

УДК 639.2.081.117.212(06)

А.А. Недоступ, Д.А. Володько

Калининградский государственный технический университет,
236000, г. Калининград, Советский проспект, 1

К ОБОСНОВАНИЮ МЕТОДА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАЗНОГЛУБИННЫХ И ДОННЫХ СЕТЕЙ

Приводятся результаты физических экспериментов, проводимых с моделями пространственных сетей (3D) в гидроканале ЗАО «МариНПО». Получены эмпирические зависимости, связывающие силовые и геометрические характеристик пространственных сетей. Ошибка аппроксимирующих зависимостей составляет не более 8 %. Приводится метод расчета силовых и геометрических характеристик пространственных разноглубинных и донных рыболовных сетей.

Ключевые слова: эксперимент, пространственная сеть, гидроканал, коэффициент сопротивления, ПС, 3D.

A.A. Nedostup, D.A. Volodko

TO A SUBSTANTIATION OF A METHOD OF CALCULATION OF FORCE AND GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF SPATIAL PELAGIC AND BOTTOM GILL NETS ARE DESCRIBED

In article conclusions results of physical experiments, spent with models of spatial gill nets in flume tank «МариНПО». Empirical dependencies was derived, that link up forces and geometric characteristics of spatial nets. The mistake of approximating dependencies are no more than 8 %. The method of calculation of force and geometric characteristics of spatial pelagic and bottom gill nets are described.

Key words: experiment, spatial gill net, flume tank, coefficient of resistance, 3D.

Введение

Сетные рыболовные орудия представляют собой сети пространственной формы (далее ПС). Даже самые простые орудия лова, такие, как ставные и плавные сети, которые при изготовлении представляют собой прямоугольные сетные полотна, в условиях эксплуатации под действием течения воды или при «сплывании» прогибаются, принимая пространственную форму или сетную оболочку 3D. Пространственная сеть также является частью более сложных орудий лова, таких, как крыло ставного невода, стенка кошелькового невода, закидной невод в процессе замёта и др. Исследованию пространственных сетей посвящены работы ученых: М. Tauti [1], Т. Kawakami [2], Y. Miyazaki [3], К. Matuda [4-6], А.И. Зонова [7], Э.П. Иванова [8, 9], Ю.А. Изнанкина [10], В.А. Свекло [11], S. Hianwei [12], М.М. Rozenshtein [13, 14], С.W. Lee, G.H. Lee, M.Y. Choe, M.K. Lee [15], но до сих пор вопрос определения связи геометрических и силовых характеристик сетной оболочки (пространственной сети) остается актуальным.

Актуальность исследования пространственных сетей заключается в определении зависимости геометрических параметров сети от нагрузок, действующих в ней [16, 17].

Известно, что для изучения различных физических явлений, происходящих в сетных орудиях рыболовства, применяются как теоретические, так и экспериментальные методы исследований. В большинстве областей человеческой деятельности используются оба эти метода, которые хорошо дополняют друг друга, особенно при рассмотрении сложных явлений. Сущность теоретических исследований процессов и явлений за-

ключается в составлении описывающих их конечных или дифференциальных уравнений и последующем их решении совместно с условиями однозначности. Однако во многих случаях при изучении сложных явлений составление адекватных математических их описаний вызывает значительные трудности, в других случаях решение уже составленных уравнений требует преодоления больших математических проблем, не всегда удается определить условия однозначности и т.д. Таким образом, возможности теоретических методов исследования не безграничны, они, как правило, применимы лишь для решения сравнительно простых задач.

Так, в связи со специфическими особенностями орудий рыболовства по сравнению с другими инженерными сооружениями – гибкостью, формоизменяемостью и проницаемостью – большинство случаев их движения в воде ещё не имеет соответствующих математических описаний, хотя в последнее время и проводится большая исследовательская работа в этом направлении [18]. В тех случаях, когда с помощью теоретических методов и исследований не удаётся решить ту или иную задачу, используют экспериментальные методы. Последние включают в себя методы натурального эксперимента и методы эксперимента с моделями. В настоящей статье приводятся результаты экспериментальных исследований силовых и геометрических характеристик моделей пространственных сетей.

Объекты и методы исследований

Запишем уравнение равновесия разноглубинной сети (1) и донной сети (2) при повороте оси OY на 180° (рис. 1, 2):

$$R^2 = (G + q - R_y)^2 + R_x^2 + R_z^2, \quad (1)$$

$$R^2 = (Q - q - R_y)^2 + R_x^2 + R_z^2. \quad (2)$$

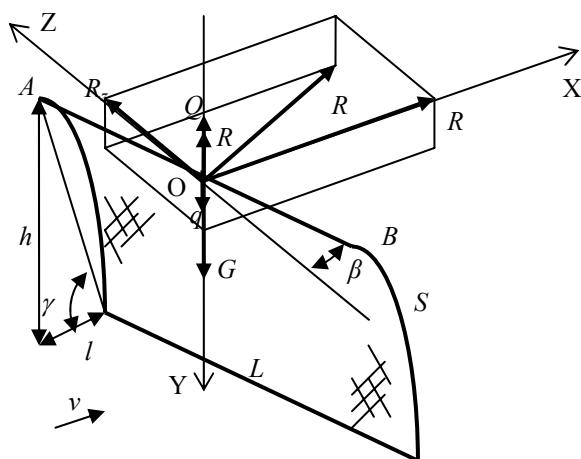


Рис. 1. Форма ПС и действующие силы
Fig. 1. The form SGN and working forces

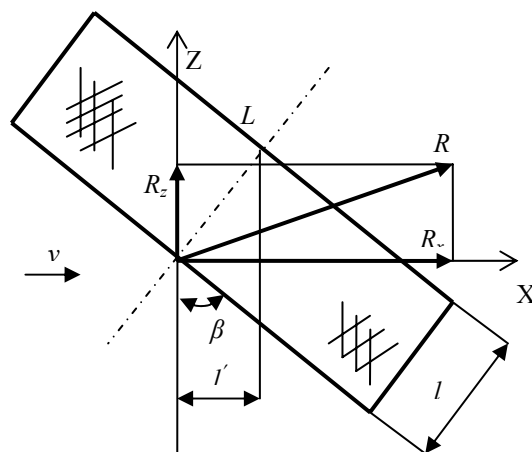


Рис. 2. Вид сверху на ПС
Fig. 2. The top view on SGN

На рис. 1 и 2 изображены характеристики ПС: v – скорость потока воды; R_x – гидродинамическая сила сопротивления; R_y – распорная сила; R_z – боковая сила; Q – плавучесть оснастки верхней подборы; R – результирующая сила; γ – угол наклона ПС к плоскости OZX; h – вертикальная проекция ПС; l – горизонтальная проекция ПС; l' – смещение нижней подборы ПС по оси OX; β – угол поворота ПС к плоскости OZY.

Разделим уравнения (1) и (2) на R_x . Для разноглубинной сети, с учетом $\psi = G / R_x$, $\zeta = q / R_x$ (q – вес сети в воде), $\xi = R_y / R_x$, а $\chi = \psi + \zeta - \xi$, и для донной сети, с учетом $\psi = Q / R_x$, а $\chi = \psi - \zeta - \xi$, [17, 18]:

$$\kappa = \sqrt{\left(\frac{R}{R_x}\right)^2 - 1} = \sqrt{\chi^2 + \eta^2}, \quad (3)$$

где $\eta = R_z / R_x$ – безразмерная боковая сила.

Для разноглубинной ПС:

$$\kappa = \sqrt{(\psi + \zeta - \xi)^2 + \eta^2}. \quad (4)$$

Для донной ПС:

$$\kappa = \sqrt{(\psi - \zeta - \xi)^2 + \eta^2}. \quad (5)$$

Из рис. 3 определим горизонтальную проекцию условной высоты сети S'' по оси $OX l''$:

$$l = \frac{l'}{\cos \beta}, \quad (6)$$

$$l'' = \frac{l'}{\cos^2 \beta}, \quad (7)$$

$$S'' = \frac{S}{\cos \beta}. \quad (8)$$

Гидродинамические силы, действующие в ПС, изображены на рис. 4 (где R_{xyz} – результирующая гидродинамических сил).

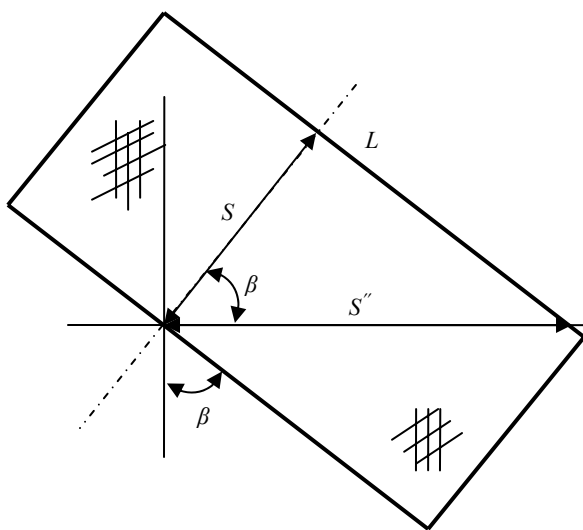


Рис. 3. Проекция ПС на плоскость OXZ
Fig. 3. Projection SGN to plane OXZ

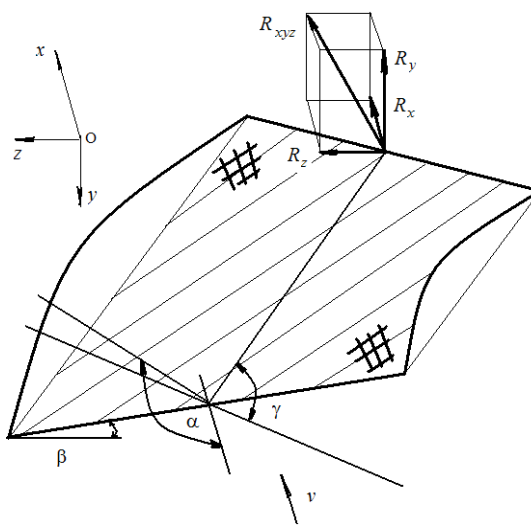


Рис. 4. Гидродинамические силы, действующие в ПС
Fig. 4. The hydrodynamical forces working in SGN

$$\left. \begin{aligned} R_x &= c_x \frac{\rho v^2}{2} F_n \\ R_y &= c_y \frac{\rho v^2}{2} F_n \\ R_z &= c_z \frac{\rho v^2}{2} F_n \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где c_x , c_y и c_z – гидродинамические коэффициенты; F_n – площадь ниток ПС, ρ – плотность воды,

$$\left. \begin{aligned} c_x &= c_0 + (c_{90} - c_0) \sin \alpha_x \\ c_y &= 0,25c_{90}F_0 (6\alpha_y - 3,85\alpha_y^2) \\ c_z &= 0,25c_{90}F_0 (6\alpha_z - 3,85\alpha_z^2) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где $c_{90} = 16(2F_0/\text{Re})^{0,28}$ – коэффициент сопротивления сети, расположенной перпендикулярно потоку воды; $c_0 = F_0\text{Re}^{-0,165}$ – коэффициент сопротивления сети, расположенной параллельно потоку воды; α_x , α_y и α_z – углы, характеризующие ориентацию ПС в пространстве, зависящие от углов β и γ , которые в свою очередь зависят от безразмерных сил χ и η ; F_0 – сплошность ПС.

Для оценки углов β и γ необходимо определить связь геометрических и силовых характеристик ПС, построив экспериментальные зависимости (11):

$$\left. \begin{aligned} \frac{h}{S} &= f(\kappa) \\ \frac{l'}{S} &= f(\kappa) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где $\lambda = h/S$ – безразмерная вертикальная проекция; $\omega = l'/S$ – безразмерная горизонтальная проекция, а также значения безразмерных сил для ставной сети [17, 18].

Отметим, что при $\gamma = 0^\circ \rightarrow \alpha = 0^\circ$, при $\gamma = 90^\circ \rightarrow \alpha = 90^\circ - \beta$. Определение явных зависимостей (11) позволит рассчитывать силовые и геометрические характеристики пространственных сетей различных орудий рыболовства.

Экспериментальная часть

Эксперименты с сетными конструкциями проходили в гидроканале ЗАО «МариН-ПО» (г. Калининград) [19]. Конструктивные характеристики моделей сетей приведены в таблице.

Конструктивные характеристики моделей разноглубинных ПС Constructive characteristics of models of mid-water SGN

Модель	Диаметр нитей d , мм	Шаг ячеек a , мм	Длина сети L , м	Высота сети S , м	Площадь ниток F_n , м ²	Сплошность сети F_0	Вес в воде сети q , Н	Загрузка нижней подборы (вес в воде) G , Н
1	1,2	30	1,5	1,7	0,26	0,102	0,3	0-5,75
2	2,0	200	1,44	1,86	0,08	0,03	0,1	0-2,3
3	2,0	30	0,99	1,4	0,161	0,13	0,24	2,3-3,45

Опыты с моделями сетей проводились в диапазоне скоростей 0,2-0,4 м/с, с различной загрузкой G и углом поворота ПС к плоскости OZY β (см. рис. 1 и 2).

Тензодатчики для измерения силы сопротивления ПС крепились к точкам A и B . Все измерения проводились тензометрической станцией МІС-200. Как только скорость потока становилась постоянной, с помощью угломеров замерялись h и l' . Одновременно замерялись силы натяжения в точках крепления тензодатчиков с помощью тензостанции МІС-200 [17, 18]. Фотографии моделей ПС представлены на рис. 5 и 6.

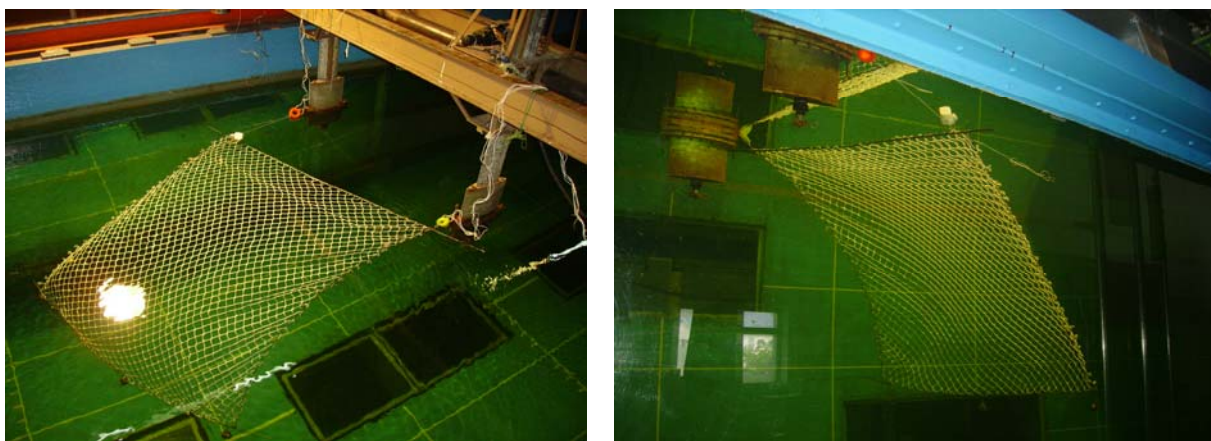


Рис. 5. Модель разноглубинной ПС №1
Fig. 5. Model of a mid-water SGN №1

На основании показаний тензодатчиков определены значения сил сопротивления R_x пространственных рыболовных сетей. С помощью формулы (12) определены значения коэффициентов сопротивления ПС:

$$\tilde{n}_x = 2R_x / (\rho v^2 F_n). \quad (12)$$



Рис. 6. Модель разноглубинной ПС №2
Fig. 6. Model of a mid-water SGN №2

На основании экспериментальных данных определены значения безразмерных параметров раскрытия ПС λ и ω . На рис. 7 и 8 изображены экспериментальные зависимости $\lambda = f(\kappa)$ и $\omega = f(\kappa)$.

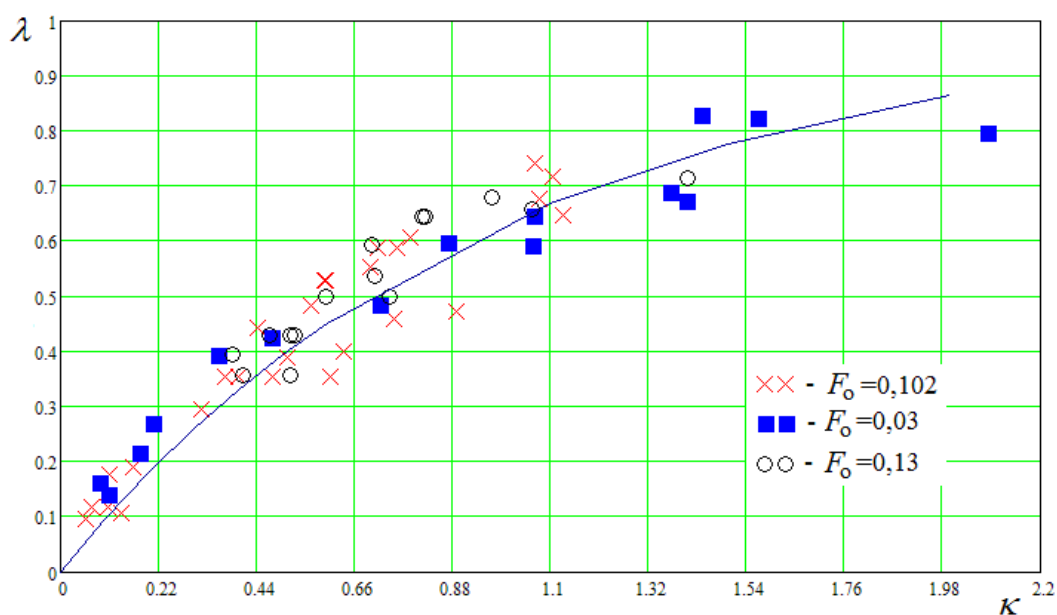


Рис. 7. График зависимости $\lambda = f(\kappa)$
 Fig. 7. The schedule of dependence $\lambda = f(\kappa)$

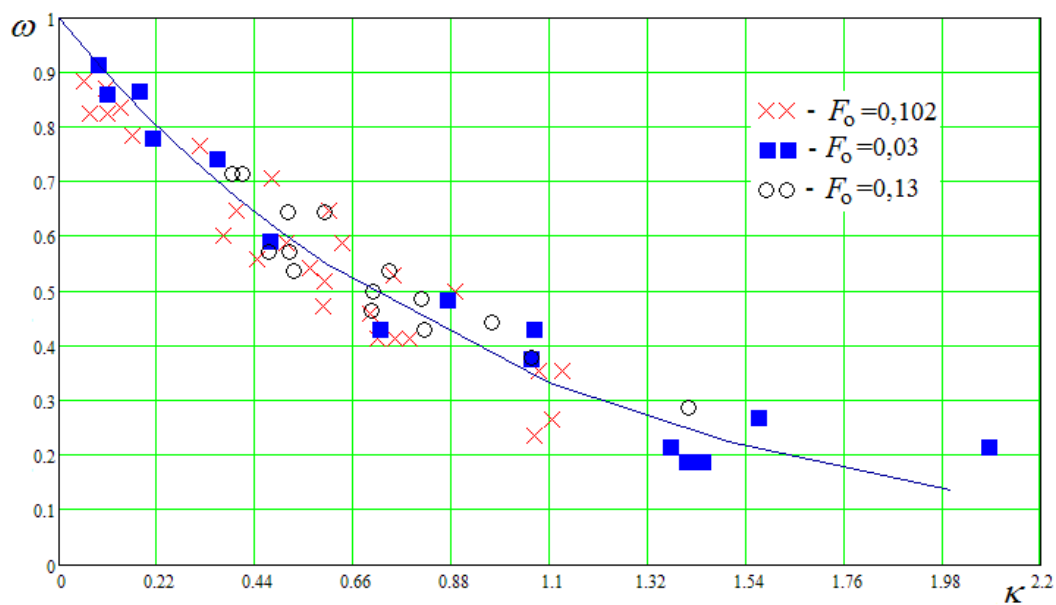


Рис. 8. График зависимости $\omega = f(\kappa)$
 Fig. 8. The schedule of dependence $\omega = f(\kappa)$

Результаты и их обсуждение

На основании результатов исследований характеристик ставных сетей и исследований характеристик ПС зависимости $\lambda = f(\kappa)$, $\omega = f(\kappa)$ имеют вид:

$$\lambda = 1 - e^{-\kappa}, \quad (13)$$

$$\omega = e^{-\kappa}. \quad (14)$$

Отметим, что при условии $\beta = 0^\circ \rightarrow \kappa = \chi$. Угол α может быть представлен в виде:

$$\alpha = \arctg(h/l), \quad (15)$$

или с учетом $l' = l \cos \beta$:

$$\alpha = \arctg(h/l \cos \beta). \quad (16)$$

Угол γ может быть представлен в следующем виде:

$$\gamma = \arctg(h/l). \quad (17)$$

Исходя из (16) и (17), угол α представим в виде

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\tan \gamma}{\cos \beta}\right). \quad (18)$$

Разделим выражение (13) на (14), получим:

$$\frac{\lambda}{\omega} = \frac{h}{l} = e^\kappa - 1. \quad (19)$$

С учетом (15), (18) и (19) получим:

$$e^\kappa = \frac{\tan \gamma}{\cos \beta} + 1, \quad (20)$$

или

$$\kappa = \ln\left(\frac{\tan \gamma}{\cos \beta} + 1\right). \quad (21)$$

Выражения (20) и (21) характеризуют связь силовых характеристик пространственной сети с ее геометрическими характеристиками.

Таким образом, на основании выражений (4)-(21) можно определить геометрические и силовые характеристики пространственной рыболовной сети (разноглубинной или донной) при условии, что величина угла β в первом приближении известна (к примеру – подбора сети приняла форму цепной линии). Рассмотрим поэтапно метод расчета разноглубинной ставной пространственной сети (рис. 9).

Введем допущения: вектор скорости течения воды v направлен вдоль оси ОХ (см. рис. 9); верхняя и нижняя подборы находятся в плоскости ОХZ; в приведенном примере при расчете характеристик ПС длину сети разбили на шесть равных участков.

1. Разобьем ПС на шесть равных участков (по длине): $OA = AB = BC = O_1A_1 = A_1B_1 = B_1C_1$, причем (введено допущение): $OA = A_1B_1 = B_1C_1 = O_1A_1 = A_1B_1 = B_1C_1$ (рис. 10, 11).

2. Определяем значение угла θ (рис. 10) при $v = 0$.

3. Рассчитываем характеристики ПС без учета выдувания по длине сети (при заданной скорости течения v).

4. Определяем значения углов θ и δ (рис. 12) при условии, что верхняя подбора сети приняла форму цепной линии.
5. Определяем форму шести участков ПС по формулам (13)-(21).
6. Уточняем значения углов θ и δ и форму верхней подбора ПС.
7. Уточняем форму шести участков ПС по формулам (13)-(21).
8. Определяем силовые и геометрические характеристики пространственной разноглубинной рыболовной сети, закрепленной с помощью якорей.

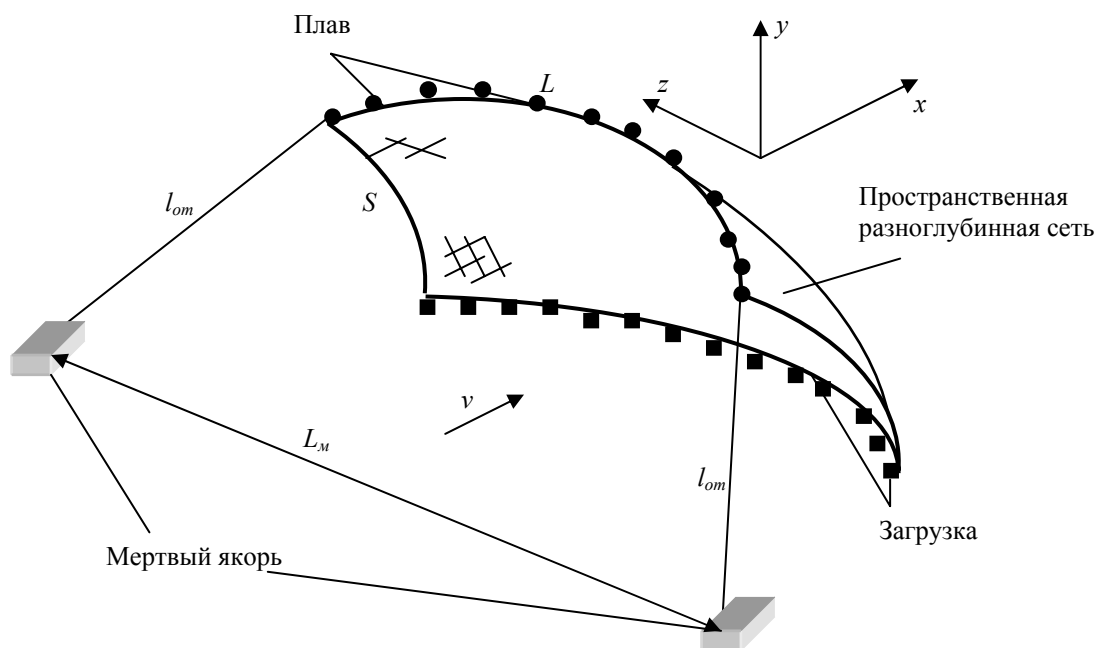


Рис. 9. Форма разноглубинной ставной пространственной сети, закрепленной с помощью оттяжек и якорей
 Fig. 9. The form mid-water the SGN fixed with the help of delays and anchors

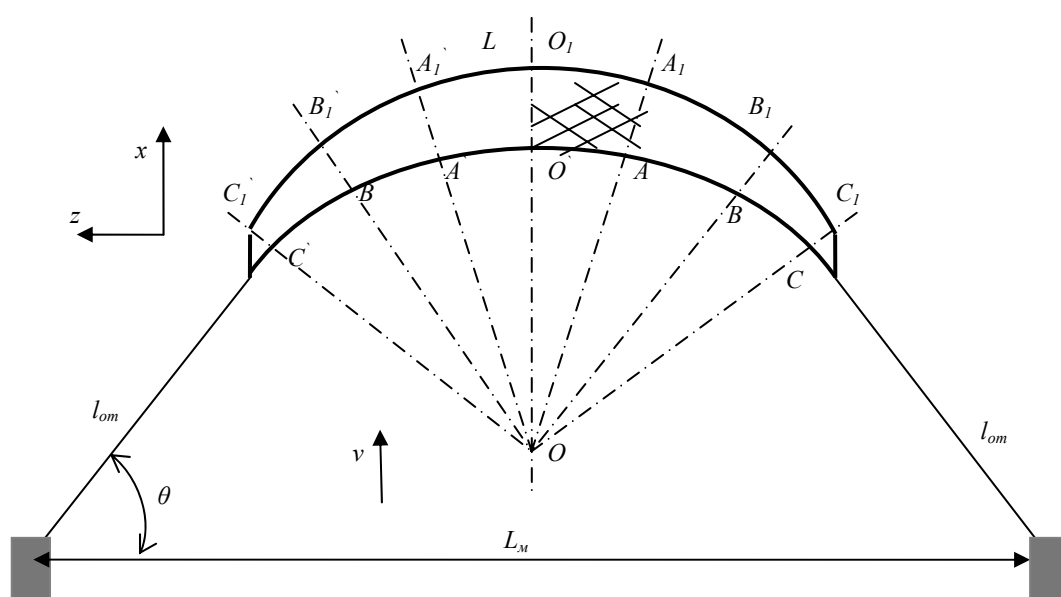


Рис. 10. Форма разноглубинной ставной пространственной сети в плоскости OXZ
 Fig. 10. The mid-water the SGN in plane OXZ

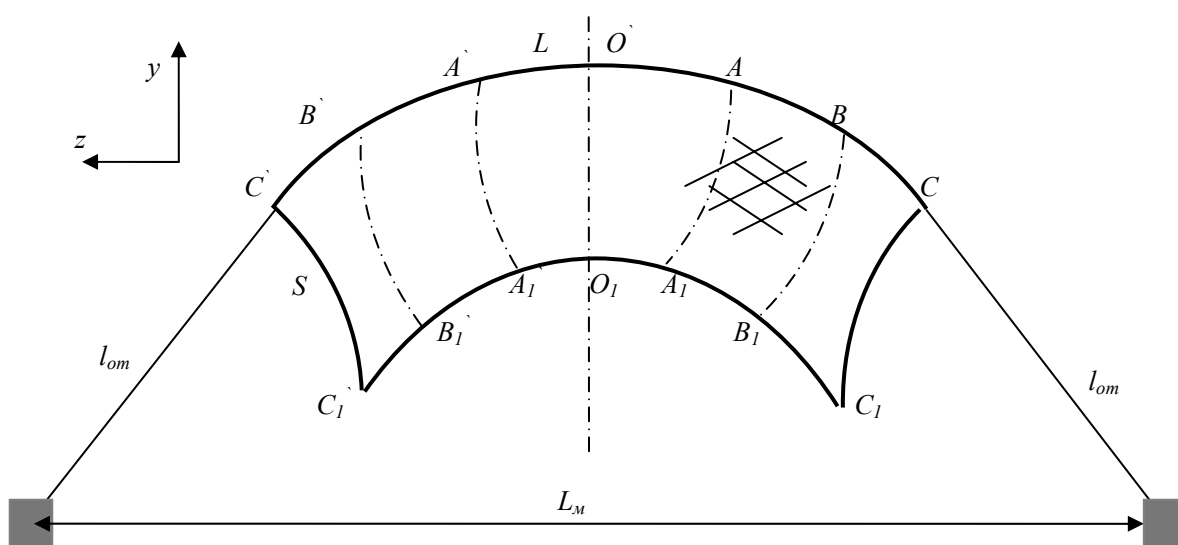


Рис. 11. Форма разноглубинной ставной пространственной сети в плоскости OYZ
 Fig. 11. The mid-water the SGN in plane OYZ

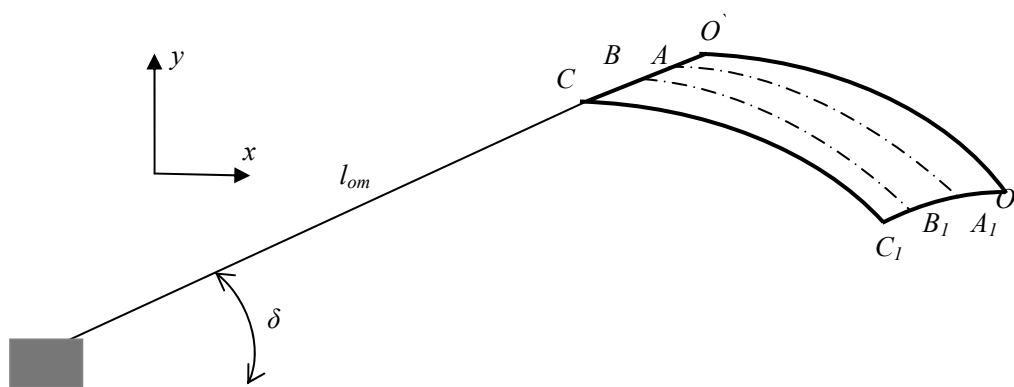


Рис. 12. Форма разноглубинной ставной пространственной сети в плоскости OXY
 Fig. 12. The mid-water the SGN in plane OXY

Заключение

Получены эмпирические зависимости (13)-(21), связывающие силовые и геометрические характеристики пространственных сетей. Ошибка аппроксимирующих зависимостей составляет не более 8 %.

Приведенный в статье метод расчета позволяет определить следующие характеристики ПС: форму пространственной рыболовной сети; действующие в сети силы; положение верхней и нижней подбор сети; натяжение в оттяжках.

Метод также позволяет подобрать: необходимую оснастку подбор сети для эффективной ее эксплуатации; необходимую длину оттяжек и их материал; якоря.

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

Список литературы

1. Tauti M. The force acting on the plane net in motion through the water. Nippon Suisan Gakkaishi 1934; 3: 1-4.
2. Kawakami T. The theory of designing and testing fishing nets in model. In: Modern fishing gear of the World 2// Fishing News Books London. – 1964. – P. 471-482.

3. Miyazaki Y. The configuration and tension of a rope a plane net set in a uniform stream. Journal of the Tokyo Univ. – 1970. –Vol. 56, № 1-2. – P. 49-117.
4. Matuda K. Model experiment on the sweeping trammel net. Reprinted from memoirs of the college of agriculture, Kyoto Univ. – 1972. – № 103. – P. 18-32.
5. Matuda K. Mechanical analysis of the sweeping trammel net. Reprinted from memoirs of the college of agriculture, Kyoto Univ. – 1972. – № 103. – P. 33-44.
6. Matuda K. On matching the gear size to the engine power of boats and its ideal operation in the sweeping trammel net fishery. Reprinted from memoirs of the college of agriculture, Kyoto Univ. – 1972. – № 103. – P. 53-67.
7. Зонов А.И. Геометрия рыболовной сети и ее равновесное состояние [Текст] / А.И. Зонов // Изв. ГНИИОиРРХ. – Т. 73. – 1971. – С. 96-167.
8. Иванов Э.П. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства [Текст] / Э.П. Иванов, А.Л. Фридман. – Калининград, 1973. – С. 66.
9. Иванов Э.П. Вариационные задачи теории сетных оболочек [Текст] / Э.П. Иванов // Промышленное рыболовство: тр. КТИРПиХ – Вып. LVII. – 1975. – С. 69-79.
10. Изнанкин Ю.А. Основы методики определения гидродинамического качества сети по результатам буксировок сетных мешков [Текст] / Ю.А. Изнанкин, А.А. Косов // Промышленное рыболовство: сб. трудов КТИРПиХ. – Вып. 65. – 1977. – С. 53-58.
11. Свекло В.А. О равновесии рыболовной сети [Текст] / В.А. Свекло // Тематический сборник трудов КТИРПиХ. – 1986. – С. 83-102.
12. Hianwei S. Difference methods in figuring out the configuration and tension of nets and their application in gill net design. Journal of Zhejiang College of fisheries. – 1987. – Vol. 6. № 2. – P. 83-95.
13. Rozenshtein M.M., Nedostup A.A., Popov S.V., Ermakova T.V. Some questions of numerical and physical modelling of fishing gears/ 12th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean IMAM 2007. Maritime Industry, Ocean Engineering and Coastal Resources. – London. – 2007. – P. 953-959.
14. Rozenshtein M.M., Nedostup A.A., Ermakova T.V. Physical modelling of gill net, drift net and trawl net/ 8th International workshop – Methods for the development and evaluation of maritime technologies DEMAT 2007. – Rostock. – 2007. – P. 89-100.
15. Lee C.W., Lee G.H., Choe M.Y., Lee M.K. Development of a design and simulation tool for the moored underwater flexible system // 12th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean IMAM 2007. Maritime Industry, Ocean Engineering and Coastal Resources. Taylor and Francis. – London. – 2007. – P. 935-939.
16. Недоступ А.А. К вопросу исследования силовых и геометрических характеристик пространственной сети [Текст] / А.А. Недоступ, Д.А. Володько // Инновации в науке и образовании – 2008: сб. тез. докл. VI Междунар. науч. конф. – Калининград: КГТУ, 2008. – С. 32-35.
17. Недоступ А.А. Метод расчета силовых и геометрических характеристик пространственных рыболовных сетей [Текст] / А.А. Недоступ, Д.А. Володько // Изв. ТИНРО. – 2010. – Т. 162. – С. 407-426.
18. Недоступ А.А. Методы расчета пассивных сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства [Текст]: моногр. / А.А. Недоступ. – Калининград: КГТУ, 2010. – 280 с.
19. Белов В.А. Гидродинамика нитей, сетей и сетных орудий лова [Текст] / В.А. Белов. – Калининград, 2000. – 200 с.

Сведения об авторах: Недоступ Александр Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, e-mail: nedostup@klgtu.ru;

Володько Дмитрий Александрович, аспирант кафедры промышленного рыболовства, e-mail: volandkg@yahoo.com.