

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДИНАМИКИ РАБОТЫ НЕВОДОВЫБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА НА ЭТАПЕ КОШЕЛЬКОВАНИЯ

Ивановская А. В. к.т.н., доц.,  
Богатырева Е.В., ст.преподаватель

*Керченский государственный морской технологический университет*

*В статье рассмотрено моделирование динамики работы неводовыборочного комплекса на этапе кошелькования. На основе уравнений Лагранжа 2-го рода получена математическая модель нестационарной механической системы, в которой стяжной трос представлен нитью переменной длины.*

**Ключевые слова:** *динамика движения механической системы, неводовыборочный комплекс, стяжной трос, математическая модель, нить переменной длины, уравнение Лагранжа 2-го рода.*

Важность проведения исследований в области совершенствования способов добычи рыбы и, в частности обеспечения безопасности и эффективности работы промысловых судов подтверждается рядом постановлений Федерального агентства по рыболовству Российской Федерации.

**Актуальность данного исследования** исходит из остроты противоречивости между фактами действительности и фактами науки. Факты действительности настоящего исследования указывают на возрастающую потребность человека в морепродуктах. С другой стороны, низкая эффективность их добычи, а также экологический ущерб, наносимый морской среде заставляют искать новые методы совершенствования процесса добычи рыбы. Во многих районах промысла, с экологической точки зрения, единственно разрешенным орудием лова является кошельковый невод (рис.1). Примером может служить Азово-Черноморский бассейн.

Основным недостатком фактов действительности является их предположительный (прогностический) характер, так как ошибки, связанные с оценкой динамических нагрузок элементов неводовыборочного комплекса, остаются мало изученными. Это связано, в первую очередь, с большим количеством факторов влияния и невозможности проведения достаточного количества натуральных экспериментов. Отсутствие полной информации о причинах больших энергетических затрат и частой аварийности порождают необходимость формирования многообразия фактов науки гипотетического характера. При таких обстоятельствах на пер-

вый план должны выступать лабораторные и специальные производственные исследования по установлению закономерностей технического, технологического и управленческого характера, определяющих условия минимизации энергетических затрат и вероятности отказов элементов неводовыборочного комплекса, а затем, на базе накопленного опыта, формировать теоретическую базу для всесторонних исследований.



Рис.1. Лов рыбы кошельковым неводом

**Целью данной работы** является формализация динамики работы неводовыборочного комплекса на этапе кошелькования для его дальнейшего оптимального использования, обеспечивающего максимальную эффективность и эксплуатационную надежность технологического процесса.

Результативность лова кошельковым неводом и трудоемкость работы с ним во многом зависит от правильно выбранного режима кошелькования. Процесс кошелькования невода связан с проблемой потери устойчивости промыслового судна – корпус судна может быть втянут в середину пространства, обметанного неводом, что оказывает неблагоприятное влияние на безопасность экипажа, приводит к сбоям в работе промыслового оборудования и может послужить причиной аварий.

Основным промысловым оборудованием, участвующим в процессе кошелькования невода, является лебедка. Каждая операция накладывает на лебедку специфические требования, как с точки зрения тягового усилия, скорости тяги, мощности привода, так и с точки зрения ее конструктивного исполнения и расположения на судне.

Современные методы расчета на прочность узлов и деталей вытекают из режима эксплуатации и характера нагрузок, действующих на эти

элементы механизмов.

Одной из важных характеристик в этих расчетах авторов Ф.И. Баранова, В.П. Карпенко, С.С. Торбана, А.Л. Фридмана, Н.Н. Розенштейна, Н.Л. Великанова, И.Л. Бродского и т.д. является сила натяжения стяжного троса, которая непосредственно зависит от силы сопротивления сетного полотна.

Анализ существующих моделей процесса кошелькования [1-3] показывает, что практически все математические модели были построены на основании упрощенных физических моделей, что было вызвано задачей получения аналитических решений. В связи с развитием средств вычислительной техники появилась возможность получить численную модель процесса кошелькования и, следовательно, учесть те внешние факторы (которые возможно оценить), влияющие на процесс кошелькования и ранее неучтенные в рассмотренных работах.

Процесс кошелькования условно можно разделить на три этапа. I этап характеризуется резким возрастанием скорости до верхнего предела диапазона скоростей лебедки и быстрым возрастанием тягового усилия и мощности, потребляемой приводом лебедки. Для II этапа характерно незначительное падение скорости по мере кошелькования, тяговое усилие и мощность к концу участка постепенно повышаются, причем мощность в этот момент имеет максимальное значение. III этап характеризуется значительным уменьшением скорости тяги до минимального значения в конце кошелькования, усилие в стяжном тросе за последнюю минуту кошелькования возрастает и при подходе колец невода к канифас-блокам выстрела достигает максимального значения за все время кошелькования [1].

Формализуем динамику работы неводовыборочного комплекса согласно уравнению Лагранжа II рода

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial K}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial K}{\partial \varphi} = \frac{\partial A}{\partial \varphi}, \quad (i = 1, 2). \quad (1)$$

Расчетную схему системы «промышленное судно – стяжной трос – невод» в процессе кошелькования условно можно изобразить в виде схемы (рис.2).

Подвижная  $Bx$  и неподвижная  $CX$  системы координат связаны между собой зависимостями

$$\begin{aligned} X(x, t) &= \xi(t) - x - x\varphi(t) \\ \xi(t) &= l(t) + l\varphi(t), \end{aligned}$$

где функция  $\varphi(t)$  описывает относительное удлинение нити.

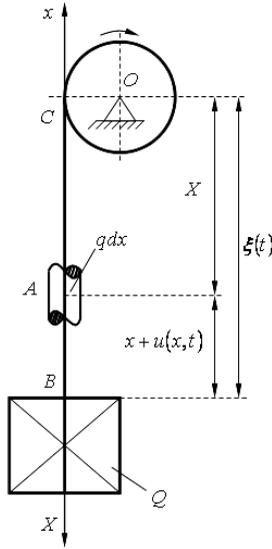


Рис.2. Расчетная схема системы «промышленное судно – стяжной трос – невод» в процессе кошелькования

Кинетическая энергия рассматриваемой исследуемой системы на первом и втором этапах кошелькования до подхода колец равна только кинетической энергии нити

$$K_q = \frac{q}{2g} \int_0^{l(t)} \left( \frac{\partial X}{\partial t} \right)^2 dx,$$

где  $q$  - вес погонного метра троса, то всей нити.

Так как

$$\frac{d\xi}{dt} = (1 + \phi) \frac{dl}{dt} + l \frac{d\phi}{dt},$$

следовательно, получим

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{d\xi}{dt} - x \frac{d\phi}{dt} = (1 + \phi) \frac{dl}{dt} + l \frac{d\phi}{dt} - x \frac{d\phi}{dt} = (1 + \phi) \frac{dl}{dt} + (l - x) \frac{d\phi}{dt}.$$

Отсюда, кинетическая энергия системы на первом и втором этапах равна

$$K_{\text{н}} = K_q = \frac{q}{2g} \int_0^{l(t)} \left( (1 + \phi) \frac{dl}{dt} + (l - x) \frac{d\phi}{dt} \right)^2 dx =$$

$$= \frac{ql}{2g} \left[ (1+\varphi)^2 \left( \frac{dl}{dt} \right)^2 + \frac{l^2}{3} \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + l(1+\varphi) \frac{dl}{dt} \frac{d\varphi}{dt} \right].$$

На третьем этапе кошелькования кинетическая энергия состоит из энергии подошедших колец и выбираемого троса

$$K_{III} = K_Q + K_q,$$

где кинетическая энергия колец

$$K_Q = \frac{Q}{2g} \left( \frac{d\xi}{dt} \right)^2 = \frac{Q}{2g} \left( (1+\varphi) \frac{dl}{dt} + l \frac{d\varphi}{dt} \right)^2,$$

где функция  $Q(x, t)$  определяет изменение общего веса колец по мере подхода их к канифас-блокам выстрела.

В результате,

$$K_{III} = \frac{1}{2g} \left[ (ql+Q)(1+\varphi)^2 \left( \frac{dl}{dt} \right)^2 + \frac{l^2}{3} (ql+3Q) \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + \right. \\ \left. + l(ql+2Q)(1+\varphi) \frac{dl}{dt} \frac{d\varphi}{dt} \right].$$

Входящие в уравнение Лагранжа (1) слагаемые  $\frac{d}{dt} \frac{\partial K}{\partial \dot{\varphi}}$  и  $\frac{d}{dt} \frac{\partial K}{\partial \dot{\varphi}}$ , соответственно будут равны

$$\frac{\partial K_{I,II}}{\partial \varphi} = \frac{ql}{2g} \left[ 2(1+\varphi) \left( \frac{dl}{dt} \right)^2 + l \frac{dl}{dt} \frac{d\varphi}{dt} \right];$$

$$\frac{\partial K_{I,II}}{\partial \dot{\varphi}} = \frac{ql}{2g} \left[ \frac{2l^2}{3} \frac{d\varphi}{dt} + l(1+\varphi) \frac{dl}{dt} \right];$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial K_{I,II}}{\partial \dot{\varphi}} = \frac{ql}{2g} \left[ \frac{2l^2}{3} \frac{d^2\varphi}{dt^2} + 3l \frac{dl}{dt} \frac{d\varphi}{dt} + 2 \left( \frac{dl}{dt} \right)^2 + l(1+\varphi) \frac{d^2l}{dt^2} \right];$$

$$\frac{\partial K_{III}}{\partial \varphi} = \frac{1}{2g} \frac{dl}{dt} \left[ 2(1+\varphi)(ql+Q) \frac{dl}{dt} + l(ql+2Q) \frac{d\varphi}{dt} \right];$$

$$\frac{\partial K_{III}}{\partial \dot{\varphi}} = \frac{1}{2g} \left[ \frac{2}{3} l^2 (ql+3Q) \frac{d\varphi}{dt} + l(ql+2Q)(1+\varphi) \frac{dl}{dt} \right];$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial K_{III}}{\partial \dot{\varphi}} = \frac{1}{2g} \left[ \frac{2}{3} l^2 [ql+3Q] \frac{d^2\varphi}{dt^2} + l(ql+2Q)(1+\varphi) \frac{d^2l}{dt^2} + \right.$$

$$+l\left(\frac{7}{3}ql+6Q\right)\frac{dl}{dt}\frac{d\varphi}{dt}+(ql+2Q)(1+\varphi)\left(\frac{dl}{dt}\right)^2 + \\ +\frac{2}{3}l^2\left(q\frac{dl}{dt}+3\frac{dQ}{dt}\right)\frac{d\varphi}{dt}+l\left(q\frac{dl}{dt}+2\frac{dQ}{dt}\right)(1+\varphi)\frac{dl}{dt}\Big]$$

Работа внутренних и внешних сил, действующих на систему, состоит из работы силы веса троса, упругих сил и сил сопротивления движению.

Работа сил веса элемента нити длиной  $dx$  равна  $dA_q = qXd_x$ , тогда всей нити

$$A_q = q \int_0^{l(t)} X dx = q \int_0^{l(t)} (l-x)(1+\varphi) dx = \frac{ql^2}{2}(1+\varphi).$$

Работа упругих сил элемента нити равна  $dA_E = -\frac{EF}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 dx$ , а всей системы

$$A_E = -\frac{EF}{2} \int_0^{l(t)} \varphi^2 dx = -\frac{EF}{2} \varphi^2 l.$$

Сила сопротивления системы «стяжной трос – невод» зависит от множества факторов, в том числе формы сетного полотна, скорости кошелькования, гидрометеорологических факторов и т.д. Поэтому запишем данную силу в виде  $R = R(x, t)$ .

Тогда работа сил сопротивления для элемента длиной  $dx$

$$dA_R = R(x, t) dx,$$

и всего троса  $A_R = -\int_0^{l(t)} R(x, t) dx$ .

Работа сил тяжести подходящих на третьем этапе стяжных колец равна

$$A_Q = Q\xi(t) = Ql(t) + Qu(l, t) = Ql(1+\varphi).$$

Следовательно, вся работа внутренних и внешних сил, действующих на систему, и ее производная  $\frac{\partial A}{\partial \varphi}$  соответственно равны

$$A_{J,II} = A_q + A_E + A_R = \frac{ql^2}{2}(1+\varphi) - \frac{EF}{2}\varphi^2 l - \int_0^{l(t)} R dx;$$

$$\frac{\partial A_{I,II}}{\partial \varphi} = \frac{ql^2}{2} - EF\varphi l ;$$

$$A_{III} = A_Q + A_q + A_E + A_R = l(1 + \varphi) \left( Q + \frac{ql}{2} \right) - \frac{EF}{2} \varphi^2 l - \int_0^{l(\varphi)} R dx ;$$

$$\frac{\partial A_{III}}{\partial \varphi} = l \left( Q + \frac{ql}{2} \right) - EF\varphi l .$$

Уравнение Лагранжа второго рода тогда будет иметь вид:

- для первого и второго участков

$$\frac{q}{2g} \left[ \frac{2l^2}{3} \frac{d^2\varphi}{dt^2} + l(1 + \varphi) \frac{d^2l}{dt^2} - 2\varphi \left( \frac{dl}{dt} \right)^2 + 2l \frac{dl}{dt} \frac{d\varphi}{dt} \right] = \frac{ql}{2} - EF\varphi ; \quad (1)$$

- для третьего участка

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2g} \left[ \frac{2}{3} l^2 [ql + 3Q] \frac{d^2\varphi}{dt^2} + l(ql + 2Q)(1 + \varphi) \frac{d^2l}{dt^2} + \right. \\ & \quad \left. + \frac{4}{3} l(ql + 3Q) \frac{dl}{dt} \frac{d\varphi}{dt} - ql(1 + \varphi) \left( \frac{dl}{dt} \right)^2 + \right. \\ & \left. + \frac{2}{3} l^2 \left( q \frac{dl}{dt} + 3 \frac{dQ}{dt} \right) \frac{d\varphi}{dt} + l \left( q \frac{dl}{dt} + 2 \frac{dQ}{dt} \right) (1 + \varphi) \frac{dl}{dt} \right] = l \left( Q + \frac{ql}{2} \right) - EF\varphi l . \end{aligned} \quad (2)$$

**Вывод.** В результате проведенных исследований была получена математическая модель (1) и (2) процесса кошелькования невода. Для дальнейшей качественной оценки рассматриваемого технологического процесса необходимо провести дополнительные исследования по определению силы сопротивления стяжного троса и сетного полотна, а также функциональной зависимости, описывающей изменение общего веса колец по мере подхода их к канифас-блокам выстрела.

### Список использованных источников

1. Фридман А. Л. Сборник задач и упражнений по теории и проектированию орудий промышленного рыболовства / А. Л. Фридман, М. М. Розенштейн. – М.: Агропромиздат, 1987. – 256 с.
2. Фридман А. Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства / А. Л. Фридман. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 328 с.
3. Фридман А. Л. Сборник задач и упражнений по теории и проектированию орудий промышленного рыболовства / А.Л. Фридман, М.М. Розенштейн. – М.: Агропромиздат, 1987. – 256 с.

енштейн. – М.: Агропромиздат, 1987. – 256 с.

**Анотація.**

**ФОРМАЛІЗАЦІЯ ДИНАМІКИ РОБОТИ  
НЕВОДОВИБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСУ НА ЕТАПІ  
КОШЕЛЬКУВАННЯ**

**Івановська О.В., Богатирьова О.В.**

*У статті розглянуто моделювання динаміки роботи неводовиборочного комплексу на етапі кошелькування. На основі рівнянь Лагранжа 2-го роду отримана математична модель нестационарної механічної системи у якій стяжний трос представлений ниткою змінної довжини.*

**Ключові слова:** динаміка руху механічної системи, неводовиборочний комплекс, стяжний трос, математична модель, нитка змінної довжини, рівняння Лагранжа 2-го роду.

**Abstract**

**FORMALIZATION OF DYNAMICS OF WORK OF  
PURSE SEINING COMPLEX ON THE STAGE OF PURSE  
SEINING**

**A. Ivanovskaya, E. Bogatyreva**

*In the article the design of dynamics of work of purse seining complex is considered on the stage of purse seining. On the basis of equations of Lagrange 2th family the mathematical model of the non-stationary mechanical system in that a rope is presented by the filament of variablelength is got.*

**Keywords:** dynamics of motion of the mechanical system, mathematical model, purse seining complex, rope, filament of variablelength, equation of Lagrange 2th family.