — № 3. — С. 56–58.

Рыкунов Э.М. Исследование работы семи конструкций траловых досок в пелагическом варианте траления // Изв. ТИНРО. — 1972б. — Т. 84. — С. 87–98.

Рыкунов Э.М. Основы гидростатической теории расчёта траловых систем // Изв. ТИНРО. — 1975. — Т. 94. — С. 127–167.

Поступила в редакцию 27.02.15 г.