

УДК 639.2.081.11:004.9
ББК 47.225.2:32.973.3

А. А. Недоступ, А. О. Ражев, Д. А. Володько

ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАВНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СЕТИ¹

А. А. Nedostup, А. О. Razhev, D. A. Volodko

RESEARCHES OF GEOMETRICAL AND FORCE CHARACTERISTICS OF GILL NET

Приводится метод расчета геометрических и силовых характеристик ставной пространственной сети. Для расчета характеристик всех элементов сети сначала определяются координаты базовых узлов сетного полотна в трехмерном пространстве, по которым методом интерполяции определяются координаты всех узлов ставной пространственной сети. По координатам узлов вычисляются гидродинамические коэффициенты, определяются гидродинамические силы и силы натяжения в нитках сети. Приведены результаты опытов с моделью пространственной ставной сети и анализ полученных результатов. При помощи компьютерной программы смоделирован трехмерный вид пространственной ставной сети и сопоставлен с фотографиями, полученными экспериментально.

Ключевые слова: пространственная ставная сеть, математическая модель, компьютерная программа, экспериментальное исследование, геометрические и силовые характеристики.

The method of calculation of geometrical and force characteristics of a gill net is given. For calculation of characteristics of all the elements of a gill net, at first, the coordinates of the basic nodes of a gill net in three-dimensional space are determined; by them the coordinates of all the nodes of a gill net are determined using the method of interpolation. By the coordinates of nodes hydrodynamic coefficients are calculated, hydrodynamic forces and tension forces in threads of a gill net are defined. The results of experiences with a model of a gill net and the analysis of the received results are given. By means of the computer program the three-dimensional type of a gill net is simulated and compared with the photos taken experimentally.

Key words: gill net, mathematic model, computer program, experimental research, geometric and force characteristics.

Введение

Одним из направлений исследования механики сетных орудий рыболовства является использование шарнирно-стержневой модели (дискретная модель). Дискретная модель сети представляет собой оболочку в виде конструкции шарнирно соединенных стержней (стержень – это сторона ячеи), а узел представляет собой шарнир. В процессе раскрытия сети рассчитываются соответствующие гидродинамические и гидростатические силы, действующие на каждую моделируемую ячею, и определяется нагрузка, приложенная к каждой нитке. По результатам расчетов с помощью компьютера вычерчиваются проекции орудия лова или 3D-вид [1]. Видны все перекосы сети, ее слабина и другие конструктивные недостатки. Проектирование сетных орудий рыболовства, например рыболовных сетей и многих других орудий рыболовства, требует проведения колоссальных объемов вычислений, т. к. сетная часть состоит из огромного количества ячей. Зачастую требуется изучить поведение натурального орудия рыболовства, что практически невозможно путем натурального эксперимента. Поэтому возникает необходимость в способах, позволяющих достаточно просто рассчитывать сложные системы, такие как сетные орудия рыболовства, состоящие из тысяч элементов.

Метод расчета

Предлагаемый метод расчета пространственной сети (ПС) основан на определении координат узлов сети по известным расчетным параметрам сети, таким как L_m – расстояние между яко-

¹ Статья подготовлена в рамках выполнения гранта РФФИ № 11-08-00096-а.

рями; L_{ot} – длина наклонной оттяжки; L_{o1}, L_{o2} – горизонтальные проекции первой и второй оттяжек; H_1, H_2 – вертикальные проекции первой и второй оттяжек; l_1, l_2 – горизонтальные проекции первой и второй части ПС; h_1, h_2 – вертикальные проекции первой и второй части ПС; lz_2, hz_2 – проекции хорд 2-й части верхней подборы ПС; β – угол поворота ПС к плоскости OZY ; θ_1, θ_2 – углы наклона оттяжек к плоскости OXY ; δ_1, δ_2 – углы наклона оттяжек к плоскости OXZ .

Для нахождения этих параметров можно применить метод расчета, описанный в [2].

Расчет координат узлов. По заданным расчетным параметрам определим координаты шести точек (рис. 1):

$$\begin{aligned} \overline{Xy_1} &= (0, 0, L_m), \\ \overline{Xy_2} &= (0, 0, 0), \\ \overline{Xu_1} &= (L_o, H_1, L_m - L_{ot} \cos \theta_1 \sin \delta_1), \\ \overline{Xu_2} &= (L_{o2}, H_2, L_m - L_{ot} \cos \theta_1 \sin \delta_1), \\ \overline{Xd_1} &= (L_{o1} + l_1 \cos \beta, H_1 - h_1, L_m - L_{ot} \cos \theta_1 \sin \delta_1 + l_1 \sin \beta), \\ \overline{Xd_2} &= (L_{o2} + l_2 \cos \beta, H_2 - h_2, L_m - L_{ot} \cos \theta_2 \sin \delta_2 + l_2 \sin \beta); \end{aligned}$$

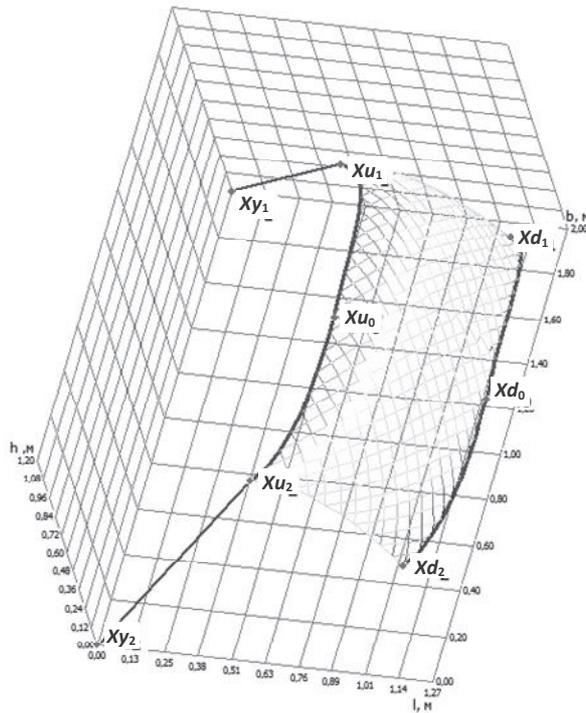


Рис. 1. Расчетные точки пространственной ставной сети

Составим систему уравнений для плоскости в векторной форме:

$$\begin{cases} \overline{K} \bullet \overline{Xy_2} = 1, \\ \overline{K} \bullet \overline{Xu_1} = 1, \\ \overline{K} \bullet \overline{Xu_2} = 1, \end{cases} \quad (1)$$

где $\overline{K} = (K_l, K_h, K_b)$ – коэффициенты плоскости, проходящей через три точки Xy_1, Xu_1 и Xu_2 . В системе уравнений (1) символом \bullet обозначено скалярное произведение векторов.

Найдем h -координату точки $\overline{Xu}_0 = (L_{o2} + lz_2, \overline{Xu}_{0h}, L_{ot} \cos \theta_2 \sin \delta_2 + hz_2)$, подставив в систему уравнений плоскости (1) две другие ее координаты.

Найдем $\overline{Xd}_0 = (L_{o2} + l_2 \cos \beta + lz_2, \overline{Xu}_{0h} - (h_1 + h_2) / 2, L_{ot} \cos \theta_2 \sin \delta_2 + l_2 \sin \beta + hz_2)$.

Для нахождения координат всех узлов сети воспользуемся следующим алгоритмом:

1. Находим координаты всех узлов верхней и нижней подбор.
2. Соединяем каждый узел верхней подборы с соответствующим узлом нижней подборы кривой.
3. Находим координаты всех $2m + 1$ узлов на каждой кривой, располагая их через равные

расстояния $r = \sqrt{\Delta l^2 + \Delta h^2 + \Delta b^2}$.

4. На получившейся сетке строим нити сети (рис. 2).

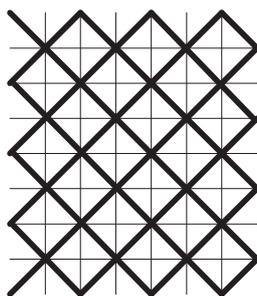


Рис. 2. Нити, построенные на сетке

Параметры кривой, соединяющей узлы верхней и нижней подбор, определяются из системы параметрических уравнений:

$$\begin{cases} l = l_0 + (l_{2m} - l_0)t, \\ h = h_0 - (h_0 - h_{2m})t^2, \\ b = b_0 + (b_{2m} - b_0)t, \end{cases}$$

где параметр $t \in [0; 1]$; (l_0, h_0, b_0) – точка на верхней подборе; (l_{2m}, h_{2m}, b_{2m}) – точка на нижней подборе.

Координаты узлов верхней и нижней подбор вычисляются по одному алгоритму:

– для верхней подборы:

$$(l_0, h_0, b_0) = \overline{Xu}_0, (l_1, h_1, b_1) = \overline{Xu}_1, (l_2, h_2, b_2) = \overline{Xu}_2;$$

– для нижней подборы:

$$(l_0, h_0, b_0) = \overline{Xd}_0, (l_1, h_1, b_1) = \overline{Xd}_1, (l_2, h_2, b_2) = \overline{Xd}_2.$$

Находим коэффициенты k_1 , k_2 и k_3 , решая систему уравнений

$$\begin{cases} k_1 b_0^2 = k_2 b_0 + k_3 = h_0, \\ k_1 b_1^2 = k_2 b_1 + k_3 = h_1, \\ k_1 b_2^2 = k_2 b_2 + k_3 = h_2. \end{cases}$$

Кривая, проходящая через узлы подборы, определяется из системы параметрических уравнений:

$$\begin{cases} l = (1-t)^2 l_2 + 2t(1-t)l_0 + t^2 l_0, \\ b = (1-t)^2 b_2 + 2t(1-t)(b_2 + \tan \delta_2 (l_0 - l_2)) + t^2 b_0, \text{ если } t \leq 1 \\ h = k_1 b^2 + k_2 b + k_3, \end{cases}$$

$$\begin{cases} l = (2-t)^2 l_0 + 2(t-1)(2-t)l_0 + (t-1)^2 l_1, \\ b = (2-t)^2 b_0 + 2(t-1)(2-t)(b_1 - \tan \delta_1 (l_0 - l_1)) + (t-1)^2 b_1, \text{ если } t > 1, \\ h = k_1 b^2 + k_2 b + k_3, \end{cases}$$

где параметр $t \in [0; 2]$.

Находим координаты всех $2n + 1$ узлов на кривой, располагая их через равные расстояния.

Расчет натяжений в нитках сети. Длина нитки, равная шагу ячейки сети

$$a = \sqrt{\Delta l^2 + \Delta h^2 + \Delta b^2},$$

где $\Delta l, \Delta h, \Delta b$ – проекции нитки.

Нормализуем проекции по длине нитки:

$$\begin{cases} l_N = \cos\left(\beta + \arccos \frac{\Delta l}{a}\right), \\ b_N = \cos\left(\beta + \arccos \frac{\Delta b}{a}\right), \\ h_N = \frac{\Delta h}{a}. \end{cases}$$

Гидродинамические коэффициенты ниток сети [2]

$$\begin{cases} c_l = \frac{c_{90}}{2} (1 - l_N^2 + (1 - l_N^2)^2) + c_0 l_N^2, \\ c_h = c_{90} \frac{l_N h_N^2}{\sqrt{1 - b_N^2}}, \\ c_b = c_{90} \frac{l_N b_N^2}{\sqrt{1 - h_N^2}}; \end{cases}$$

гидродинамические силы ниток сети

$$\begin{cases} R_l = c_l \frac{\rho V^2 da}{2}, \\ R_h = c_h \frac{\rho V^2 da}{2}, \\ R_b = c_b \frac{\rho V^2 da}{2}; \end{cases}$$

сила натяжения в нитке сети

$$T = \sqrt{R_l^2 + \left(R_h + \frac{G}{2n} + \frac{q_s}{4n(m+1)} i\right)^2 + R_b^2},$$

где G – вес нижней подборы; q_s – вес ниток сети; n – количество ячеек по ширине сети; m – количество ячеек по высоте сети; i – номер ряда; V – скорость течения; d – диаметр нитки; ρ – плотность воды; c_{90} – коэффициент сопротивления нитки, расположенной перпендикулярно потоку воды; c_0 – коэффициент сопротивления нитки, расположенной параллельно потоку воды.

Экспериментальная часть

В 2010 г. проводились эксперименты с ПС, у которых верхняя и нижняя подборы представляли собой гибкие элементы (табл.). Эксперименты проходили в гидроканале ЗАО «МариНПО» (г. Калининград) [2] при диапазоне значений скорости 0,2–0,5 м/с с различной загрузкой нижней подборы G . Фотографии моделей № 4 и № 5 ПС представлены на рис. 3 и 4.

Конструктивные характеристики моделей сетей

Модель №	Диаметр нитей d , мм	Шаг ячеек a , мм	Длина сети L , м	Высота сети S , м	Площадь ниток F_n , м ²	Сплошность F_o	Вес в воде q , Н
4	2,1	30	1,2	0,85	0,146	0,14	0,8
5	1,1	55	1,3	0,86	0,045	0,04	0,43

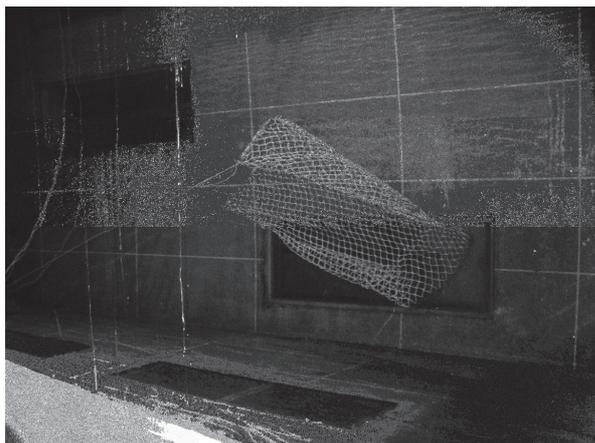


Рис. 3. Модель пространственной сети № 4

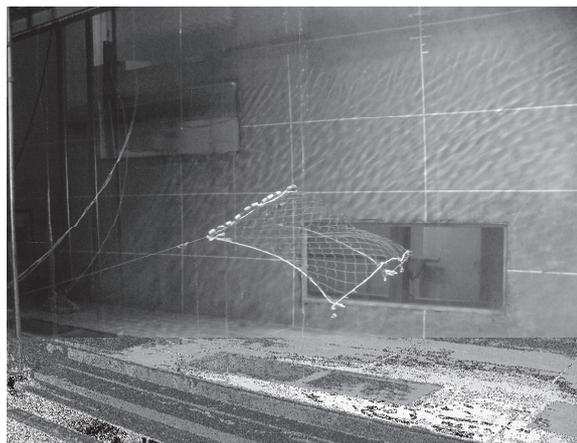


Рис. 4. Модель пространственной сети № 5

Результаты исследований

Сравним результаты эксперимента (рис. 3 и 4) с расчетными 3D-видами (рис. 5, 6), смоделированными компьютерной программой по описанному выше алгоритму. По рис. 5 и 6 видно, что внешний вид ставных сетей, полученных при фотографировании эксперимента в гидроканале ЗАО «МариНПО», и результатов математического моделирования совпадает.

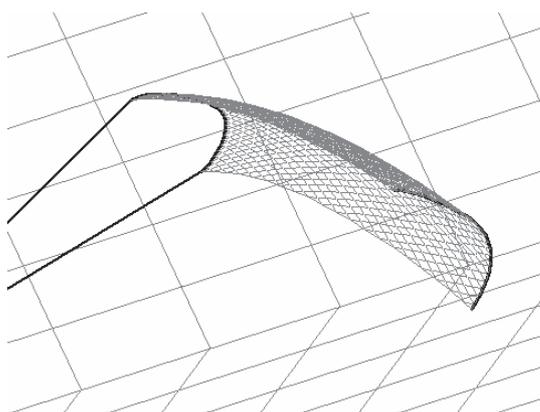


Рис. 5. Компьютерная модель пространственной сети № 4

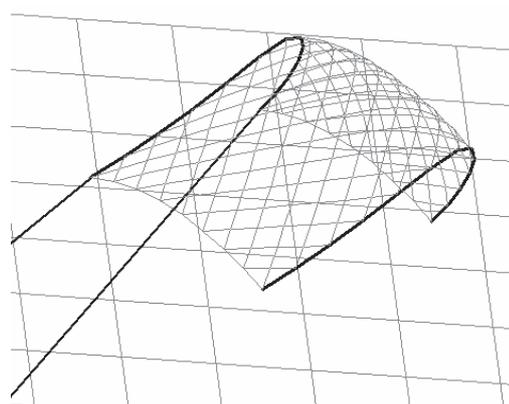


Рис. 6. Компьютерная модель пространственной сети № 5

Разработанный метод расчета позволяет определить геометрические и силовые характеристики ПС по известным параметрам, полученным по результатам расчета основных параметров ПС. По разработанному методу расчета и [2] была создана компьютерная программа по расчету рыболовной сети (рис. 7).

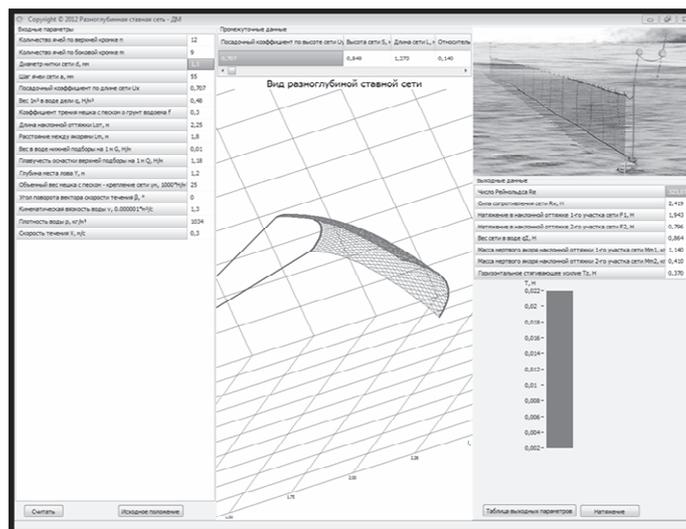


Рис. 7. Фрагмент компьютерной программы по расчету характеристик сети

Результаты расчета компьютерной программы были подтверждены экспериментально. Ошибка расхождения расчетных и экспериментальных значений составила не более 8 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недоступ А. А. Обоснование метода расчета сетных орудий рыболовства на основании дискретной модели / А. А. Недоступ // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию со дня рождения засл. деят. науки и техники РФ Фридмана Александра Львовича и 95-летию со дня основания кафедры промышленного рыболовства. Калининград: Изд-во КГТУ, 2010. С. 266–275.
2. Недоступ А. А. Метод расчета силовых и геометрических характеристик пространственных рыболовных сетей / А. А. Недоступ, Д. А. Володько // Изв. ТИНРО. 2010. Т. 163. С. 388–407.

REFERENCES

1. Nedostup A. A. Obosnovanie metoda rascheta setnykh orudii rybolovstva na osnovanii diskretnoi modeli [Explanation of the method of calculation of fishing net tools on the basis of discrete model]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 85-letiiu so dnia rozhdeniia zasluzhennogo deiatelia nauki i tekhniki RF Fridmana Aleksandra L'vovicha i 95-letiiu so dnia osnovaniia kafedry promyshlennogo rybolovstva*. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2010, pp. 266–275.
2. Nedostup A. A., Volod'ko D. A. Metod rascheta silovykh i geometricheskikh kharakteristik prostranstvennykh rybolovnykh setei [The method of calculation of force and geometrical characteristics of the gill nets]. *Izvestiia Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybokhoziaistvennogo tsentra*, 2010, vol. 163, pp. 388–407.

Статья поступила в редакцию 20.03.2013

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Недоступ Александр Алексеевич – Калининградский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; зав. кафедрой «Промышленное рыболовство»; nedostup@klgtu.ru.

Nedostup Alexander Alekseevich – Kaliningrad State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department "Commercial Fishery"; nedostup@klgtu.ru.

Ражев Алексей Олегович – Калининградский государственный технический университет; младший научный сотрудник кафедры «Промышленное рыболовство»; progacpp@live.ru.

Razhev Alexey Olegovich – Kaliningrad State Technical University; Junior Researcher of the Department "Commercial Fishery"; progacpp@live.ru.

Володько Дмитрий Александрович – Калининградский государственный технический университет; соискатель кафедры «Промышленное рыболовство»; nedostup@klgtu.ru.

Volodko Dmitriy Aleksandrovich – Kaliningrad State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Commercial Fishery"; nedostup@klgtu.ru.