

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ КРУЧЕННЫХ ВЕРЁВОК И КАНАТОВ

© 2023 г. **А.А. Недоступ** (spin: 7035-5279), **А.О. Ражев** (spin: 4535-5888),  
**П.В. Насенков** (spin: 7434-6253), **Е.И. Сергеев** (spin: 8513-8316)

*Калининградский государственный технический университет  
(КГТУ), Россия, Калининград, 236022  
E-mail: nedostup@klgtu.ru*

Поступила в редакцию 20.06.2023 г.

В статье затрагивается вопрос расчёта движения, обтекания и гидродинамических качеств крученых верёвок и канатов. Внешняя форма крученых верёвок и канатов разнится в зависимости от условий, при которых её нужно эксплуатировать. Для верного выбора крученых верёвок и канатов проводят экспериментальные исследования на специальных установках, а также при помощи компьютерной симуляции. Определяющими гидродинамическими коэффициентами крученых верёвок и канатов являются коэффициент силы сопротивления, коэффициент паспортной (заглубляющей) силы и коэффициент боковой силы. Компьютерное моделирование крученых канатов начинает широко использоваться для поиска оптимальных решений их крутки с точки зрения гидродинамики и прочности.

*Ключевые слова:* верёвка, канат, гидродинамика, эксплуатация, исследования, моделирование.

### ВВЕДЕНИЕ

Гидромеханика ставит вопрос: «Задача только тогда считается решённой, когда скорости, действующие силы и другие характеристики движения определены в каждой точке и для каждого момента времени» (Федявский и др., 1968). Для расчёта движения и обтекания крученых канатных и верёвочных изделий (далее КВИ), из которых изготовлены сложные формоизменяемые орудия рыболовства (рис. 1), то есть определения положения в водном пространстве и гидродинамических качеств, необходимо знание результирующих гидродинамических сил и моментов, к которым приводится силовое взаимодействие среды и КВИ, при разных скоростях и направлениях движения КВИ. Определение этих сил и моментов составляет одну из основных задач ги-

дромеханики КВИ. Сюда входят вопросы об определении лобового сопротивления, распорной силы, заглубляющей силы, гидродинамических моментов, действующих на КВИ.

Вопросы расчёта КВИ на прочность ставят другую задачу, более сложную и трудную. Для этих расчётов необходимо знание того, как распределены гидродинамические силы по поверхности КВИ в разных случаях движения, а также силы упругости. Следует отметить, что для гидродинамических сил характерно неравномерное их распределение. Местные нагрузки могут при этом достигать весьма больших величин, в особенности при больших скоростях траления (Недоступ и др., 2020 а, б, в).

При проектировании КВИ возникает, во-первых, задача выбора внешних форм (количество круток). Было бы

неправильно представлять себе, что для всех случаев существует наилучшая, так сказать, идеальная форма КВИ. На самом деле каждой скорости или другому условию, предъявляемому к КВИ, отвечает своя, наилучшая с гидродинамической точки зрения, внешняя форма. Так, например, КВИ с большей круткой и выпуклыми шагами должны иметь высокую прочность для создания боковой или заглубляющей силы (рис. 2).

Первой задачей гидродинамики при проектировании КВИ является выбор наилучших их внешних форм, соответствующих техническим условиям, предъявляемым к проектируемому объекту. Во-вторых, при проектировании

возникает задача прочности КВИ. Дело в том, что всякая деталь, находящаяся в потоке, изменяет скорости, углы атаки, а, следовательно, и гидродинамические силы потока. Испытание КВИ сопряжено с большими экономическими затратами. Поэтому целесообразно проводить исследования КВИ на специальных установках (в гидроканале, опытовом бассейне или аэродинамической трубе). Но количество таких экспериментов также ограничено, в связи с этим всё большее внимание направлено на изучение гидродинамических полей, а также полей давления на КВИ с помощью компьютерных симуляций (Baiqiang et al., 2021; Winkel, 2003).

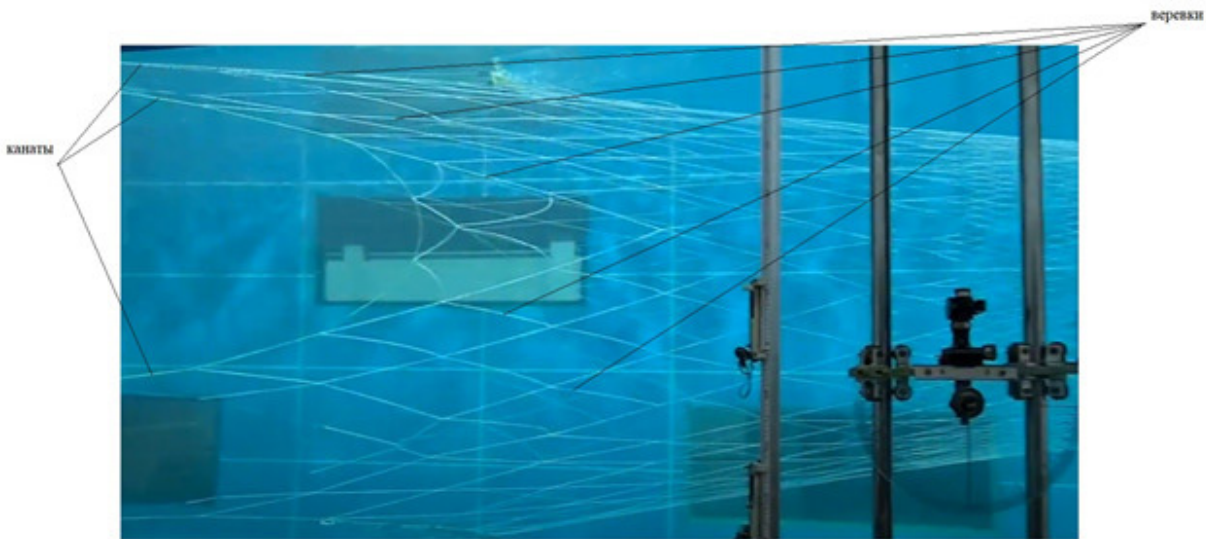


Рис. 1. Верёвки и канаты в потоке жидкости (модель разноглубинного трала в гидроканале).



Рис. 2. Канаты компании Hampidjan.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Определяющую роль в расчётных схемах орудий рыболовства играют значения гидродинамических коэффициентов крученых верёвок и канатов (далее КВИ), расположенных перпендикулярно, параллельно и под углом  $\alpha$  к потоку (Белов и др., 1978; Белов и др., 1980; Белов, 2000): коэффициент силы сопротивления  $c_x$ , коэффициент распорной (заглубляющей) силы  $c_y$  и коэффициент боковой силы  $c_z$ . Исследованию гидродинамических характеристик КВИ посвящены работы: (Winkel, 2003; Белов и др., 1978; Белов и др., 1980; Белов В.А., 2000). Известно, что гидродинамическое сопротивление  $R_x$  плохообтекаемых тел, а КВИ относятся именно к таким телам, непосредственно связано с явлением вибрации, возникающей при движении КВИ в жидкости или при обтекании их потоком воды.

Коэффициент  $c_x$  зависит от следующих параметров (как и для  $c_y$  и  $c_z$ ):

$$c_x = f(\text{Re}, Fr, Sh, A/d, n, d/S_n, T, t, f, \alpha, M_m, K_m), \quad (1)$$

где  $\text{Re}$  – число Рейнольдса КВИ,  $\text{Re}=dv/v$  ( $v$  – коэффициент кинематической вязкости воды);  $Fr$  – число Фруда,  $Fr=\rho v^2/g^*d$  ( $\rho$  – плотность воды;  $g^*$  – объёмный вес в воде КВИ);  $Sh$  – число Струхаля,  $Sh=L/vt$  ( $L$  – характерный линейный размер (перемещение КВИ),  $t$  – время процесса);  $f$  – частота вынужденных колебаний КВИ в потоке;  $A$  – амплитуда колебаний КВИ;  $n=0,73/d$  – количество круток КВИ на 1мм (Недоступ, 2008)  $d/S_n$  – коэффициент удлинения КВИ;  $T$  – натяжение КВИ;  $\alpha$  – угол атаки КВИ;  $M_m$  – характеристика материала КВИ;  $K_m$  – характеристика крутки КВИ (левая, правая).

Определить в явном виде зависимость (1) весьма сложно, что подтверж-

дается исследованиями (Белов и др., 1978; Белов и др., 1980; Мейлер, 1989; Садовников, 1980 а, б, в). Отметим, что функциональная зависимость (1) справедлива для динамических процессов. Влияние колебаний КВИ или их вибрации на  $c_x$ ,  $c_y$  и  $c_z$  необходимо рассматривать в динамике. Для стационарных же процессов можно не учитывать влияние параметров:  $Sh$ ,  $A/d$ ,  $f$ ,  $T$  и  $t$  на гидродинамические коэффициенты  $c_x$ ,  $c_y$  и  $c_z$ :

$$c_x = f(\text{Re}, n, d/S_n, \alpha, M_m, K_m). \quad (2)$$

А.Л. Фонарев (Фонарев, 1994) на основании обработки экспериментальных данных получил формулу для расчёта сопротивления цилиндра, расположенного под углом к потоку жидкости:

$$c_x = c_0\pi/4\delta^{-1} + (c_{90} - c_0\pi/4\delta^{-1})\sin^{2,5}\alpha, \quad (3)$$

где  $c_0$  – гидродинамический коэффициент силы сопротивления КВИ бесконечного удлинения, ось которого расположена параллельно направлению движения потока жидкости;  $c_{90}$  – гидродинамический коэффициент силы сопротивления КВИ бесконечного удлинения, ось которого расположена перпендикулярно направлению движения потока жидкости;  $\delta$  – вектор скорости набегающего потока жидкости. А.Л. Обвинцевым (Обвинцев, 1989) получены средние значения гидродинамических коэффициентов КВИ по  $c_0$  и  $c_{90}$ .

В монографии (Габрюк, Кулагин, 2000) приводятся расчётные формулы коэффициентов канатов

$$\left. \begin{aligned} c_x &= -(c_{11} \cdot \sin^2 \alpha + c_{12} \cdot \sin^4 \alpha + c_{13} \cdot \cos^2 \alpha) \\ c_y &= \pm (c_{21} \cdot \sin \alpha \cos \alpha + c_{22} \cdot \sin^3 \alpha \cos \alpha) \\ c_z &= -(c_{31} \cdot \sin \alpha \cos \alpha + c_{32} \cdot \sin^3 \alpha \cos \alpha) \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где  $c_{11}=0,449$ ;  $c_{12}=0,55$ ;  $c_{13}=0,023$ ;  $c_{21}=0,035$ ;  $c_{22}=0,14$ ;  $c_{31}=0,244$ ;  $c_{32}=0,65$  -

для шестипрядных канатов;  $c_{11}=0,883$ ;  $c_{12}=0,134$ ;  $c_{13}=0,023$ ;  $c_{21}=0,046$ ;  $c_{22}=0,13$ ;  $c_{31}=0,263$ ;  $c_{32}=0,697$  – для трёхпрядных канатов. Приведённые формулы (4) справедливы при условии  $Re < 10^4$  и  $\alpha < 30^\circ$ . Причём, значения  $c_y$ , подсчитанные по второй формуле (4), не согласуются с экспериментальными данными (Габрюк, Кулагин, 2000).

Для прямолинейных КВИ гидродинамические коэффициенты  $c_x$ ,  $c_y$  и  $c_z$  могут быть определены по формулам (Розенштейн, 2000):

$$S_A = 16\pi^2 r_0^2 \text{mean} \left[ \int_{r_1}^{r_2} S_V dr \right] (1852)^2, \quad (5)$$

где  $b$  – эмпирический коэффициент ( $b=0,65$  при  $18\text{мм} \leq d \leq 20\text{мм}$ ;  $b=0,8$  при  $21\text{мм} \leq d \leq 25\text{мм}$ ;  $b=0,65$  при  $25\text{мм} \leq d$ ).

Hu F. (Hu et al., 2005) предложил для расчёта КВИ использовать формулы:

$$\int_{r_1}^{r_2} S_V dr \approx \Delta r \sum_{r_1}^{r_2} S_{V_i}, \quad (6)$$

где  $c_{90}=4,731Re^{-0,177}$ ;  $l_x$ ,  $m_y$  и  $n_z$  – направляющие косинусы по осям OX, OY и OZ соответственно. Причём при  $\alpha=0^\circ$   $c_x=0$ , что противоречит действительности.

Отметим, что В.Н. Стрекалова (Стрекалова, 1964), в соответствии с выводами академика А.Н. Крылова, теоретически и экспериментально доказала, что лучшее совпадение с экспериментальными данными имеют коэффициенты, соответствующие силе сопротивления, пропорциональной  $\sin^2\alpha$ .

С учётом вышеприведенных формул можно сделать следующие выводы:

1. Нет однозначности использования той или иной формулы для расчё-

та гидродинамических коэффициентов КВИ.

2. Необходимо определить явные зависимости коэффициентов  $c_{90}$  и  $c_0$  КВИ.

3. Необходимо определить, из числа приведённых, зависимости коэффициентов  $c_x$ ,  $c_y$  и  $c_z$  КВИ, адекватно воспроизводящие гидродинамические процессы.

Первично определим зависимости для гладких цилиндров:

$$\left. \begin{aligned} c_{90} &= f(Re, d/S_n) \\ c_0 &= f(Re, d/S_n) \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где  $d$  – диаметр цилиндра или КВИ;  $S_n$  – длина КВИ; при расчёте сопротивления нитки ячеи сети  $a=S_n$ .

На основании табличных данных по коэффициенту сопротивления цилиндров  $c_{90}$  и  $c_0$  приведём аппроксимирующие зависимости (Недоступ, 2010; Winkel, 2003):

– для диапазона  $10 \leq Re \leq 3 \times 10^3$

$$\left. \begin{aligned} c_{90} &= k(0,92 + 52,41Re^{-1} - 773Re^{-2} + \\ &+ 4576Re^{-3}) \\ c_{90} &= b_1 k Re^{-b_2} \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

где  $k$  – поправочный коэффициент, учитывающий удлинение цилиндра или КВИ,  $k=f(d/S_n)$ ;  $b_1=3,0$  и  $b_2=0,15$  – коэффициенты для гладких цилиндров,

– для диапазона  $10 \leq Re \leq 3,3 \times 10^5$

$$c_0 = b_3 k^{-1} Re^{-b_2}, \quad (9)$$

где  $b_3=0,05$  – коэффициент для гладкого цилиндра.

Поправочный коэффициент  $k$  определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{1 + (d/S_n)^{1/3}} \quad (10)$$

Представим зависимости коэффициентов  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  КВИ в виде

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= f(n, M_m, K_m) \\ b_2 &= f(n, M_m, K_m) \\ b_3 &= f(n, M_m, K_m) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

На основании экспериментальных данных (Lee et al., 2007) определены коэффициенты для шестипрядных полиэтиленовых КВИ:  $b_1=4,2$ ,  $b_2=0,16$  и  $b_3=0,1$  (Недоступ, 2008).

Приведём результаты расчёта коэффициентов  $c_x$  и  $c_y$  гладкого цилиндра, имеющего следующие характеристики:  $1,0\text{мм} \leq d \leq 200,0\text{мм}$  – диаметр;  $S_n=200\text{мм}$  – длина;  $0,005 \leq d/S_n \leq 1,0$ ;  $1^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$  – угол атаки;  $10 \leq Re \leq 3 \times 10^3$ ;  $\nu = 1,1 \times 10^{-6} \text{м}^2/\text{с}$  (см. рис. 3 и 4). Для расчёта коэффициента  $c_x$  принята первая формула (5), для расчёта коэффициента  $c_y$  использована вторая формула (6).

Необходимо отметить, что для условия  $1^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$  справедлива формула для расчёта гидродинамического коэффициента сопротивления КВИ:

$$c_x = c_{90} \sin^2 \alpha .$$

При  $\alpha=0^\circ$ , используя вышеприведённую формулу, имеем  $c_x=0$ , что отлично от значения  $c_0$ , которое не равно 0.

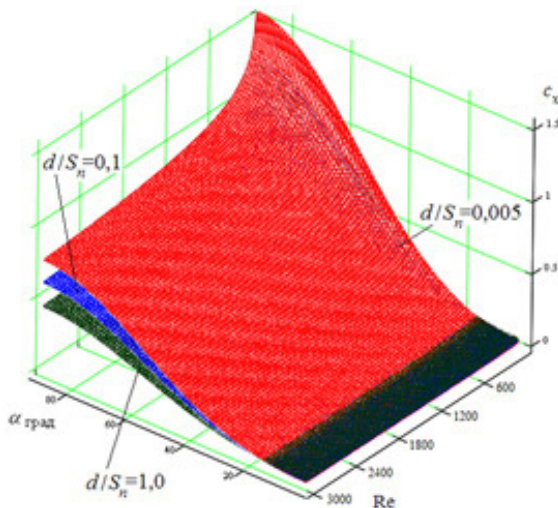


Рис. 3. График зависимости  $c_x=f(Re, d/S_n, \alpha)$ .

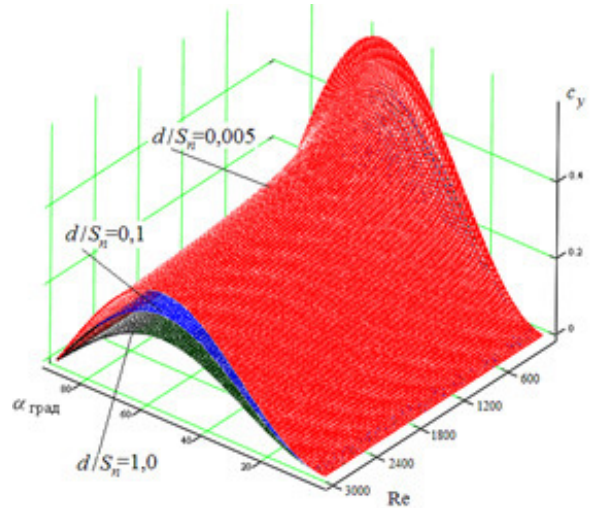


Рис. 4. График зависимости  $c_y=f(Re, d/S_n, \alpha)$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Компьютерное моделирование крученых канатов начинает широко использоваться для поиска оптимальных решений их крутки с точки зрения гидродинамики и прочности. Компьютерное моделирование крученых канатов с целью расчёта её гидродинамических коэффициентов проводилось на разработанном авторами программном обеспечении. Расчёт проводился на основе системы дифференциальных уравнений в частных производных Навье-Стокса (12), дополненной уравнениями неразрывности, в которые было введено понятие искусственной сжимаемости среды:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + v_x \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial x} + v_y \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial y} + v_z \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial z} = \mathbf{v} \left( \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) \mathbf{i} + \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) \mathbf{j} + \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) \mathbf{k} \right) - \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial p}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial p}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial p}{\partial z} \mathbf{k} \right), \end{aligned} \quad (12)$$

$$\alpha \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad (13)$$

где  $\mathbf{v}$  – вектор скорости в узле расчётной сетки;  $v_x, v_y, v_z$  – коэффициенты разложения  $\mathbf{v}$  по ортогональному базису с базисными векторами  $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ ;  $\nu$  – кинематическая вязкость воды;  $p$  – давление (относительное) в узле расчётной сетки;  $\alpha$  – коэффициент искусственной сжимаемости среды;  $t$  – время.

Расчёт проводился на регулярной расчётной сетке явным конечно-разностным методом с ограничениями первого рода по полю скоростей на границах расчётной сетки  $V_\Gamma$  и на поверхности траловой доски  $V_D$ , и с ограничениями первого рода по полю давлений на границах расчётной сетки  $P_\Gamma$

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_{\Gamma i,j,k} &= (\nu, 0, 0) \\ \mathbf{v}_{D i,j,k} &= \mathbf{0} \\ p_{\Gamma i,j,k} &= 0 \end{aligned}, \quad (14)$$

где  $i, j, k$  – индексы узлов расчётной сетки в базисе  $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ , – ориентирован по направлению потока жидкости.

Начальные значения поля скоростей и давлений устанавливались согласно

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_{i,j,k} &= (\nu, 0, 0) \\ p_{i,j,k} &= 0 \end{aligned}, \quad (15)$$

Полученные конечные разности расщеплялись по базисным векторам с получением  $12n$  более простых уравнений, где  $n$  – количество узлов расчётной сетки. Далее, полученные уравнения приводились к трёх-диагональной системе линейных алгебраических уравнений с введением нелинейных коэффициентов  $\nu_x, \nu_y, \nu_z$  и решались методом прогонки с последующей коррекцией нелинейных коэффициентов

во внешнем цикле каждого временного слоя.

Результатом расчёта являлось поле давлений на поверхности крученого каната, по которому вычислялись силы гидродинамического сопротивления

$$(R_x, R_y, R_z) = \iint_S p_d \mathbf{n} ds \approx \sum_{\Phi} p_d \mathbf{n} \Delta s, \quad (16)$$

где  $S$  – поверхность крученого каната;  $s$  – площадь поверхности;  $\Delta s$  – площадь поверхности, ограниченная соседними узлами расчётной сетки;  $\mathbf{n}$  – вектор нормали к участку поверхности.

Гидродинамические коэффициенты вычислялись согласно (Недоступ, 2008).

На рисунке 5 изображены результаты компьютерного моделирования крученых канатов.

Верификация полученных результатов проводилась с учётом полученных данных с натуральных экспериментов. Расхождение расчётных и экспериментальных значений сил гидродинамического сопротивления и гидродинамических коэффициентов составило не более 8%, что удовлетворяет условиям, накладываемых на расчёт КВИ и орудий промышленного рыболовства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компьютерное моделирование крученых веревок и канатов обеспечивают совместные исследования гидродинамики КВИ. Наилучшими гидродинамическими характеристиками КВИ являются: минимальное значение коэффициента сопротивления  $c_x$ , высокая статическая и динамическая устойчивости, а также прочность. Важным средством для верификации результатов компьютерного моделирования является верификация полученных экспериментальных данных в гидроканале.

Исследование выполнено в рамках выполнения государственного задания

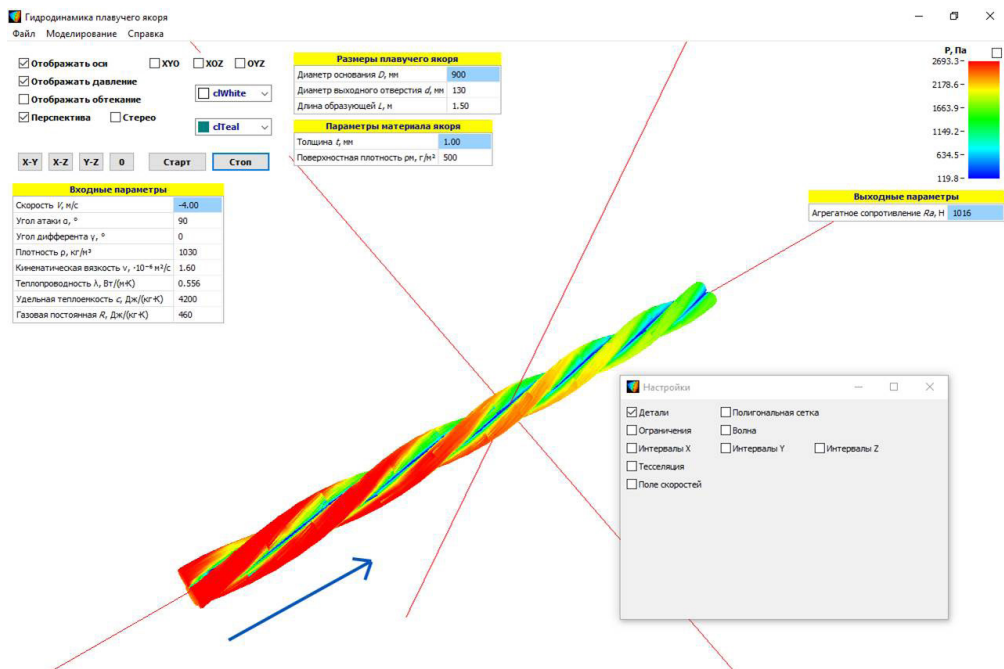


Рис. 5. Компьютерное моделирование крученого каната.

по теме «Разработка физических, математических и предсказательных моделей процессов эксплуатации донного и разноглубинного траловых комплексов».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белов В.А., Мейлер Л.Е., Перовищиков В.Г. Форма, параметры колебаний и сопротивление гибкой нити в потоке // Рыбн. хозяйство. 1978. № 7. С. 51–53.

Белов В.А., Мейлер Л.Е., Перовищиков В.Г. О гидродинамическом сопротивлении колеблющего троса // Сборник трудов НТО им. Акад. А.Н. Крылова. 1980. Вып. 322. С. 15–18.

Белов В.А. Гидродинамика нитей, сетей и сетных конструкций. Калининград: Изд-во МариНПО. 2000. 201 с.

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

Мейлер Л.Э. Аппроксимация зависимости коэффициента сопротивления шести-прядного каната от угла атаки, силы натяжения и скорости потока // Проектирование и эксплуатация техники промышленного рыболовства: Всесоюзная отраслевая научно-тех-

ническая конференция: сб. тезисов. Калининград, 1989. С. 84–86.

Недоступ А.А., Насенков П.В., Ражев А.О., Коновалова К.В., Федоров С.В. Обоснование правил подбора разрывной нагрузки рыболовных крученых изделий // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань. АГТУ. №1. 2020 а. С. 38–45.

Недоступ А.А., Коновалова К.В., Насенков П.В., Ражев А.О., Альтишуль Б.А., Федоров С.В. Относительная жесткость рыболовных крученых изделий // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань. АГТУ. №1. 2020 б. С. 46–60.

Недоступ А.А., Ражев А.О., Наумов В.А., Дятченко С.В., Коновалова К.В., Соколова Е.В. Расчёт прогиба композитного ваера численным методом точечных масс при компьютерном моделировании // Морские интеллектуальные технологии. № 2. Т. 1. 2020 в. С. 210–215.

Недоступ А.А. Метод расчёта силовых и геометрических характеристик ставных сетей. Физическое и математическое моделиро-

вание ставных сетей / А.А. Недоступ // Известия ТИНРО. 2008. Т. 154. С. 295–323.

*Обвинцев А.Л.* Определение гидродинамических характеристик слабонагруженных ниток, верёвок и канатов // Проектирование и эксплуатация техники промышленного рыболовства: Всесоюзная отраслевая научно-техническая конференция: сборник тезисов докладов. Калининград, 1989. С. 89–91.

*Розенштейн М.М.* Механика орудий рыболовства. Калининград: Изд-во КГТУ, 2000. 364 с.

*Садовников Ю.М.* Натурные испытания тросов. Технический отчёт № 19778. Л., 1980 а. 18 с.

*Садовников Ю.М.* Гидродинамические испытания гибких связей различных конструкций в натуральных условиях. Технический отчёт № 20008. 1980 б. 24 с.

*Садовников Ю.М.* Гидродинамические испытания гибких связей различных конструкций в лабораторных условиях. Технический отчёт № 20015. 1980 в. 21 с.

*Стрекалова В.Н.* О законе изменения сил сопротивления элемента троса // Сборник трудов КТИРПиХ. 1964. Вып. XVII. С. 121–128.

*Федявский К.К., Войткунский Я.И., Фадеев Ю.И.* Гидромеханика. Л.: Изд-во судостроения. 1968. 565 с.

*Фонарев А.Л.* Сопротивление круглого цилиндра // науч. тех. конф. проф.-препод. состава, асп. м студ.: сб. тез. докл. / КТИРПИХ. Калининград, 1994. С. 11–13.

*Baiqiang Zou, Nyatchouba Nsangue Bruno Thierry, Hao Tang, Liuxiong Xu, Cheng Zhou, Xuefang Wang, Shuchuang Dong, Fuxiang Hu.* Flow field and drag characteristics of netting of cruciform structures with various sizes of knot structure using CFD models // Applied Ocean Research. 2021. V / 106. P. 1–12.

*Hu F., Shiode D., Wan R., Tokai T.* Accuracy evaluation of numerical simulation for mid-water trawl nets. Methods for the development and evaluation of maritime technologies DEMaT. 2005. P. 59–70.

*Lee M.K., Lee C.W., Song D.H.* Experiments on hydrodynamic coefficients of netting in relation to mesh grouping // Methods for the development and evaluation of maritime technologies DEMaT. 2007. P. 35–44.

*Winkel H.-J.* Hydrodynamic forces at a smooth cable – scrouton spiral/ International workshop – Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems DEMaT. 2003. P. 251–260.



EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCH

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL  
INVESTIGATIONS OF HYDRODYNAMICS  
OF TWISTED ROPES AND ROPES**

© 2023 y. A.A. Nedostup, A.O. Razhev, P.V. Nasenkov, E.I. Sergeev

*Kaliningrad State Technical University, Russia, Kaliningrad, 236022*

The article addresses the issue of calculating the movement, flow and hydrodynamic qualities of twisted ropes. The external form of twisted ropes varies depending on the conditions under which it must be operated. For the correct choice of twisted ropes, experimental studies are carried out on special installations, as well as using computer simulations. The determining hydrodynamic coefficients of twisted ropes are the resistance force coefficient, the passport (deepening) force coefficient and the lateral force coefficient. Computer modeling of twisted ropes is beginning to be widely used to find optimal solutions for their twisting in terms of hydrodynamics and strength.

*Keywords:* thread, rope, hydrodynamics, operation, research, modeling.