

УДК 639.2.081.117.004.9

И.А. Корниенко*

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

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАЛОВЫХ ДОСОК ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

Описана методика определения гидродинамических характеристик траловой доски путем моделирования в программном пакете SolidWorks Flow Simulation на примере траловой доски проекта 2490 конструкции П.П. Аугулиса.

Ключевые слова: траловая доска, компьютерное моделирование, SolidWorks Flow Simulation, гидродинамические характеристики.

Kornienko I.A. Method for determination of hydrodynamic parameters of trawl doors by means of software SolidWorks Flow Simulation // Izv. TINRO. — 2016. — Vol. 185. — P. 259–266.

Modeling by means of SolidWorks Flow Simulation software for determination of hydrodynamic parameters of trawl doors is described by the example of the trawl doors Project 2490 designed by P.P. Augulis.

Key words: trawl door, computer modeling, SolidWorks Flow Simulation software, hydrodynamic parameters.

Введение

Траловые доски служат для горизонтального раскрытия устья трала и являются важнейшим элементом траловой рыболовной системы, так как от их работы зависит устойчивое движение трала на заданном горизонте и его уловистость. Устойчивое движение траловых досок зависит от их плавного обтекания потоком воды без срыва больших вихрей, поэтому исследование гидромеханики досок — одна из важных задач механики траловых рыболовных систем.

Теорию расчёта траловых досок разработал профессор В.И. Габрюк (1988, 1995, 2011), описав её в серии работ. Однако аналитическое определение гидродинамических сил, действующих на траловые доски при тралении, оставалось слабым звеном этой теории.

До сих пор гидродинамические характеристики траловых досок определялись путем исследования их моделей в аэродинамических трубах (Рыкунов, 1972а; Кузик, 2002; Reite, 2006), гидрлотках (Аугулис, Белов, 1987; Кудакаев и др., 2010) или экспериментами в море (Рыкунов, 1972б; Чернецов, 2009).

Современные информационные технологии позволяют решить эту задачу путем математического моделирования в программном пакете SolidWorks Flow Simulation (<http://padaread.com/?book=55933&pg=1>), не прибегая к дорогостоящим физическим

* Корниенко Иван Анатольевич, аспирант, e-mail: kornienko.iv.an.89@gmail.com.

Kornienko Ivan A., postgraduate student, e-mail: kornienko.iv.an.89@gmail.com.

экспериментам. Программный пакет позволяет решать целый комплекс задач, в том числе внутренние и внешние задачи гидромеханики, используя при этом математическую модель Навье-Стокса движения вязкой по Ньютону жидкости (Алямовский, 2010, 2012).

В данной статье описана методика решения внешней задачи гидромеханики траловых досок. В качестве примера рассмотрена задача определения гидродинамических характеристик траловой доски проекта 2490 (Аугулис, Еремеев, 1985) путем моделирования её в данном программном пакете.

Результаты и их обсуждение

Для начала модель траловой доски необходимо привязать к системе координат SolidWorks таким образом, чтобы начало досковой системы координат (рис. 1) совпадало с началом системы координат SolidWorks. Для удобства расчетов оси системы координат SolidWorks и оси досковой системы координат необходимо сделать сонаправленными.

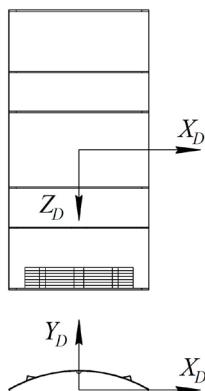


Рис. 1. Связанная с доской система координат

Fig. 1. Coordinate system related with trawl door

Далее моделирование процесса обтекания доски будет происходить следующим образом: положение траловой доски останется неизменным, но будут изменяться направления потоков относительно траловой доски на требуемый угол.

— Для загрузки модуля Flow Simulation необходимо выполнить команды **Инструменты** — **Добавления**, далее в появившемся окне Добавления выбрать **SolidWorks Flow Simulation** и нажать на **OK**. На панели инструментов появится вкладка Flow Simulation (рис. 2).

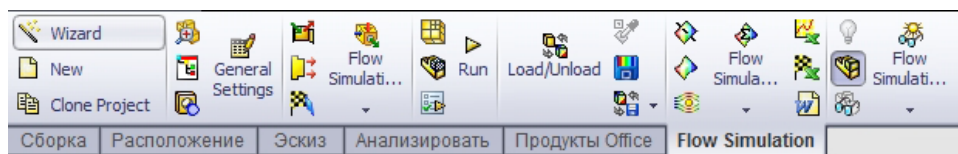


Рис. 2. Вкладка Flow Simulation на панели инструментов

Fig. 2. Flow Simulation label on toolbar

— Для создания проекта необходимо вызвать мастер проектов, нажав кнопку **Wizard**.

— В окне в поле **Project name** для удобства лучше записать значение исследуемого угла атаки, а в качестве минимального исследуемого угла атаки можно использовать угол 10° , указав при этом имя проекта через кнопку **Next**.

— В окне **Unit System** можно выбрать систему единиц физических величин. Удобнее производить моделирование в системе СИ, так как эта система используется программой по умолчанию через кнопку **Next**.

— В окне **Analysis Type** (рис. 3) в поле **Analysis Type** необходимо выбрать тип исследования — **External** (Внешний), используемый для решения внешних задач гидромеханики. В списке **Physical Features** выбрать пункт **Time-dependent** и оставить значения, предложенные по умолчанию, а в качестве базисной оси в поле Reference axis оставить ось X.

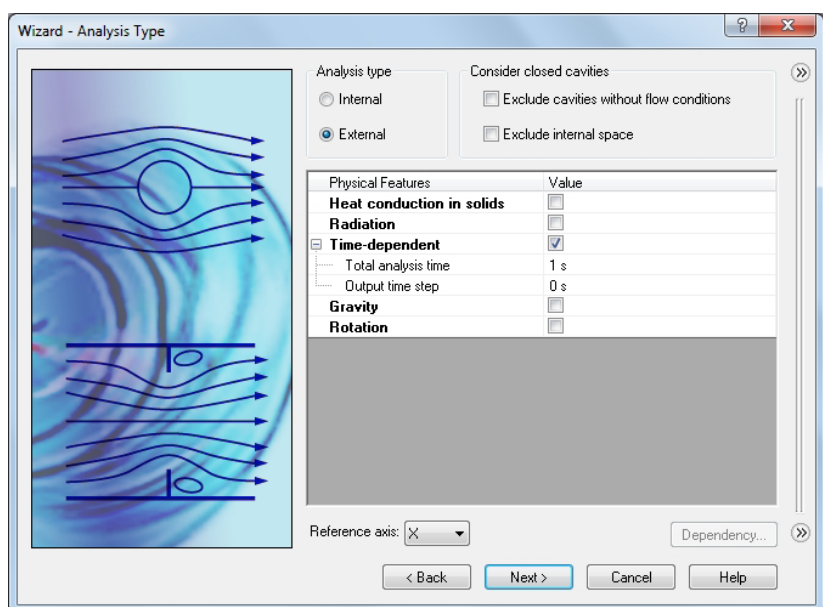


Рис. 3. Окно настройки параметров Analysis Type
Fig. 3. Window for setting of Analysis Type parameters

— В окне **Default Fluid** (рис. 4) необходимо выбрать рабочую среду, в которой будет происходить моделирование. В поле **Fluids** в выпадающем списке **Liquids** необходимо выбрать **Water** (вода) и нажать на **Next**.

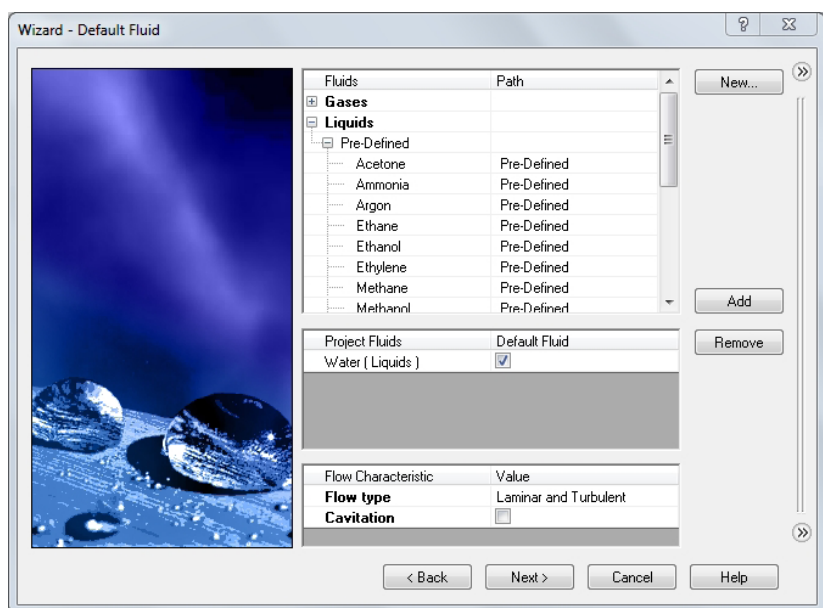


Рис. 4. Окно настройки параметров Default Fluid
Fig. 4. Window for setting of Default Fluid parameters

— В окне **Wall Conditions** все оставить без изменения и нажать на **Next**.

— Далее необходимо рассчитать проекции скорости потока на оси связанной с доской системы координат при различных углах атаки (см. таблицу). В данном примере значение скорости потока принимается 2 м/с.

— В окне **Initial Conditions** (рис. 5) в пункте **Thermodynamic Parameters** указать значение **Pressure** (Давление), равное 1013250 Па, что соответствует давлению на глубине около 100 м. В пункте **Velocity Parameters** нужно указать значения проекций скорости потока на оси для моделируемого угла атаки траловой доски, причем в данном

Проекция скорости потока на оси связанной с доской системы координат
при различных углах атаки α
Projection of the flow velocity to the axes of the door-related coordinate system
for certain values of attack angle α

Угол атаки α , град	Проекция на ось X_D , м/с	Проекция на ось Y_D , м/с
10	-1,97	0,35
15	-1,93	0,52
20	-1,88	0,68
25	-1,81	0,84
30	-1,73	1,00
35	-1,64	1,15
40	-1,53	1,29

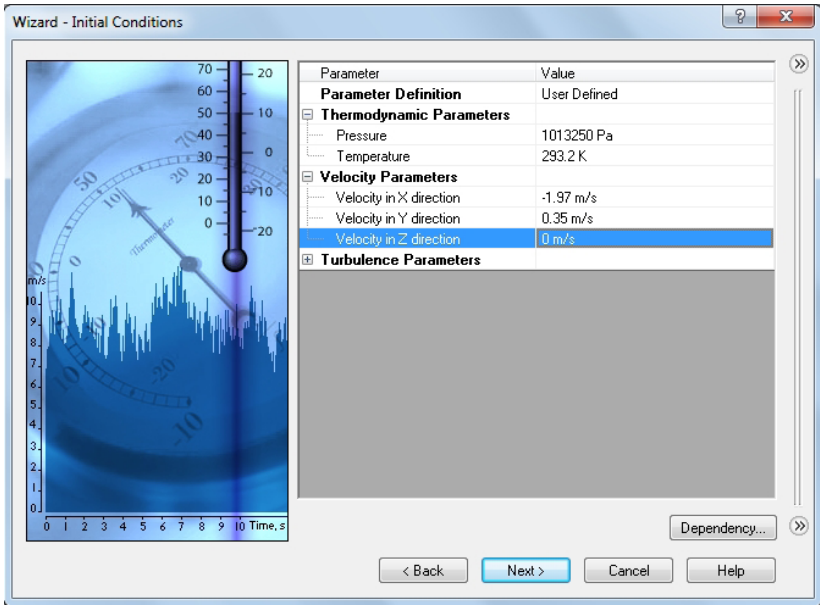


Рис. 5. Окно настройки параметров Initial Conditions
Fig. 5. Window for setting of Initial Conditions parameters

случае проекция скорости потока на ось X направлена в сторону, противоположную оси, следовательно, значение необходимо ввести со знаком «-». Остальные параметры следует оставить без изменения.

— В окне **Results and Geometry Resolutions** (рис. 6) в поле **Result resolution** необходимо установить значение не менее 4, что зависит от производительности компьютера: чем больше производительность, тем большее значение можно выбрать. От этого зависят время моделирования и точность результатов. Для завершения настройки следует нажать **Finish**. После этого в левой части экрана на панели инструментов **Flow Simulation Analysist** в дереве **Projects** можно увидеть созданный проект.

— Далее необходимо сформировать задачи, которые необходимо решить в ходе моделирования. Для начала следует указать общие задачи (Global Goals) — проекции равнодействующих сил и моментов на оси координат (рис. 7). Для этого на панели инструментов **Flow Simulation Analysist** в дереве **Input Data** необходимо вызвать контекстное меню пункта **Goals** и выбрать пункт **Global Goals**. В левой части экрана появится окно **Global Goals**, в нем необходимо выбрать пункты **Force (X)**, **Force (Y)**, **Force (Z)** и **Torque (X)**, **Torque (Y)**, **Torque (Z)**. После этого в ветке **Goals** появятся соответствующие пункты, для удобства их лучше переименовать в соответствующие обозначения F_x, F_y, F_z и T_x, T_y, T_z .

— Далее необходимо вычислить проекции равнодействующей сил на оси X_v и Y_v — поточной системы координат. Для этого необходимо вызвать контекстное меню

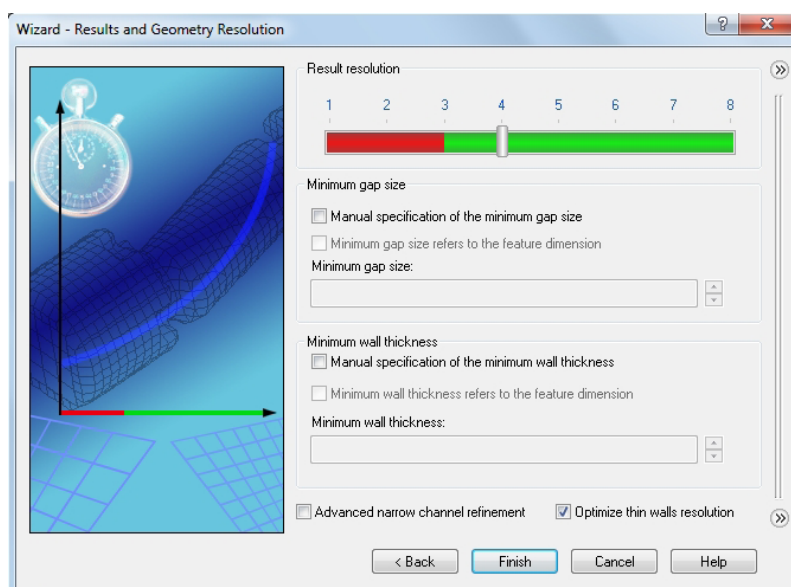


Рис. 6. Окно настройки параметров Results and Geometry Resolutions
Fig. 6. Window for setting of Results and Geometry Resolutions parameters

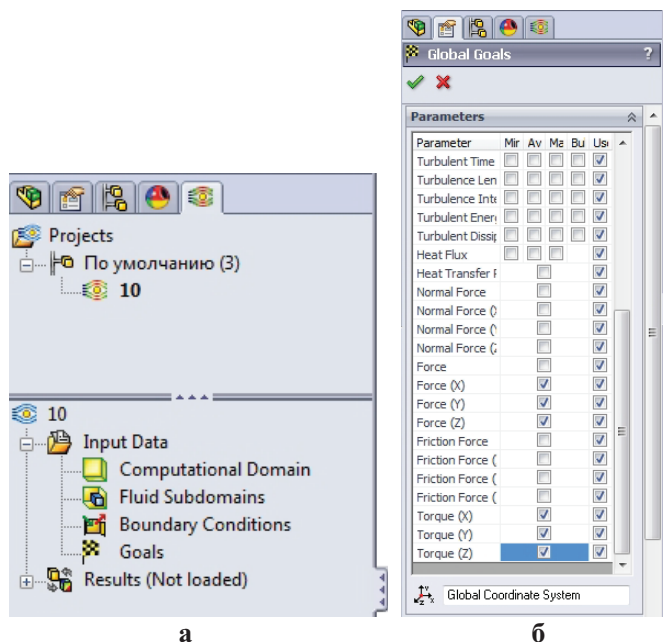


Рис. 7. Панель инструментов Flow Simulation Analysis (a) и окно параметров Global Goals (б)
Fig. 7. Toolbar of Flow Simulation Analysis (a) and window of Global Goals settings (б)

пункта **Goals** и выбрать **Equation Goal** (задача, управляемая уравнением), в окне **Equation Goal** следует ввести уравнение (1) проекции равнодействующей сил на ось X_v (рис. 8). Уравнение для силы F_{xv} записываемое в **Equation Goal**, будет иметь вид $\{F_x\} \cdot \cos(10-0,0175) + \{F_y\} \cdot \sin(10-0,0175)$. После создания задачи ее лучше переименовать в F_{xv} .

Программа позволяет определять проекции гидродинамической силы, действующей на доску на оси земной системы координат (F_x , F_y). Но в расчетах траловых досок используются проекции гидродинамической силы в поточной системе координат, которая определяется по формулам

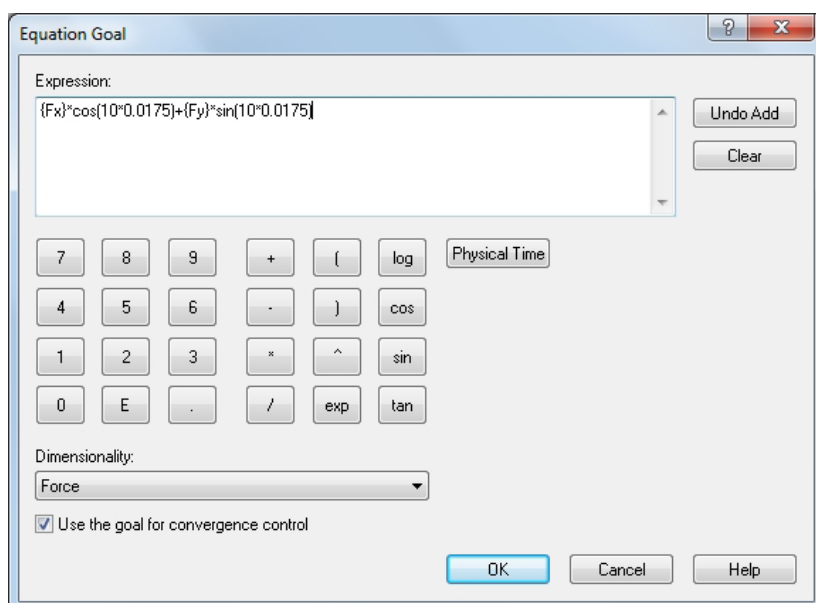


Рис. 8. Окно Equation Goal

Fig. 8. Window of Equation Goal

$$F_{XV} = F_X \cos(\alpha) + F_Y \sin(\alpha); \quad (1)$$

$$F_{YV} = F_X \sin(\alpha) - F_Y \cos(\alpha), \quad (2)$$

где F_{XV} , F_{YV} — проекции равнодействующей сил на оси поточной системы координат; F_X , F_Y — проекции равнодействующей сил на оси досковой системы координат; α — угол атаки траловой доски.

— Точно так же следует сформулировать задачи для следующих уравнений F_{YV} , C_{XV} , C_{YV} , X_D , Z_D . Таким образом будет создан проект моделирования обтекания траловой доски с углом атаки $\alpha = 10^\circ$.

$$C_{XV} = \frac{F_{XV}}{0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S}; \quad (3)$$

$$C_{YV} = \frac{F_{YV}}{0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S}, \quad (4)$$

где C_{XV} , C_{YV} — коэффициенты гидродинамических сил в поточной системе координат; $\rho = 997,6 \text{ кг/м}^3$ — плотность пресной воды при $t = 20^\circ\text{C}$; $V = 2 \text{ м/с}$ — скорость потока; S — площадь траловой доски в плане.

Координаты точки приложения гидродинамической силы траловой доски определяются по формулам

$$\bar{X}_D = \frac{T_Z}{F_Y \cdot b}; \quad (5)$$

$$\bar{Z}_D = \frac{-T_X}{F_Y \cdot h}, \quad (6)$$

где $\bar{X}_D$, $\bar{Z}_D$ — относительные координаты центра давления траловой доски; T_X , T_Z — проекции главного момента на оси досковой системы координат; b — ширина траловой доски; h — высота траловой доски.

Дальнейшее моделирование траловой доски по программе выполняется в следующем порядке.

— На панели инструментов **Flow Simulation Analysist** необходимо вызвать контекстное меню созданного проекта и выбрать **Clone Project**. Появившуюся копию проекта следует переименовать в значение 15 для исследования обтекания с углом атаки $\alpha = 15^\circ$.

— Проект активируется двойным щелчком левой кнопки мыши. В дереве проекта необходимо вызвать контекстное меню пункта **Input Data** и выбрать **Initial Conditions**. В пункте **Velocity Parameters** необходимо ввести значения проекций скоростей на оси координат при угле атаки $\alpha = 15^\circ$ из таблицы.

— В задачах F_{xv} и F_{yv} необходимо исправить значение угла атаки на 15° .

— Точно так же необходимо создать проекты для моделирования обтекания с углами атаки $20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$.

— Далее для запуска моделирования следует в контекстном меню исследуемого проекта выбрать **RUN**, в появившемся окне нажать на **RUN**.

— После проведения расчетов в каждом проекте в ветке **Results** в контекстном меню пункта **Goal Plots** необходимо выбрать **Insert**, а в меню **Goal Plots** — указать задачи C_{xv}, C_{yv}, X_D, Z_D , после чего нажать на **Export to Excel**. Программа выгрузит результаты проекта в файл Excel, после чего их можно обрабатывать.

В качестве примера было проведено моделирование прямоугольной цилиндрической траловой доски проекта 2490 П.П. Аугулиса, площадь доски в плане $S = 4 \text{ м}^2$. Результаты моделирования представлены на рис. 9–11.

Рис. 9. Зависимость коэффициента лобового сопротивления от угла атаки $\bar{X}_D, \bar{Z}_D$

Fig. 9. Drag force coefficient dependence on attack angle $\bar{X}_D, \bar{Z}_D$

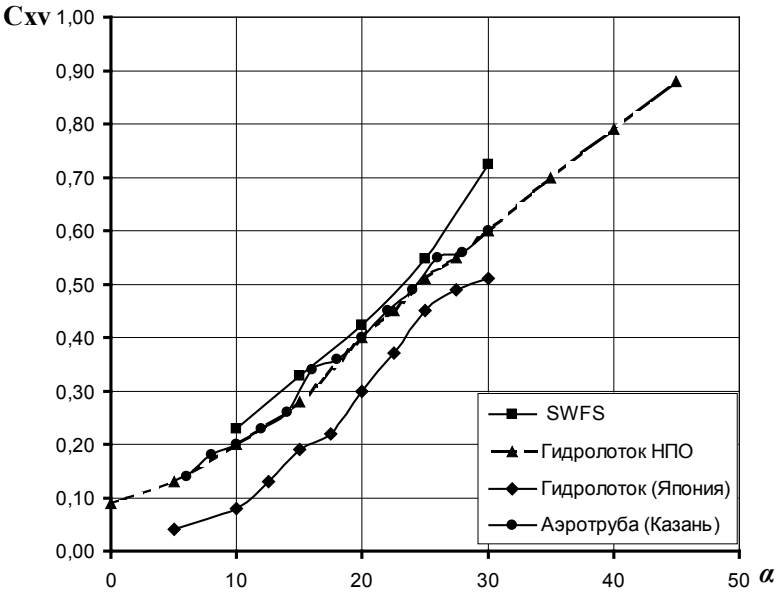
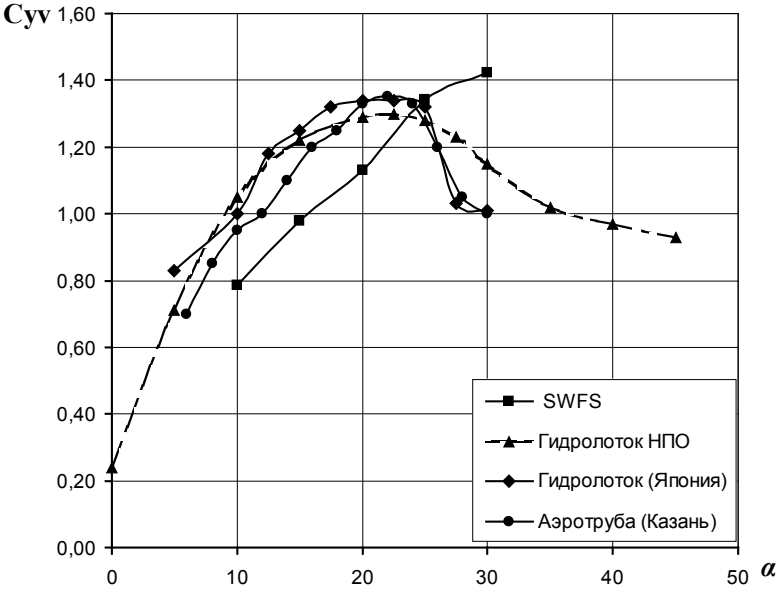


Рис. 10. Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки

Fig. 10. Lifting force coefficient dependence on attack angle



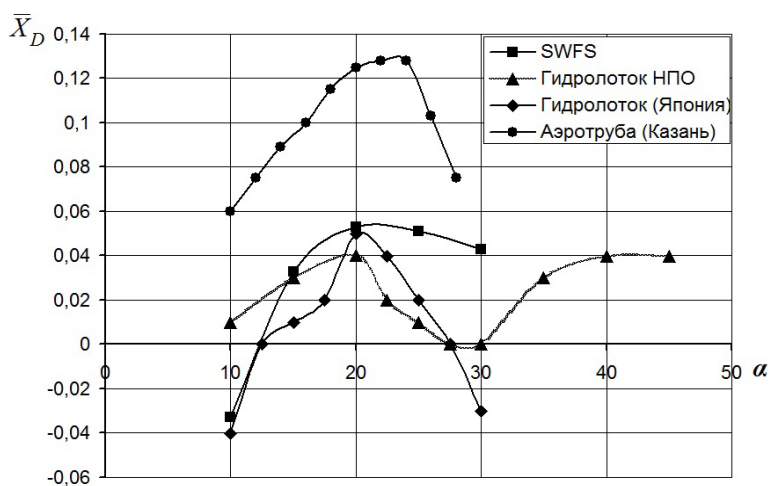


Рис. 11. Зависимость относительных координат центра давления от угла атаки

Fig. 11. Center of pressure dependence on attack angle in relative coordinates

Описанная выше методика определения гидродинамических характеристик траловых досок при помощи моделирования в программе SolidWorks Flow Simulation во многом является альтернативой существующим методам определения гидродинамических характеристик траловых досок, согласно которым испытания их моделей проводятся в гидролотках и аэродинамических трубах.

Выводы

Анализ графиков рис. 9–11 показывает, что моделирование траловых досок в программе SolidWorks Flow Simulation позволяет аналитически получать величины гидродинамических сил, действующих на доску, близкие к данным, полученным экспериментально, что дает возможность избавиться от дорогостоящих испытаний в аэродинамических трубах и гидродинамических лотках.

Список литературы

- Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation : моногр. — М. : ДМК Пресс, 2010. — 464 с.
- Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи : учеб. — СПб. : БХВ-Петербург, 2012. — 448 с.
- Аугулис П.П., Белов В.А. Результаты испытаний моделей траловых досок в гидролотке. — Калининград : НПО промышленного рыболовства, 1987. — 23 с.
- Аугулис П.П., Еремеев Ю.А. Новые конструкции траловых крыловидных досок // Рыб. хоз-во. — 1985. — № 6. — С. 56–57.
- Габрюк В.И. Компьютерные технологии в промышленном рыболовстве : моногр. — М. : Колос, 1995. — 540 с.
- Габрюк В.И. Механика орудий рыболовства в математических моделях, алгоритмах, компьютерных программах : моногр. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2011. — 517 с.
- Габрюк В.И. Параметры разноглубинных тралов : моногр. — М. : Агропромиздат, 1988. — 212 с.
- Кудакаев В.В., Осипов Е.В., Бойцов А.Н. Результаты исследований щитков для горизонтального раскрытия траловой системы // Мат-лы междунар. науч.-техн. конф. «Рыболовство-аквакультура». — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2010. — С. 215–219.
- Кузик В.А. Гидродинамические характеристики V-образных конических досок. — Находка : НБАМР, 2002. — 7 с.
- Рыкунов Э.М. Технология изготовления круглых сферических досок // Рыб. хоз-во. — 1972а. — № 10. — С. 52–54.
- Рыкунов Э.М. Исследование работы семи конструкций траловых досок при пелагическом тралении // Изв. ТИНРО. — 1972б. — Т. 84. — С. 6–37.
- Чернецов В.В. Управление полями скоростей в траловых системах с учётом поведения гидробионтов : моногр. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2009. — 110 с.
- Reite K.-J. Modeling and control of trawl systems : doctoral thesis for the degree of doctor ingeniør. — Trondheim : NTNU, 2006. — 250 p.

Поступила в редакцию 11.03.16 г.