

УДК 639.2/.3.001.5

А.А. Недоступ, А.А. Павленко, А.О. Ражев
Калининградский государственный технический университет,
236000, г. Калининград, Советский проспект, 1

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТА СЕТНЫХ ОБОЛОЧЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ

Разработан алгоритм расчета сил натяжения в сети, закрепленной к обручу. На графиках изображены 3D-формы сетей, закрепленные на верхнем обруче. Цветовой спектр отображает величины силы натяжения в нитках. Разработана компьютерная программа расчета силовых и геометрических характеристик сети, прикрепленной к обручу.

Ключевые слова: сетное полотно, математическая модель, 3D-форма сети, компьютерная программа.

A.A. Nedostup, A.A. Pavlenko, A.O. Razjev
**PRACTICAL APPLICATION OF CALCULATION NETTING ENVIRONMENTS
WITH USE OF DISCRETE MODEL**

The algorithm of calculation of forces of a tension in a netting attached to a hoop is developed. On schedules are represented 3D the forms of netting fixed on the top hoop. The color spectrum displays sizes of force of a tension in thread. The computer program of calculation of force and geometrical characteristics of the netting attached to a hoop is developed.

Key words: netting, mathematical model, 3D the forms of netting, computer program.

Введение

В настоящее время все большее внимание уделяется дискретным моделям, которые применяются при моделировании и проектировании современной техники. Проектирование сложных объектов, например, сетных орудий рыболовства и многих других требует проведения колоссальных объемов вычислений, так как сетная часть состоит из огромного количества ячеей. Следует отметить, что дискретные модели применяются для построения трехмерных инженерных сооружений – орудий рыболовства [1-5]. Наличие актуальной трехмерной модели, интегрированной с данными внешней среды и эксплуатационными параметрами, позволяет проводить различные инженерные расчеты характеристик орудий и процессов рыболовства, таких, как, например, расчет на прочность, гидродинамические расчеты, расчеты времени эксплуатации и т.д. Применение таких подходов будет способствовать переходу от системы плано-предупредительной к считающейся в настоящее время наиболее эффективной системе обслуживания по состоянию. Таким образом, применение трехмерных орудий рыболовства совместно с верификационными расчетами позволит инженерам по промышленному рыболовству осуществлять более точное прогнозирование и обеспечит инструментальную базу для внедрения современных подходов к управлению и эксплуатации орудиями рыболовства.

Решение связанных задач определения напряженности, сил натяжения в элементах орудий рыболовства и динамики напряженно-деформированного состояния в трехмерных расчетных программах невозможно без использования дискретных моделей – 3D. Разработка компьютерных моделей/программ орудий рыболовства или его отдельных элементов в этой связи является приоритетной задачей промышленного рыболовства [6, 7]. Численные эксперименты на компьютерных моделях с применением методов вычислительной

гидромеханики или использования простых эмпирических зависимостей позволяют без проведения дорогостоящих физических экспериментов получать достоверную информацию об условиях работы наиболее напряженных элементов/узлов орудий рыболовства. Такой подход возможен только при условии верификации применяемых зависимостей и разрабатываемых алгоритмов расчетов на отдельных физических моделях. Применение современных компьютерных технологий на стадии проектирования является неотъемлемым условием успешной эксплуатации орудий рыболовства. Внедрение 3D-моделирования в процессы жизненного цикла орудий рыболовства позволяет не только выполнить расчеты и проекты на качественно новом уровне, но и обеспечивает эффективное управление сложных инженерных сооружений - орудий рыболовства на этапе эксплуатации.

Объекты и методы исследований

Для практических задач довольно редко удается найти аналитическое решение уравнений, составляющих математическую модель явления. Поэтому приходится применять численные методы. Сущность применения численных методов рассмотрим на схеме вычислительного эксперимента, показанной на рис. 1.

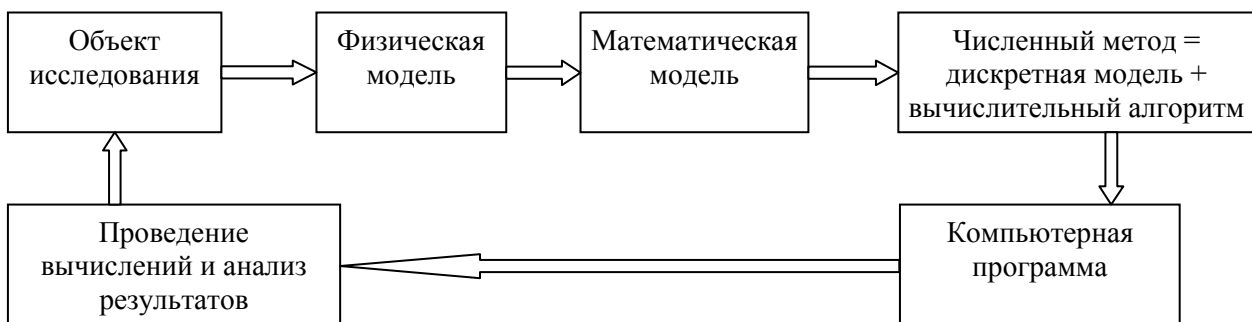


Рис. 1. Схема вычислительного эксперимента
Fig. 1. The circuit of computing experiment

Основу вычислительного эксперимента составляет триада: модель – метод (алгоритм) – программа. Проблемой определения силы натяжения в нитках сети и формой сети занимались многие ученые [8-18]. В настоящей работе применяются алгоритмы, разработанные авторами. Цель настоящих исследований – применение дискретной модели для расчета силовых и геометрических характеристик сети, закрепленной на обруче.

Рассмотрим три случая:

- сеть закреплена на двух обручах (рис. 2);
- сеть закреплена на одном обруче;
- сеть закреплена на одном обруче с грузом внутри ее.

Спектр натяжений предназначен для более наглядного представления натяжений в нитках прямо на 3D-виде модели. Этот способ отображения натяжений основан на сопоставлении области значений натяжений цветовой шкале. Для этого используется тон цветовой модели HSV. Меньшее значение натяжения ставится в соответствие синему тону, большее – красному.

Сеть закреплена на двух обручах. Сеть, посаженная на обручи, имеет переменный шаг ячеей a , а нить сети обладает определенным модулем упругости E , значение которого известно. На рис. 3 изображены оси координат системы: OR – радиальная, направлена от точки окружности к ее центру; OH – осевая, направлена вверх параллельно оси; OT – касательная, параллельна касательной, проходящей через точку окружности.

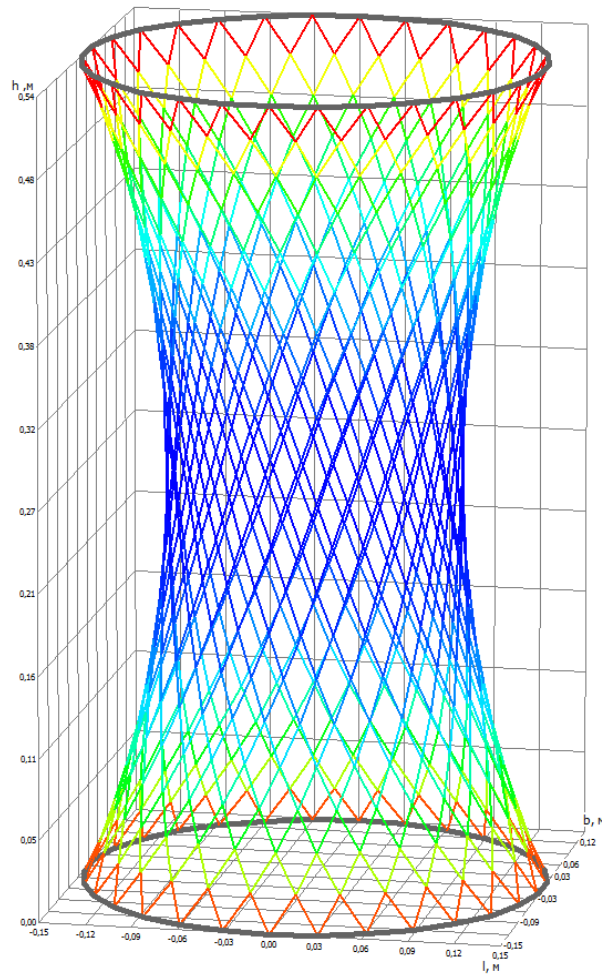


Рис. 2. Сеть, закрепленная на двух обручах
Fig. 2. The netting fixed on two hoops

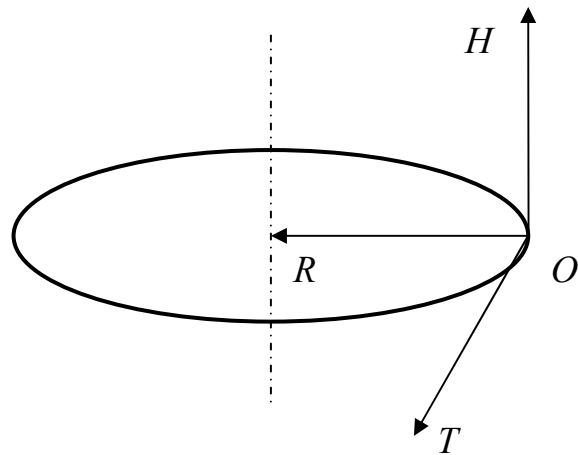


Рис. 3. Оси координат системы
Fig. 3. Axes of coordinates of system

Приведем математические модели, связывающие геометрические характеристики ячей сети:

$$a_{R_i} = R_i \cos \frac{\pi}{n} - R_{i+1}; \quad (1)$$

$$a_{T_i} = R_i \sin \frac{\pi}{n}; \quad (2)$$

$$a_i^2 = a_{0_i} \left(1 + \frac{4T_i}{\pi E d^2} \right); \quad (3)$$

$$a_i^2 = a_{T_i}^2 + a_{H_i}^2 + a_{R_i}^2, \quad (4)$$

где a_{0_i} – длина нити i -го ряда до деформации; a_i – длина нити i -го ряда после деформации; $a_{R_i}, a_{H_i}, a_{T_i}$ – проекции нити на оси; R_i – радиус описывающей окружности i -го ряда (координата R); n – количество ячеек по окружности; i – номер ряда, $i = [0 \dots 2m]$, где m – коли-

чество ячеей по высоте; E – модуль упругости нитки; d – диаметр нитки; T_i – сила натяжения нити i -го ряда.

Геометрические зависимости представлены на рис. 4.

Силовые зависимости представлены на рис. 5.

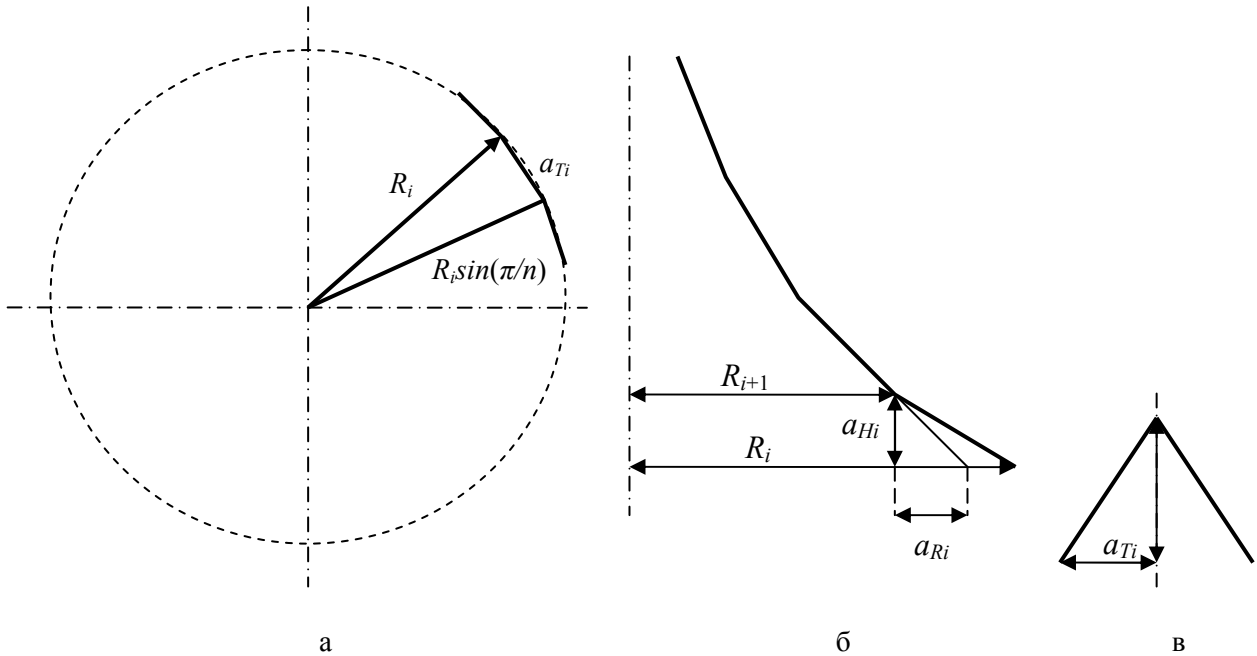


Рис. 4. Геометрические зависимости
Fig. 4. Geometrical dependences

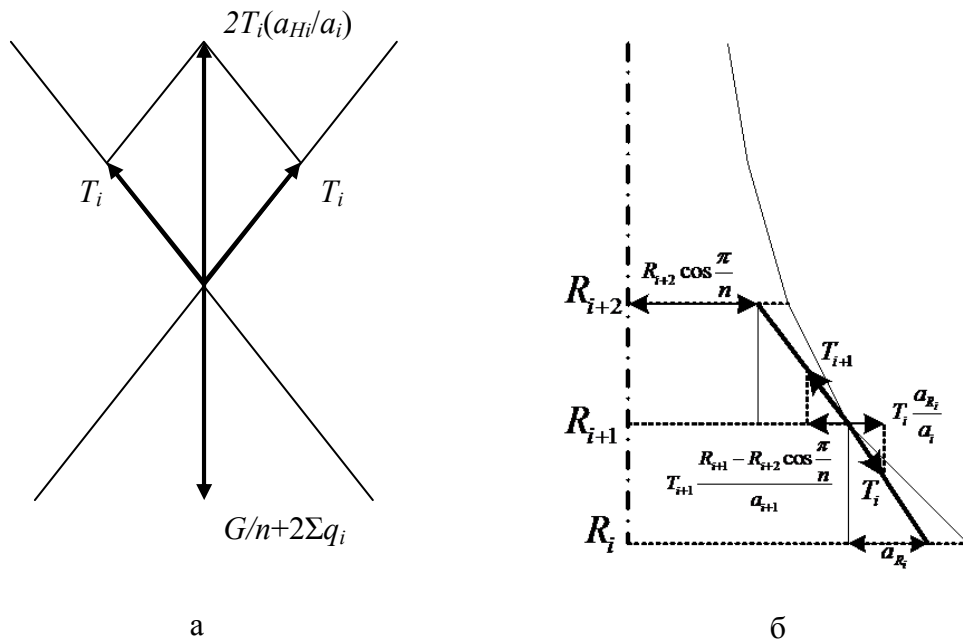


Рис. 5. Силовые зависимости
Fig. 5. Force dependences

Зависимости, связывающие силовые характеристики ячей сети по оси OH :

$$F_{H_i} = 2T_i \frac{a_{H_i}}{a_i} - \left(\frac{G}{n} + 2 \sum_{j=0}^{i-1} q_j \right) = 0, \quad (5)$$

$$T_i \frac{a_{H_i}}{a_i} = T_{i+1} \frac{a_{H_{i+1}}}{a_{i+1}}, \quad (6)$$

по оси OR :

$$T_i \frac{a_{R_i}}{a_i} = T_{i+1} \frac{R_{i+1} - R_{i+2} \cos \frac{\pi}{n}}{a_{i+1}}, \quad (7)$$

где G – вес нижнего обруча с грузом или вес загрузки (для случая без нижнего обруча); q_j – вес нити j -го ряда; F_{H_i} – осевая проекция результирующей силы, приложенной к узлу i -го ряда.

Составим систему уравнений при искомым неизвестных: $R_1, \dots, R_{2m-1}, a_{H_0}, \dots, a_{H_{2m-1}}, T_0, \dots, T_{2m-1}$. Для сети получаем $6m-1$ неизвестных. Подставляя (1)-(3) в (4), получаем одно уравнение, связывающее геометрические характеристики (для каждого ряда). Для сети получаем $2m$ таких уравнений. Подставляя (6) в (5), получаем одно уравнение, связывающее осевые силовые характеристики (для каждого ряда) и одно уравнение (7), связывающее радиальные силовые характеристики (для каждого ряда, кроме верхнего). Для сети получаем $4m-1$ таких уравнений. В результате получаем систему из $6m-1$ уравнений с $6m-1$ неизвестными.

Зная для каждого ряда R , по формулам (1) и (2) находим a_T и a_R . Приведем результаты численного моделирования сети, закрепленной на двух обручах. На рис. 6 изображены 3D-формы сетей, закрепленные на двух обручах: $q = 0,0006$ Н; $d = 0,61$ мм; $E = 1,1$ ГПа; $D_1 = 0,5$ м – диаметр верхнего обруча; $D_2 = 0,4$ м – диаметр нижнего обруча; $n = 100$ яч; $m = 30$ яч; $G = 50$ Н.

Сеть закреплена на верхнем обруче. Добавим одно неизвестное R_0 и одно уравнение, определяющую радиальную проекцию нити, равную 0:

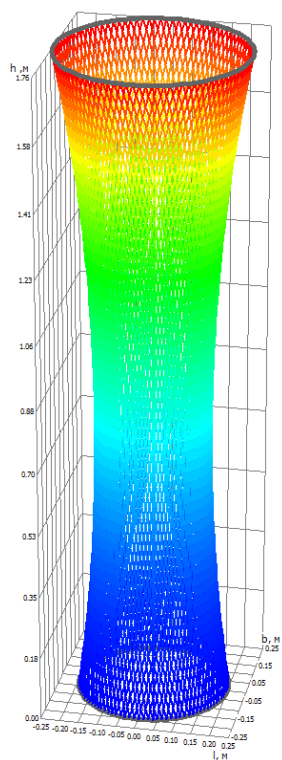
$$R_0 \cos \frac{\pi}{n} = R_1. \quad (8)$$

Приведем результаты численного моделирование сети, закрепленной на одном верхнем обруче. На рис. 7 изображены 3D-формы сетей, закрепленные на верхнем обруче при условии $q = 0,0006$ Н; $d = 0,61$ мм; $E = 1,1$ ГПа; $D_1 = 1,0$ м – диаметр верхнего обруча; $D_2 = 0,5$ м – диаметр нижнего обруча; $n = 100$ яч; $m = 20$ яч; $G = 500$ Н, $a = (100 \div 20)$ мм и $a = (100 \div 10)$ мм.

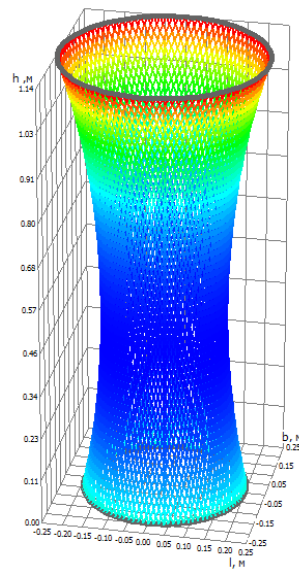
Сеть закреплена на одном обруче с грузом внутри ее. Расчет объема груза. Возьмем за исходный алгоритм с двумя обручами при $R = 0$ (сеть связана снизу). При этом G – масса груза. Добавим одно неизвестное H_c – высота груза и одно уравнение

$$V = V_c, \quad (9)$$

где V – объем груза (входной параметр); V_c – объем груза, вычисляемый исходя из геометрии.

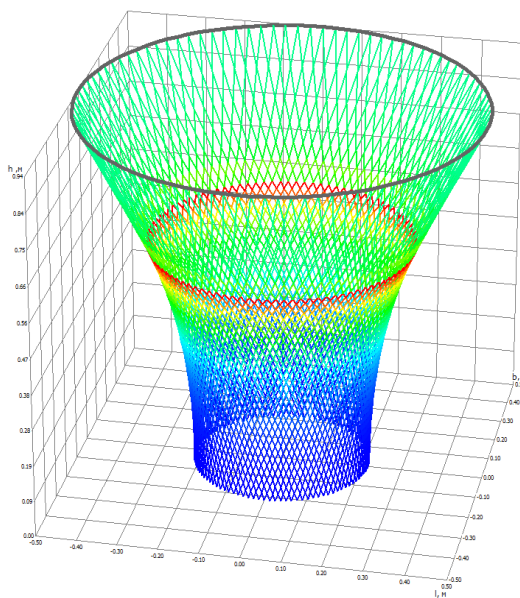


а
a = 30 мм

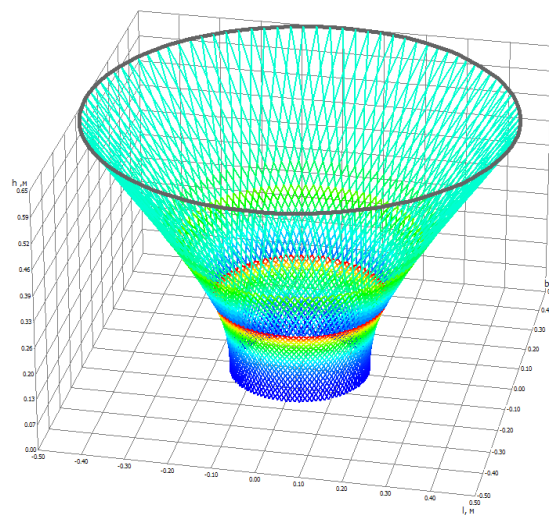


б
a = 20 мм

Рис. 6. 3D-форма сетей, закрепленных на двух обручах
Fig. 6. 3D the form of the netting fixed on two hoops



а
a = (100 ÷ 20) мм



б
a = (100 ÷ 10) мм

Рис. 7. 3D-форма сетей, закрепленных на верхнем обруче
Fig. 7. 3D the form of the netting fixed on the top hoop

$$V_c = \frac{1}{3} \sum_{i=0}^{k-1} a_{H_i} \left(S_i + \sqrt{S_i S_{i+1}} + S_{i+1} \right) + \frac{1}{3} \left(S_k + \sqrt{S_k S_c} + S_c \right) (H_c - H_k), \quad (10)$$

где S_i – площадь сечения i -го ряда; S_{i+1} – площадь сечения $i+1$ -го ряда; k – номер ряда, на котором заканчивается груз; S_k – площадь сечения k -го ряда; S_c – площадь сечения на уровне H_c ; H_k – высота ряда k .

Для расчета используется формула объема правильной усеченной пирамиды. Площадь сечения S_i определяется по формуле расчета площади вписанного правильного многоугольника:

$$S_i = \frac{n}{2} R_i^2 \sin \frac{2\pi}{n}. \quad (11)$$

Расчет распорной силы. Введем понятие распорной силы F_e , образованной давлением груза. Обозначим F_{e_H} и F_{e_R} проекции распорной силы на оси OH и OR . Изменим уравнение (7):

$$T_i \frac{a_{R_i}}{a_i} - T_{i+1} \frac{R_{i+1} - R_{i+2} \cos \frac{\pi}{n}}{a_{i+1}} = F_{e_R}. \quad (12)$$

Для ряда $i = 0$

$$F_{e_{R_0}} = 0. \quad (13)$$

Для рядов $i = [1 \dots m-1]$

$$F_{e_R} = \frac{P_i}{4} \left(S_{n_i} \frac{a_{H_i}}{a_i} + S_{n_{i-1}} \frac{a_{H_{i-1}}}{a_{i-1}} \right), \quad (14)$$

где P_i – давление груза на уровне i -го ряда; S_{n_i} – площадь одной секции i -го ряда.

$$\rho_i = \rho_0 e^{kP_{i-1}}, \quad P_0 = 0; \quad (15)$$

$$P_i = \rho_i g (H_c - H_i), \quad (16)$$

где k – коэффициент объемного расширения груза.

$$S_{n_i} = (R_i + R_{i+1}) \sqrt{a_i^2 - a_{T_i}^2} \sin \frac{\pi}{n}. \quad (17)$$

Результаты и их обсуждение

На рис. 8 изображены 3D-формы грузовой сетки, закрепленные на верхнем обруче, разного диаметра.

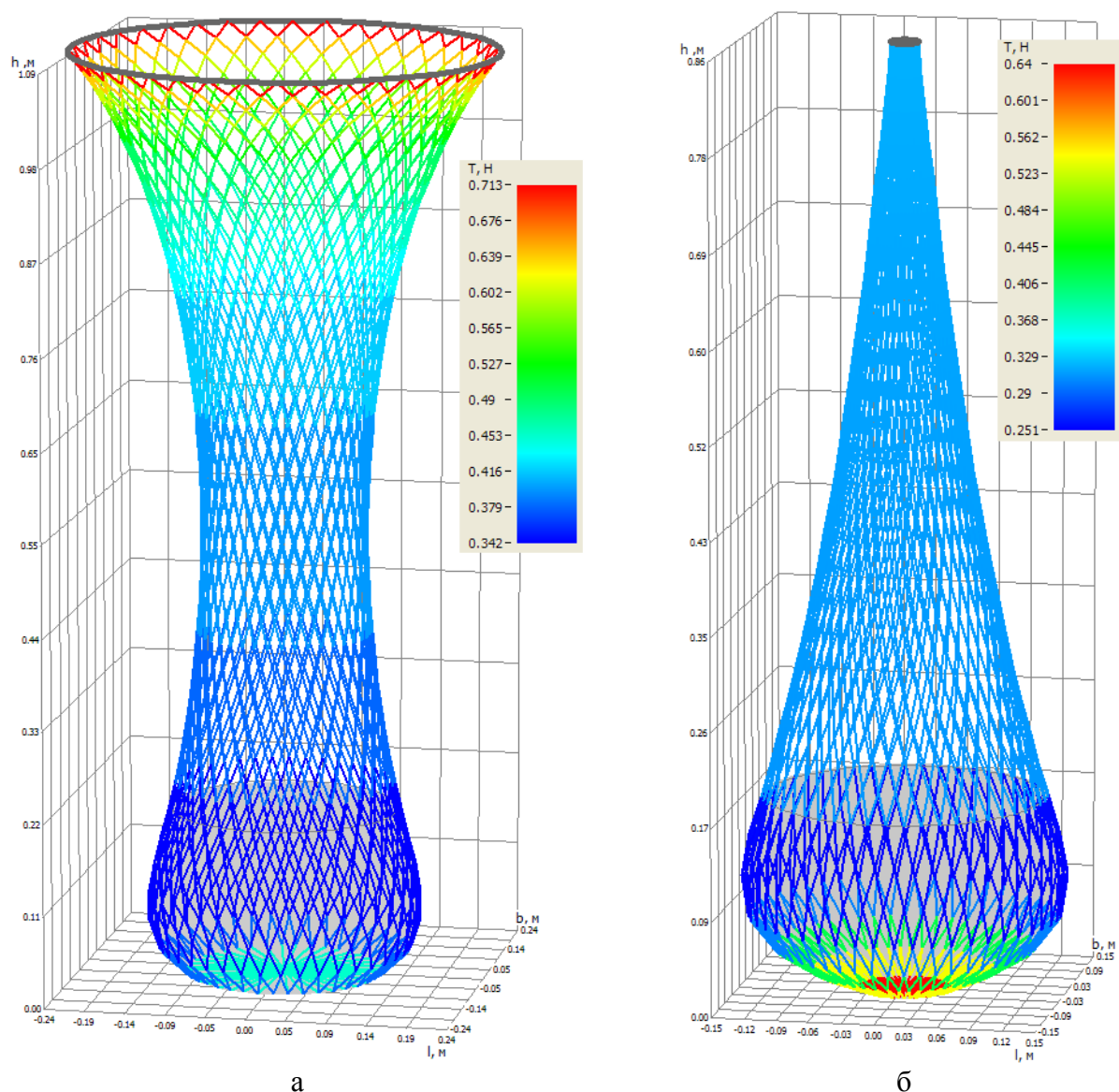


Рис. 8. 3D-форма сетей, закрепленных на верхнем обруче с грузом
 Fig. 8. 3D the form of the netting fixed on the top hoop with a cargo

На рис. 8 изображена грузовая стрелка: а - грузовая стрелка, закрепленная на обруче, $a = 30$ мм, $q = 0,0006$ Н; $d = 0,61$ мм; $E = 1,1$ ГПа; $D_1 = 0,5$ м – диаметр верхнего обруча; $n = 40$ яч; $m = 20$ яч; $G = 30$ Н, $V = 0,03$ м³; б – грузовая стрелка, закрепленная на обруче, $a = 30$ мм, $q = 0,0006$ Н; $d = 0,61$ мм; $E = 1,1$ ГПа; $D_1 = 0,025$ м – диаметр верхнего обруча; $n = 50$ яч; $m = 15$ яч; $G = 30$ Н, $V = 0,01$ м³.

По итогам выполненных исследований разработаны алгоритмы и методы расчета силовых и геометрических характеристик сети для трех случаев: сеть закреплена на двух обручах; сеть закреплена на одном обруче и сеть закреплена на одном обруче с грузом внутри ее (1)-(17). На основании алгоритмов создана компьютерная программа (рис. 9), на рис. 10 приводятся выходные расчетные параметры.

Используя вышеприведенную компьютерную программу «Сеть, закрепленная на обруче», возможно исследовать различные параметры грузовых сетей и др.

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

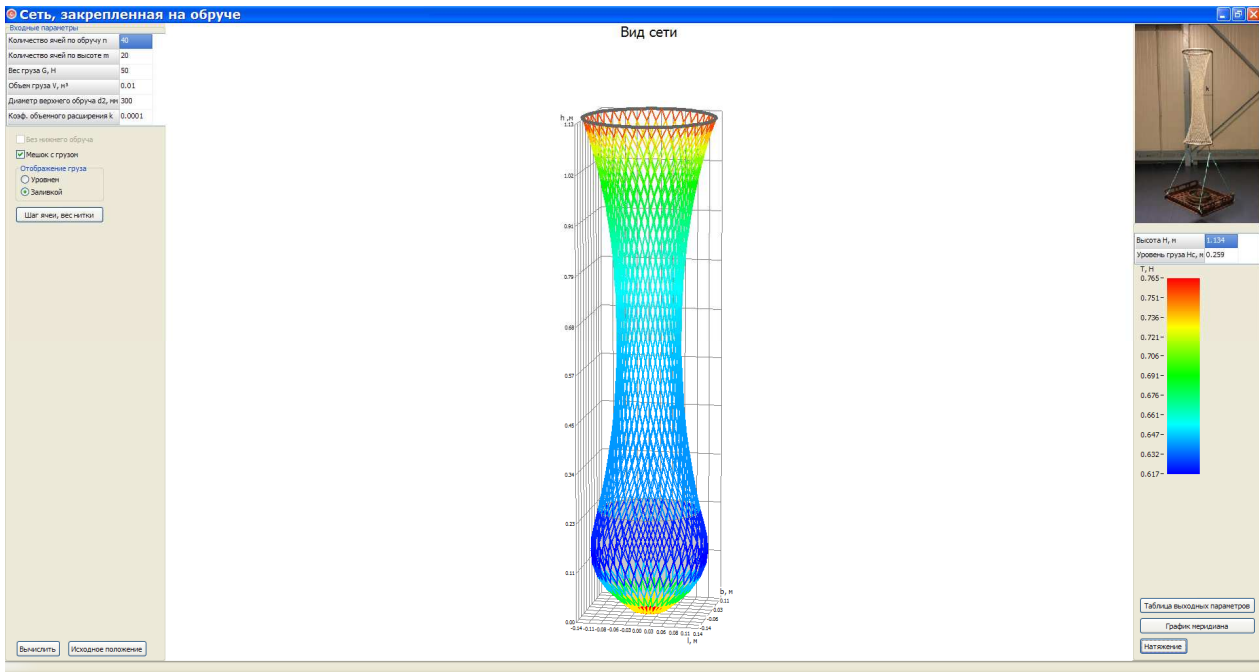


Рис. 9. Компьютерная программа «Сеть, закрепленная на обруче»
 Fig. 9. The computer program «Netting fixed on a hoop»

Таблица выходных параметров									
№	Диаметр охвата d, мм	Радиальная проекция КВИ, мм	Вертикальная проекция КВИ h, мм	Напряжение в нитках T, Н	Шаг ячеек a, мм	Посадочный коэффициент Lx	Посадочный коэффициент Ly	Угол раскрытия ячеек α, °	Плотность груза ρ, кг/л³
40	281.544637259515	9.22768137024249	25.8474520065822	0.75433530423665	30.0703952656	0.367678307958045	0.929953042823727	21.5725035941188	0
39	264.421769172466	8.56143404352425	26.4236987818558	0.737162697270575	30.06879270211	0.345335401270689	0.938497934151377	20.202271246217	0
38	248.609584880494	7.9060921459865	26.9247774035305	0.722741449836309	30.0674468980	0.324669187181193	0.945817338519374	18.9473513366158	0
37	234.078086058255	7.26574941111935	27.3590295420467	0.710583627076871	30.0663123188	0.305731705525261	0.952117705032637	17.8021904705388	0
36	220.7918109264	6.64313756592742	27.7343152361706	0.700295578053817	30.0653522286	0.288387578958441	0.957513761938954	16.7614473269558	0
35	208.712106304961	6.03985231071959	28.0578595450218	0.69155853825218	30.06453668141	0.272617046484195	0.962122625223123	15.8200558947587	0
34	197.798971985569	5.45656715969572	28.3362003579351	0.68411310188807	30.0638420650	0.258368423076807	0.966046457452644	14.9732721426926	0
33	188.012533305815	4.89321933987695	28.5751853752088	0.677746952245826	30.06324797006	0.245590061494884	0.969373778113963	14.2167072001962	0
32	179.314201545453	4.34916888018117	28.7799975873559	0.672285627386698	30.0627383141	0.234231897129555	0.972180753958383	13.5463500747637	0
31	171.667578220738	3.82331166235779	28.9551970732163	0.66758512774749	30.0622996592	0.224246651416788	0.974532420870828	12.9585825218678	0
30	165.03915319383	3.31421251345386	29.104712943746	0.663526192102739	30.0619208758	0.215590760721129	0.976483806261876	12.4501882359071	0
29	159.398839662727	2.82015676555163	29.2321886990792	0.660009774178065	30.06159272026	0.208225088210969	0.978080933583481	12.0183581288921	0
28	154.720382409361	2.33922862668283	29.3404522443832	0.656953415494755	30.06130749801	0.202115467187043	0.979361699232599	11.6606931261171	0
27	150.981669572259	1.86935641855072	29.4321506941104	0.654288376487459	30.0610587941	0.197233116106617	0.980356617721773	11.3752056355649	0
26	148.164972825657	1.40834837330102	29.509506421558	0.651957299211651	30.0608412558	0.193554958336927	0.981089434304126	11.1603206334054	0
25	146.257136260038	0.95391828280969	29.5744190524261	0.649912324749003	30.0605041696	0.191063873550646	0.981577605808029	11.0148771474722	0
24	145.249730385033	0.50370293502556	29.6285046844648	0.648113560373784	30.0604825546	0.189748902518535	0.981832650706327	10.9381308039028	0
23	145.13918486993	0.052729490198578	29.6731306857623	0.646527828479006	30.06033457261	0.189605422816426	0.98186036870759	10.9297980274243	0
22	145.926907955833	-0.393861734419979	29.709446233352	0.64512763014732	30.06020390601	0.190635309489079	0.981660928618432	10.989862447365	0
21	147.61940967053	-0.846250555609704	29.7384088447644	0.643890371194782	30.0600084427	0.192847091890598	0.98122820994033	11.18994058194	0
20	150.228417992787	-1.3045044628672	29.7608071905105	0.64279754799479	30.0598864594	0.196256115652202	0.980552669196872	11.3181117165736	0
19	153.771019421359	-1.77130071428577	29.772804896131	0.64183431420271	30.0598965695	0.200884716881315	0.979614888884154	11.5886996277747	0
18	158.269799029272	-2.24938980395654	29.7883347550757	0.640989868585224	30.0598176811	0.20676241419251	0.978391181520605	11.9326885895199	0
17	163.753007122446	-2.74160404658721	29.794356129014	0.640252601507656	30.0597489627	0.213926122943235	0.976849842054794	12.35252931515	0
16	170.25474194553	-3.25086741154186	29.795621480071	0.639618816476556	30.0596898173	0.222420394964869	0.974950854096591	12.851234325822	0
15	177.815154434804	-3.78020624463728	29.792306364366	0.639083521795667	30.0596398631	0.232297686122167	0.972644737312801	13.432383972026	0

Рис. 10. Выходные расчетные параметры компьютерной программы «Сеть, закрепленная на обруче»
 Fig. 10. Target settlement parameters of the computer program «Netting fixed on a hoop»

Список литературы

1. Lee C.W., Lee G.H., Cha B.J., Kim H.Y., Lee J.H. Physical modeling for underwater flexible systems dynamic simulation // Ocean engineering. – 2005. – № 32. – P. 331-347.
2. 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.

3. Недоступ А.А. Обоснование метода расчета сетных орудий рыболовства на основании дискретной модели // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 85-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации Фридмана Александра Львовича и 95-летию со дня основания кафедры промышленного рыболовства. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2010. – С. 266-275.
4. Недоступ А.А. Дискретная модель рыболовной сети // Изв. КГТУ. – 2010. – № 18. – С. 255-261.
5. Недоступ А.А., Полозков А.В. Математическое моделирование процесса погружения стенки кошелькового невода // Рыб. хоз-во. – 2011. – № 3. – С. 100-102.
6. Недоступ А.А. Методы расчета пассивных сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства: моногр. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2010. – 280 с.
7. Недоступ А.А. Методы расчета сетных активных орудий прибрежного и океанического рыболовства. Методы расчета донных и разноглубинных тралов: моногр. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2011. – 156 с.
8. Андреев Н.Н. Дифференциальное определение посадочного коэффициента // Тр. Мосрыбвтуза. – 1953. – Вып. V. – С. 69-77.
9. Андреев Н.Н. Уравнение поверхности сетного полотна, прикрепленного к двум оброчам // Тр. КТИРПиХ. – 1960. – Вып. XI. – С. 15-28.
10. Андреев Н.Н. Уравнение поверхности сетного полотна кошелькового невода во время стягивания колец // Тр. КТИРПиХ. – 1964. – Вып. XVII. – С. 43-73.
11. Изнанкин Ю.А. Геометрия рыболовной сети на поверхности вращения отрицательной кривизны // Тр. КТИРПиХ. – 1969. – Вып. XXI. – С. 70-79.
12. Коротков В.К. Рабочая форма трала и метод расчета его конической части // Тр. КТИРПиХ. Промышленное рыболовство. – 1971. – Вып. L. – С. 115-124.
13. Дверник А.В., Долин Г.М. К изучению усилий, действующих в устье траловой сети // Тр. КТИРПиХ. Промышленное рыболовство. – 1973. – Вып. LIII. – С. 88-91.
14. Иванов Э.П. Расчет сетной оболочки постоянной отрицательной гауссовской кривизны с учетом растяжимости нитей // Тр. КТИРПиХ. Промышленное рыболовство. – 1975. – Вып. LVII. – С. 80-83.
15. Гукало Я.М. О нагрузках в пространственных сетных фигурах и на моделях трала // Тр. КТИРПиХ. Промышленное рыболовство. – 1977. – Вып. 62. – С. 109-115.
16. Кулагин В.Д., Печерский Б.Г. Номограмма для расчета кошельковых неводов с учетом опушек // Тр. КТИРПиХ. Промышленное рыболовство. – 1977. – Вып. 62. – С. 121-126.
17. Изнанкин Ю.А., Котик В.П. О репрезентативности континуальной и дискретной моделей сетных мешков // Тр. КТИРПиХ. Промышленное рыболовство. – 1977. – Вып. 65. – С. 47-52.
18. Кулагин В.Д. Атлас расчетных диаграмм сетных частей некоторых типов орудий лова // Тр. КТИРПиХ. Теория, проектирование и эксплуатация рыболовных систем. – 1980. – Вып. 89. – С. 44-49.

Сведения об авторах: Недоступ Александр Алексеевич, кандидат технических наук, проректор по научной работе, зав. кафедрой промышленного рыболовства, e-mail: nedostup@klgtu.ru, anedostup@yahoo.com;
Павленко Александр Александрович, зав. лабораторией промышленного рыболовства, e-mail: pavlenko@pinro.ru;
Ражев Алексей Олегович, аспирант.