

Научная статья
УДК 639.2.081.1; 621.9.014.2; 621.9.014
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2021-4-63-72>

Производительность сил траловой системы – III: математическое моделирование (часть I)

А. А. Недоступ^{1✉}, А. О. Ражев², П. В. Насенков³,
К. В. Коновалова⁴, А. А. Быков⁵, Ю. С. Пивоварова⁶

¹⁻⁶Калининградский государственный технический университет,
Калининград, Россия, nedostup@klgtu.ru[✉]

Аннотация. Производительность сил траловых систем напрямую зависит от работы, выполненной этими силами. Механическая работа траловой системы – физическая величина, зависящая от силы (гидродинамической, растяжения, сжатия и пр.) и перемещения; термодинамическая работа – количество энергии, переданной или полученной траловой системой путем изменения ее внешних параметров. Также существует работа сил электростатического поля при перемещении заряда из одной точки поля в другую. Получены уравнения для идеальных гибких стальных канатов и канатно-веревочных изделий, характеризующие прямую пропорциональность отношения производительности сил, которые направлены перпендикулярно друг другу и зависят от коэффициента Пуассона и конструктивного удлинения идеальных гибких стальных канатов и канатно-веревочных изделий. Отношение производительностей сил или отношение модулей упругости в поперечном и продольном направлениях, которые возникают при растяжении стальных канатов и канатно-веревочных изделий, обратно пропорциональны квадрату коэффициента k , связывающего удлинение λ , коэффициент Пуассона μ и относительное удлинение ϵ при постоянном объеме изделия и его массе. Рассмотрен пример растяжения идеально гибких стальных канатов и канатно-веревочных изделий. Не учитывались такие конструктивные параметры, как свивка, количество прядей, толщина проволоки и волокна, тип плетения.

Ключевые слова: траловая система, производительность сил, математическое моделирование, стальные канаты, канатно-веревочные изделия

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-390004.

Для цитирования: Недоступ А. А., Ражев А. О., Насенков П. В., Коновалова К. В., Быков А. А., Пивоварова Ю. С. Производительность сил траловой системы – III: математическое моделирование (часть I) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2021. № 4. С. 63–72. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2021-4-63-72>.

Original article

Force performance of trawl system – III: mathematical modeling (part I)

А. А. Недоступ^{1✉}, А. О. Ражев², П. В. Насенков³,
К. В. Коновалова⁴, А. А. Быков⁵, Ю. С. Пивоварова⁶

¹⁻⁶Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia, nedostup@klgtu.ru[✉]

Abstract. The force performance of trawl systems directly depends on the work performed by these forces. The mechanical work of a trawl system is a physical quantity that depends on the vectors of force (hydrodynamic, tension, compression, etc.) and displacement. Thermodynamic work is the amount of energy transmitted or received by the trawl system by changing its external parameters. There is also the work of the forces of the electrostatic field when the charge moves from one point of the field to another. Equations are obtained for ideal flexible steel ropes and rope-rope products, characterizing the direct proportionality of the ratio of the productivity of forces that are directed perpendicular to each other and depend on the Poisson's ratio and the constructive elongation of ideal flexible steel ropes and cordage products. The ratio of the capacities of the forces or the ratio of the moduli of elasticity in the transverse and longitudinal directions, which arise when steel ropes and rope-rope products are stretched, are inversely proportional to the square of the coefficient k connecting the elongation λ , Poisson's ratio μ and the relative elongation ϵ at a constant volume of the product and its mass. There has been described an example of stretching perfectly flexible steel

ropes and cordage. Such constructive parameters as lay, the number of strands, wire and fiber thickness, type of weaving were not taken into account.

Keywords: trawl system, force performance, mathematical modeling, steel ropes, cordage

Acknowledgment: the study was carried out under the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Kaliningrad Region within the framework of the scientific project No. 19-48-390004.

For citation: Nedostup A. A., Razhev A. O., Nasenkov P. V., Konovalova K. V., Bykov A. A., Pivovarova Yu. S. Force performance of trawl system – III: mathematical modeling (part I). *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2021;4:63-72. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2021-4-63-72>.

Введение

Производительность сил H траловой системы (ТС) напрямую зависит от работы, выполненной этими силами. Механическая работа ТС – физическая величина, зависящая от силы (гидродинамической, растяжения, сжатия и др.) и перемещения. Термодинамическая работа – количество энергии, переданной или полученной ТС путем изменения ее внешних параметров. Также существует работа сил электростатического поля при перемещении заряда из одной точки поля в другую.

Математическое моделирование производительности сил ТС рассматривается как совокупность математических моделей процессов, протекающих в ТС и ее элементах, а также в промысловых механизмах, которые размещены на палубе рыбопромыслового судна [1–4].

Производительность сил гидробионтов не рассматривается, т. к. это задача на порядок сложнее.

Математическое моделирование – ответственная научная задача, имеющая общее фундаментальное значение, и его нужно рассматривать только как базу для решения для главной задачи – проектирования ТС. Математическое моделирование ТС состоит в описании законов природы, в отыскании теоретических методов исследования и разрешения различных проблем и, наконец, в получении систематических материалов, приемов, правил и рекомендаций для решения конкретных практических задач.

Запишем постулаты относительно производительности сил ТС. Запишем связь производительности сил H и сил (первый и второй постулаты), действующих в точках ТС (рис. 1).

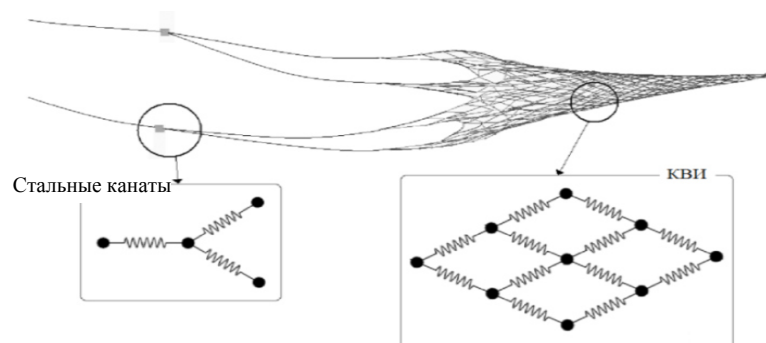


Рис. 1. Разноглубинный трал: КВИ – канатно-веревочные изделия

Fig. 1. Midwater trawl: КВИ – rope-rope products

Постулат 1. Дифференциальный закон движения описывает взаимосвязь между приложенным к материальной точке квадратом силы и получающейся от этого производительностью сил этой точки.

Постулат 2. Производительность сил, действующих на материальную точку, равна второй производной работы этих сил по времени.

Постулат 3. Производительность системы сил разной природы, действующих на систему, состоящая из материальных точек, называется производительностью сил системы (технической, биологической и др.):

$$\begin{cases} H = \frac{d^2 A}{dt^2}; \\ mH = T^2, \end{cases} \quad (1)$$

где H – производительность сил ТС [$H^2/\text{кг}$]; A – работа ТС; T – сила ТС; t – время процесса; m – масса ТС.

Создание единой базы данных по канатно-веревочным изделиям (КВИ) и нитевидным материалам, а также по стальным канатам (СК) является приоритетной задачей для выполнения процедур проектирования ТС. Отметим, что СК и КВИ являются анизотропными телами, и в этом случае их конструктивные, геометрические и силовые характеристики в продольном и поперечном сечениях различные.

В статье рассмотрен пример растяжения идеально гибких СК и КВИ. Не учитывались такие конструктивные параметры, как свивка, количество прядей, толщина проволоки и волокна, тип плетения.

Постановка задачи

Рассмотрим задачу удлинения идеально гибких СК ТС (ваера, лапки траловых досок, кабели, голые концы, подборы) и КВИ (канатные связи, элементы сетных пластин). Необходимо понимать важные проблемы удлинения и растяжения СК и КВИ. При удлинении СК и КВИ изменяется их длина и диаметр, и, соответственно, изменяется гидродинамический коэффициент сопротивления канатно-сетной оболочки трала [4, 5]. Но помимо изменения гидродинамического сопротивления траловой оболочки увеличивается износ СК и КВИ. Износ СК и КВИ, а точнее, уменьшение его числового значения, является важной составляющей эксплуатации ТС. Износ влияет на производительность сил ТС.

Методы

Коэффициент Пуассона μ для материала СК и КВИ представим в виде

$$\mu = \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon} = \left| -\frac{\Delta d}{d} \frac{L}{\Delta L} \right| = \frac{\Delta d}{\Delta L} \frac{L}{d} = \frac{\Delta d}{\Delta L} \lambda, \quad (2)$$

где ε – относительная продольная деформация; ε_d – относительная поперечная деформация; Δd – приращение диаметра; d – диаметр изделия; L – длина изделия; ΔL – приращение длины. Конструктивное удлинение СК и КВИ λ (конструктивный параметр)

$$\lambda = L/d, \quad (3)$$

причем относительная площадь сетного полотна F_0 , из которого изготавливают на фабриках сетные пластины для тралов, составляет

$$F_0 = \frac{d}{a} \frac{1}{u_x u_y}, \quad (4)$$

где a – шаг ячеи; u_x – характеристика формы ячеи по оси OX ; u_y – характеристика формы ячеи по оси OY .

При большом значении радиуса кривизны (раскрытые канатно-сетной оболочки трала) можем применить для u_x и u_y выражение

$$u_x = \sqrt{1 - u_y^2}.$$

Выражение (4) с учетом (3) перепишем для сетных пластин

$$F_0 = \frac{1}{\lambda u_x u_y}. \quad (5)$$

На основании [7] рассмотрим работу, которая совершается при удлинении СК и КВИ ТС:

$$dA = T dx,$$

где T – продольная сила (сила натяжения) СК и КВИ; $d(x) = d(\Delta L)$ – изменение ΔL .

Так как СК и КВИ имеют в сечении (рис. 2) условную окружность, то примем, что ось OZ совпадает при вращении СК и КВИ, тогда

$$\begin{cases} dA_x = T_x dx \\ dA_y = T_y dy \end{cases}, \quad (6)$$

где A_x – работа силы растяжения СК и КВИ в продольном направлении, оси OX ; A_y – работа силы «сжатия» СК и КВИ в поперечном направлении, оси OY ; T_x – натяжение СК и КВИ в продольном направлении, оси OX ; T_y – натяжение СК и КВИ в поперечном направлении, оси OY (условные силы); $d(y) = d(\Delta d)$ – уменьшение Δd – приращение диаметра.

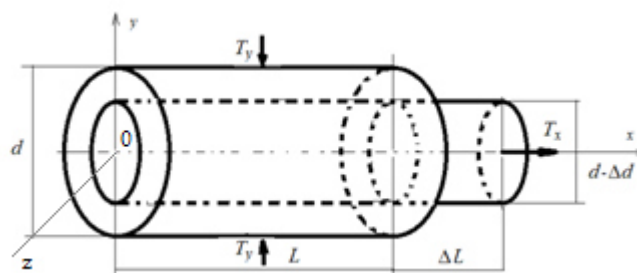


Рис. 2. СК и КВИ при растяжении

Fig. 2. WC and RW under tension

Рассматривая СК и КВИ при растяжении, сделаем допущение: работа силы растяжения в продольном направлении A_x является истинной работой, а работа силы «сжатия» в поперечном направлении A_y является условной, т. к. она зависит только от продольных сил и характеристик материала СК и КВИ. Причем, если сжимать СК и КВИ в попереч-

ном сечении, то невозможно добиться изменения их длины на ε , это обусловлено анизотропностью материала, также можно рассмотреть пример растяжения СК и КВИ в поперечном сечении [7]. В этой связи принимаем, что натяжение СК и КВИ в поперечном направлении T_y тоже условная сжимающая сила.

Продифференцируем (6) по t два раза:

$$\begin{cases} \frac{d^2 dA_x}{dt^2} = T_x \frac{d^2 dx}{dt^2}; \\ \frac{d^2 dA_y}{dt^2} = T_y \frac{d^2 dy}{dt^2}, \end{cases} \quad (7)$$

исходя из (1) и (7), а также определения ускорения $w_x = d^2x/dt^2$ и $w_y = d^2y/dt^2$, получаем

$$\begin{cases} dH_x = T_x(x) dw_x; \\ dH_y = T_y(x) dw_y, \end{cases} \quad (8)$$

где H_x – производительность продольных сил СК и КВИ; H_y – производительность условных поперечных сил СК и КВИ.

Разделив первое уравнение (8) на второе с учетом (3), получим

$$\frac{dH_x}{dH_y} = \frac{T_x(x) dw_x}{T_y(x) dw_y} = \frac{T_x(x)}{T_y(x)} \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (9)$$

где α – безразмерное сужение КВИ или СК, или при малых α ,

$$H_x/H_y = \frac{T_x}{T_y} \frac{1}{\alpha}. \quad (10)$$

Безразмерное уравнение (9) характеризует прямую пропорциональность отношения производительности сил, направленных перпендикулярно друг другу, к силам, направленным в данных направлениях.

Для реальных рыболовных КВИ и СК отношение $\Delta d/\Delta L$ мало, т. к. длина СК и КВИ превосходит их диаметр в несколько раз. Тогда

$$\operatorname{tg} \alpha = (dw_y)/(dw_x) = \Delta d / \Delta L; \quad (11)$$

Введем допущение, что для анизотропного тела коэффициент Пуассона (2) с учетом (14) равен

$$\mu = \alpha \lambda. \quad (12)$$

Таким образом, выражение (12) характеризует связь коэффициента Пуассона μ , который зависит не от размеров тела, а от природы материала, из которого изготовлены стальные проволоки СК и волокна КВИ, безразмерного сужения α и конструктивного удлинения λ .

Запишем второе уравнение системы (1) в виде (масса m СК и КВИ остается без изменений)

$$\frac{H_x}{H_y} = \left(\frac{T_x}{T_y} \right)^2 \quad (13)$$

и приравняем правые части (10) и (13):

$$\left(\frac{T_x}{T_y} \right)^2 = \frac{T_x}{T_y} \frac{1}{\alpha},$$

или

$$T_x/T_y = 1/\alpha, \quad (14)$$

а на основании (13)

$$H_y/H_x = \alpha^2. \quad (15)$$

Согласно (12), (14) и (15) коэффициент Пуассона представим в виде

$$\mu = \frac{T_y}{T_x} \lambda = \sqrt{\frac{H_y}{H_x}} \lambda, \quad (16)$$

или

$$H_y/H_x = (\mu/\lambda)^2. \quad (17)$$

Выражение (17) характеризует прямую пропорциональность отношения производительности сил, направленных перпендикулярно друг другу, к квадрату отношения коэффициента Пуассона СК и КВИ к конструктивному удлинению.

Для сетных пластин трала получим выражение, с учетом (5),

$$H_y/H_x = \left(F_{o\mu} \mu_x \sqrt{1-u_x^2} \right)^2.$$

Из (17) выразим производительность сил для СК и КВИ в направлении оси OX :

$$H_x = H_y (\lambda/\mu)^2. \quad (18)$$

Рассмотрим вариант с СК и КВИ, когда их объем при деформации не изменяется. Тогда примем для СК и КВИ выражение для расчета коэффициента Пуассона μ [8]

$$\mu = \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1+\varepsilon_x}} \right) \frac{1}{\varepsilon_x} = \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1+\varepsilon}} \right) \frac{1}{\varepsilon}, \quad (19)$$

где $\varepsilon = \varepsilon_x$.

Представим выражения (16) и (18) в виде

$$T_x = T_y \varepsilon \lambda / \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1+\varepsilon}} \right), \quad (20)$$

$$H_x = H_y \left(\varepsilon^2 \lambda^2 / \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1+\varepsilon}} \right)^2 \right). \quad (21)$$

Коэффициент Пуассона μ и модуль Юнга E характеризуют упругие свойства анизотропного материала в продольном направлении.

Запишем выражение, связывающее изменение диаметра СК и КВИ в процессе растяжения

$$\Delta d = d - d_1, \quad (22)$$

где d_1 – диаметр в момент разрыва изделия.

На основании выражений (2) и (22) диаметр в момент разрыва СК и КВИ

$$d_1 = d(1 - \mu\varepsilon).$$

Введем допущение, что в сечении СК и КВИ представляют собой окружность, а поверхность их имеет площадь гладкого цилиндра.

Площади сечений

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi d^2 (1 - \mu\varepsilon)^2}{4} = S(1 - \mu\varepsilon)^2 \\ S_{n1} &= \pi d_1 L_1 = \pi d (1 - \mu\varepsilon)(L + \Delta L) = S_n (1 - \mu\varepsilon)(1 + \varepsilon) \end{aligned} \right\},$$

где S_1 – измененная площадь поперечного сечения СК и КВИ в процессе растяжения; S_{n1} – измененная площадь поверхности СК и КВИ в процессе растяжения; S – принятая площадь поперечного сечения СК и КВИ; S_n – принятая площадь поверхности СК и КВИ.

Согласно закону Гука для изотропных тел

$$E = T/\varepsilon S, \quad (23)$$

где E – модуль Юнга материала, характеризующий упругие свойства изотропного материала.

Для анизотропных тел

$$\left. \begin{aligned} E_x &= T_x / (\varepsilon S (1 - \mu\varepsilon)^2) \\ E_y &= T_y / (\varepsilon_d S_n (1 - \mu\varepsilon)(1 + \varepsilon)) \end{aligned} \right\}, \quad (24)$$

где E_x – модуль упругости СК и КВИ в поперечном сечении; E_y – условный модуль упругости по поверхности СК и КВИ.

Подставим выражение (19) в (24):

$$\left. \begin{aligned} E_x &= T_x / \left(\varepsilon S \left(\frac{1}{1 + \varepsilon_x} \right) \right) \\ E_y &= T_y / \left(\varepsilon_d S_n \sqrt{1 + \varepsilon_x} \right) \end{aligned} \right\}. \quad (25)$$

Найдем отношение $e = E_y/E_x$ из (25) с учетом (2) и (3):

$$\frac{E_y}{E_x} = \frac{T_y}{T_x} \frac{\varepsilon}{\varepsilon_d} \frac{S}{S_n} \frac{(1 + \varepsilon_x)}{\sqrt{1 + \varepsilon_x}} = \frac{T_y (1 + \varepsilon)}{4\mu\lambda T_x \sqrt{1 + \varepsilon}},$$

или, с учетом (19) и (20),

$$\frac{E_y}{E_x} = \frac{1}{4\lambda^2} \sqrt{\frac{1}{(1 + \varepsilon)^3}}. \quad (26)$$

Выражение (26) справедливо только при наличии продольной деформации (удлинения) несжимаемого тела.

Результаты и обсуждение

Отобразим графически зависимость вида (19) $\mu = f(\varepsilon)$ (рис. 3).

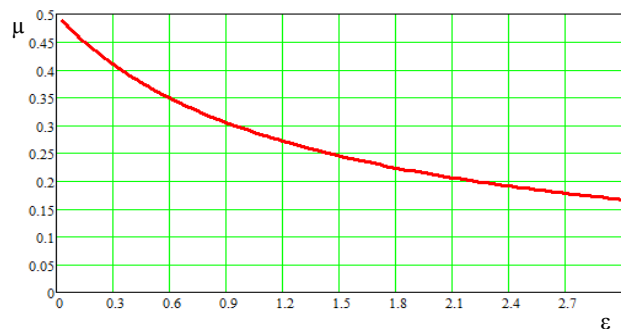


Рис. 3. Зависимость вида (19) $\mu = f(\varepsilon)$

Fig. 3. Dependence of the form (19) $\mu = f(\varepsilon)$

Данная зависимость справедлива для больших продольных нагрузок.

Отобразим графически (рис. 4) зависимость вида (20) $T_y/T_x = f(\varepsilon, \lambda)$, или $\alpha = f(\varepsilon, \lambda)$:

$$\frac{T_y}{T_x} = \frac{\left(1 - \sqrt{\frac{1}{1 + \varepsilon}} \right)}{\varepsilon\lambda} = \alpha. \quad (27)$$

Недоступ А. А., Ражев А. О., Насенков П. В., Коновалова К. В., Былов А. А., Пивоварова Ю. С. Производительность сил траловой системы – III: математическое моделирование (часть I)

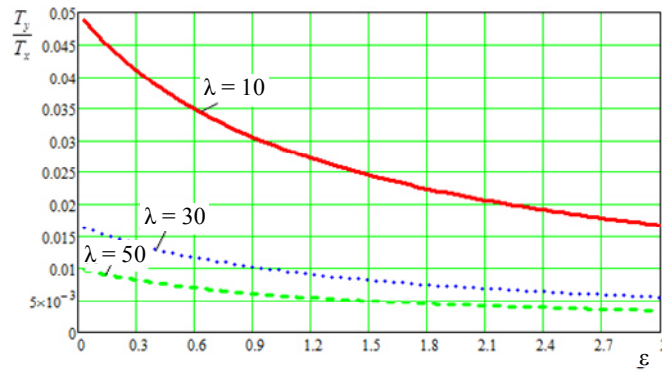


Рис. 4. Зависимость вида (20) $T_y/T_x = f(\epsilon, \lambda)$

Fig. 4. Dependence of the form (20) $T_y/T_x = f(\epsilon, \lambda)$

Отобразим графически (рис. 5) зависимость вида (21) $H_y/H_x = f(\epsilon, \lambda)$, или $\alpha^2 = f(\epsilon, \lambda)$

$$H_y/H_x = \left(\left(1 - \sqrt{\frac{1}{1+\epsilon}} \right) / \epsilon \lambda \right)^2 = \alpha^2.$$

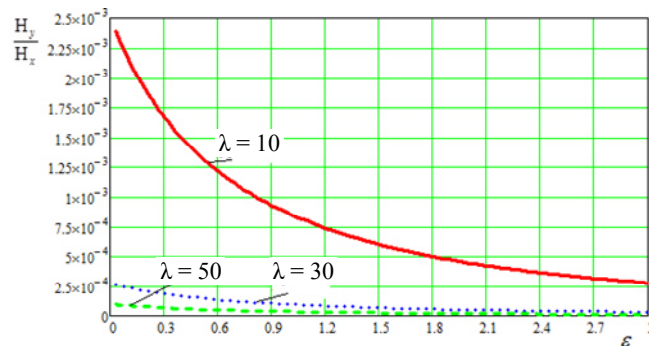


Рис. 5. Зависимость вида (21) $H_y/H_x = f(\epsilon, \lambda)$

Fig. 5. Dependence of view (21) $H_y/H_x = f(\epsilon, \lambda)$

Отобразим графически зависимость вида (26) $E_y/E_x = f(\epsilon, \lambda)$, или $e = f(\epsilon, \lambda)$ (рис. 6).



Рис. 6. Зависимость вида (26) $E_y/E_x = f(\epsilon, \lambda)$

Fig. 6. Dependence of view (26) $E_y/E_x = f(\epsilon, \lambda)$

Зависимость $E_y/E_x = f(T_y/T_x)$ представлена на рис. 7.



Рис. 7. Зависимость вида $E_y/E_x = f(T_y/T_x)$

Fig. 7. Dependence of view $E_y/E_x = f(T_y/T_x)$

Разделим выражение (27) на (26) для поиска отношения $T/E = \varepsilon S$:

Зависимость $T_y E_x / T_x E_y = f(\varepsilon, \lambda)$ представлена на рис. 8.

$$\frac{T_y}{E_y} \frac{E_x}{T_x} = \frac{4\lambda}{\varepsilon} \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1+\varepsilon}} \right) \sqrt{(1+\varepsilon)^3} = \frac{\alpha}{e}. \quad (28)$$

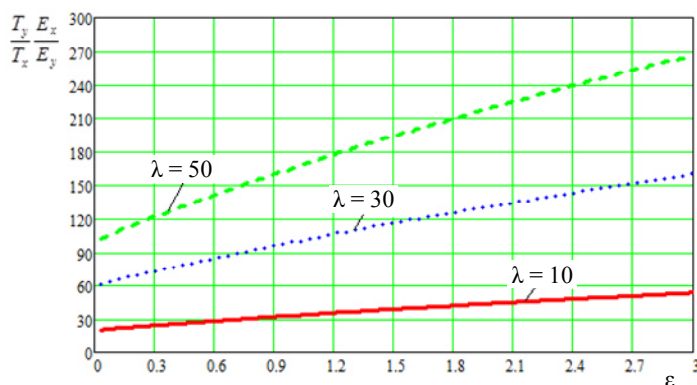


Рис. 8. Зависимость вида $T_y E_x / T_x E_y = f(\varepsilon, \lambda)$

Fig. 8. Dependence of view $T_y E_x / T_x E_y = f(\varepsilon, \lambda)$

Выражение (28) представим в виде

$$T_y/E_y = k T_x/E_x,$$

$$\frac{T_y}{E_y} \frac{E_x}{T_x} = 4\mu\lambda \frac{(1+\varepsilon)}{(1-\mu\varepsilon)} = \frac{\alpha}{e},$$

где k – коэффициент пропорциональности:

или

$$k = 4\mu\lambda \sqrt{(1+\varepsilon)^3} = \frac{4\lambda}{\varepsilon} \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1+\varepsilon}} \right) \sqrt{(1+\varepsilon)^3}.$$

$$k = 4\mu\lambda \left((1+\varepsilon)/(1-\mu\varepsilon) \right).$$

На основании закона Гука (23) получим следующее отношение:

Представим отношение производительности сил при условии постоянства объема в виде

$$T/E = \varepsilon S.$$

$$H_y/H_x = k^2 e^2 = \alpha^2. \quad (29)$$

Тогда

Представим отношение сил СК и КВИ при условии постоянства объема в виде

$$T_y/T_x = ke = \alpha.$$

Зависимость $H_y/H_x = f(E_y/E_x)$ представлена на рис. 9.

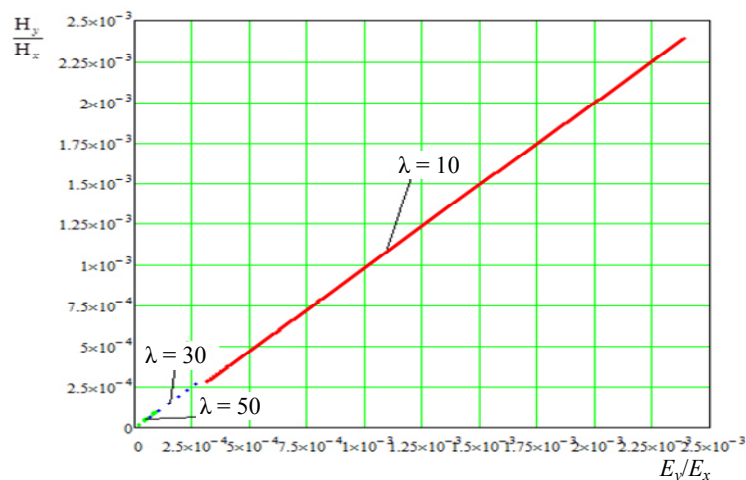


Рис. 9. Зависимость вида $H_y/H_x = f(E_y/E_x)$

Fig. 9. Dependence of view $H_y/H_x = f(E_y/E_x)$

На основании графика зависимости $H_y/H_x = f(E_y/E_x)$ (см. рис. 9) можно сделать вывод, что

$$H_y/H_x = k_1 E_y/E_x,$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности, значение которого находится в диапазоне 0,89–1,0, и в этой связи его примем за $k_1 = 1,0$, т. к. отношение L/d для СК и КВИ превышает $L/d = 10$, и только для сетных пластин, где шаг ячеек 10 мм и диаметр нитки 1 мм, удлинение будет равным $L/d = 10$, а значение коэффициента k_1 составляет 0,89, (см. рис. 9), тогда

$$H_y/H_x = E_y/E_x = e.$$

Зависимость вида (29) представим в виде

$$e = k^2 e^2 = \alpha^2$$

или запишем уравнения, связывающие безразмерные конструктивные, геометрические и силовые характеристики СК и КВИ при условии постоянства объема

$$\left. \begin{aligned} ke &= \alpha \\ e &= \alpha^2 \\ \sqrt{e} &= \alpha \\ ek^2 &= 1 \\ ak &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

На основании пятого уравнения системы (30) и выражения (29) запишем

$$H_y/H_x = 1/k^2.$$

Таким образом, для идеально гибких СК и КВИ отношение производительности сил или отношение

модулей упругости в поперечном и продольном направлениях, которые возникают при растяжении СК и КВИ, обратно пропорциональны квадрату коэффициента k , который связывает удлинение λ , коэффициент Пуассона μ и относительное удлинение ε СК и КВИ при условии постоянства объема.

Заключение

В статье рассмотрен пример растяжения идеально гибких стальных канатов и канатно-веревочных изделий. Не учитывались такие конструктивные параметры, как свивка, количество прядей, толщина проволоки и волокна, тип плетения.

Безразмерное уравнение СК и КВИ (10) характеризует прямую пропорциональность отношения производительности сил, направленных перпендикулярно друг другу, к силам, направленным в данных направлениях, равную λ .

Выражение (14) характеризует отношение сил (растягивающих и сжимающих) СК и КВИ, направленных перпендикулярно друг другу, равное $\text{tg} \alpha$. Выражение (15) характеризует отношение производительности сил, направленных перпендикулярно друг другу, равное $\text{tg}^2 \alpha$.

Выражение (16) характеризует прямую пропорциональность отношения производительности сил, направленных перпендикулярно друг другу, к отношению коэффициента Пуассона СК и КВИ к удлинению в квадрате.

Отношение производительности сил или отношение модулей упругости в поперечном и продольном направлениях, которые возникают при растяжении СК и КВИ, обратно пропорциональны квадрату коэффициента k , который связывает удлинение λ , коэффициент Пуассона μ и относительное удлинение ε СК и КВИ при условии $V_1 = V$ (где V – объем изделия).

Список источников

1. Недоступ А. А., Наумов В. А., Разжев А. О., Белых А. В. Математическое моделирование орудий и процессов рыболовства. Ч. I: моногр. Калининград: Изд-во КГТУ, 2013. 253 с.
2. Недоступ А. А., Разжев А. О. Математическое моделирование орудий и процессов рыболовства. Ч. II: моногр. Калининград: Изд-во КГТУ, 2014. 249 с.
3. Недоступ А. А., Разжев А. О., Соколова Е. В., Макаров В. В. Математическое моделирование орудий и процессов рыболовства. Ч. III: моногр. Калининград: Изд-во КГТУ, 2016. 184 с.
4. Недоступ А. А. Методы расчета пассивных сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства: моногр. Калининград: Изд-во КГТУ, 2010. 280 с.
5. 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.
6. Варданян Г. С., Андреев В. И., Атаров Н. М., Горшков А. А. Сопrotивление материалов с основами теории упругости и пластичности. М.: Изд-во АСВ, 1995. 568 с.
7. Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В., Разжев А. О., Альтшуль Б. А., Федоров С. В. Относительная жесткость рыболовных крученых изделий // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2020. № 1. С. 46–60.

References

1. Nedostup A. A., Naumov V. A., Razhev A. O., Belykh A. V. *Matematicheskoe modelirovanie orudii i protsessov rybolovstva. Chast' I: monografiia* [Mathematical modeling of fishing tools and processes. Part I: monograph]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2013. 253 p.
2. Nedostup A. A., Razhev A. O. *Matematicheskoe modelirovanie orudii i protsessov rybolovstva. Chast' II: monografiia* [Mathematical modeling of fishing tools and processes. Part II: monograph]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2014. 249 p.
3. Nedostup A. A., Razhev A. O., Sokolova E. V., Makarov V. V. *Matematicheskoe modelirovanie orudii i protsessov rybolovstva. Chast' III: monografiia* [Mathematical modeling of fishing tools and processes. Part III: monograph]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2016. 184 p.
4. Nedostup A. A. *Metody rascheta passivnykh setnykh orudii vnutrennego i pribrezhnogo rybolovstva: monografiia* [Methods for calculating passive netting tools for internal and coastal fishing: monograph]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2010. 280 p.
5. Nedostup A. A. *Metody rascheta setnykh aktivnykh orudii pribrezhnogo i okeanicheskogo rybolovstva. Metody rascheta donnykh i raznoglubinnykh tralov: monografiia* [Methods for calculating net active tools of coastal and oceanic fisheries. Methods for calculating bottom and midwater trawls: monograph]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2011. 156 p.
6. Vardanian G. S., Andreev V. I., Atarov N. M., Gorshkov A. A. *Soprotivlenie materialov s osnovami teorii uprugosti i plastichnosti* [Resistance of materials with principles of theory of elasticity and plasticity]. Moscow, Izd-vo ASV, 1995. 568 p.
7. Nedostup A. A., Konovalova K. V., Nasenkov P. V., Razhev A. O., Al'tshul' B. A., Fedorov S. V. Otnositel'naia zhestkost' rybolovnykh kruchenykh izdelii [Relative rigidity of fishing twisted products]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2020, no. 1, pp. 46-60.

Статья поступила в редакцию 12.11.2020; одобрена после рецензирования 12.10.2021; принята к публикации 12.11.2021
The article is submitted 12.11.2020; approved after reviewing 12.10.2021; accepted for publication 12.11.2021

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Алексеевич Недоступ – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой промышленного рыболовства; Калининградский государственный технический университет; Калининград, проспект Советский, 1; nedostup@klgtu.ru

Алексей Олегович Разжев – младший научный сотрудник УНИД; Калининградский государственный технический университет; Калининград, проспект Советский, 1; progacpp@live.ru

Павел Владимирович Насенков – специалист по УМР 2 категории в УИЛ САПР техники промышленного рыболовства; Калининградский государственный технический университет; Калининград, проспект Советский, 1; pavel.nasenkov@klgtu.ru

Alexander A. Nedostup – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Industrial Fishery; Kaliningrad State Technical University; Kaliningrad, Soviet Avenue, 1; nedostup@klgtu.ru

Alexey O. Razhev – Junior Researcher of the Department of Management of Research Activities; Kaliningrad State Technical University; Kaliningrad, Soviet Avenue, 1; progacpp@live.ru

Pavel V. Nasenkov – Specialist in EMW of the 2nd category in the ERL of the CAD of Commercial Fishing Equipment; Kaliningrad State Technical University; Kaliningrad, Soviet Avenue, 1; pavel.nasenkov@klgtu.ru

Карина Витальевна Коновалова – аспирант кафедры промышленного рыболовства; Калининградский государственный технический университет; Калининград, проспект Советский, 1; karina.konovalova@klgtu.ru

Karina V. Konovalova – Postgraduate Student of the Department of Industrial Fisheriy; Kaliningrad State Technical University; Kaliningrad, Soviet Avenue, 1; karina.konovalova@klgtu.ru

Алексей Александрович Быков – аспирант кафедры промышленного рыболовства; Калининградский государственный технический университет; Калининград, проспект Советский, 1; bykov@intechfuture.ru

Alexey A. Bykov – Postgraduate Student of the Department of Industrial Fisheriy; Kaliningrad State Technical University; Kaliningrad, Soviet Avenue, 1; bykov@intechfuture.ru

Юлия Сергеевна Пивоварова – студентка кафедры промышленного рыболовства; Калининградский государственный технический университет; Калининград, проспект Советский, 1; yuliya.pivovarova@klgtu.ru

Yulia S. Pivovarova – Student of the Department of Industrial Fisheriy; Kaliningrad State Technical University; Kaliningrad, Soviet Avenue, 1; bykov@intechfuture.ru

