УДК 534/621

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕВОДОВЫБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА НА ЭТАПЕ КОШЕЛЬКОВАНИЯ НЕВОДА

А. В. Ивановская
Старший преподаватель
Кафедра «Высшая математика и физика»
Керченский государственный морской технологический университет
ул. Орджоникидзе, 82, г. Керчь, Украина, 98309
Контактный тел.: 097-780-07-31
E-mail: inv07@ukr.net

Розроблена математична модель руху системи «судно – кошельковий невід», взаємодії судна та елементів неводу в процесі його кошелькування. Дана модель, на відміну від існуючих, описує динаміку процесу на всіх трьох етапах. Отримані результати добре узгоджуються з експериментальними даними

Ключові слова: математична модель, динаміка процесу, неводовиборочний комплекс, нить змінної довжини

Разработана математическая модель движения системы «судно - кошельковый невод», взаимодействия судна и элементов невода в процессе его кошелькования. Данная модель, в отличие от существующих, описывает динамику процесса на всех трех этапах. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными

Ключевые слова: математическая модель, динамика процесса, неводовыборочный комплекс, нить переменной длины

1. Введение

Динамические нагрузки, возникающие в машинах, рассматриваются как результат взаимодействия динамики внешней нагрузки, динамики элементов конструкции и динамики материала.

Под динамикой внешней нагрузки для промыслового оборудования понимается закон изменения внешних усилий, действующих на элементы конструкции машины во времени. Под динамикой элементов конструкции машин следует понимать разницу в восприятии ими статических и динамических внешних нагрузок. Принципиальное отличие в восприятии элементами конструкции машин статических и динамических нагрузок выражается в том, что при последних возникают упругие колебания, за счет которых действительные напряжения в элементах конструкции отличаются от напряжений, вызванных при статическом приложении той же нагрузки. Под динамикой материала понимают то, как один и тот же материал воспринимает статические и динамические нагрузки.

Моделирование и аналитическое описание всех этапов работы кошелькового невода актуальны и является важнейшей частью теории кошелькового лова рыбы. На данный момент времени исследования в области динамики работы неводовыборочного комплекса освещены в работах С.С.Торбана, А.Л.Фридмана, Ф.И. Баранова, И.Л. Бродского, В.П.Карпенко и др.

После анализа существующих моделей процесса кошелькования можно сделать следующие выводы: практически все математические модели были построены на основании упрощенных физических моделей. Это было вызвано тем, что изначально ставилась задача 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.

2. Постановка задачи

Требуется построить математическую модель движения системы «судно - кошельковый невод», взаимодействия судна и элементов невода в процессе его кошелькования (выборки стяжного троса).

3. Результаты исследований

Одним из важных параметров сейнерной лебедки является диапазон скоростей тяги. Каждый замет кошелькового невода характеризуется специфическими особенностями – поведением объекта лова, состоянием погоды, формой невода во время замета, положением судна относительно невода и др. Вести правильно процесс кошелькования, значит учитывать все эти факторы с целью получении максимального улова. Кошелькование надо производить с такой скоростью, чтобы воспрепятствовать выходу рыбы из невода. С этой целью обычно стремятся скошельковать невод как можно быстрее.

Весь процесс можно разделить на три этапа: этап I характеризуется резким возрастанием скорости до верхнего предела диапазона скоростей лебедки; этап II характеризуется стабилизацией скорости при незначительном ее падении по мере кошельковования; этап III – заключительный, характеризующийся уменьшением скорости тяги до минимального значения в конце кошельковования [1].

Для первого участка характерно быстрое возрастание тягового усилия и мощности, потребляемой приводом лебедки, при значительной скорости тяги.

Второй участок характеризуется относительным постоянством трех перечисленных выше параметров. Усилие в стяжном тросе и мощность, потребляемая электродвигателем сейнерной лебедки, к концу участка постепенно повышаются, причем мощность в этот момент имеет максимальное значение. Скорость же движения стяжного троса к концу второго периода падает.

Третий участок является для работы привода сейнерной лебедки наиболее напряженным. Усилие в стяжном тросе за последнюю минуту кошельковования возрастает и при подходе колец невода к канифас-блокам выстрела достигает максимального значения за все время кошельковования, скорость же движения стяжного троса постепенно снижают, и в конце кошельковования имеет минимальное значение. Мощность электродвигателя сейнерной лебедки на последнем участке остается примерно постоянной, плавно повышаясь к концу кошельковования.

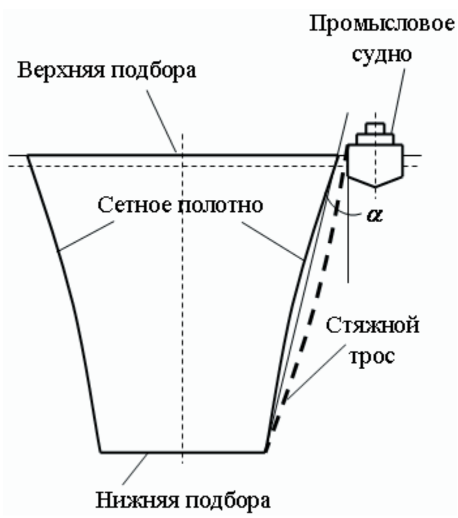


Рис. 1. Схема системы «промысловое судно – стяжной трос – невод» в процессе кошельковования

Для описания математической модели движения рассматриваемой системы воспользуемся уравнением Лагранжа II рода

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial K}{\partial \dot{p}_i}-\frac{\partial K}{\partial p_i}=\frac{\partial A}{\partial p_i}, \ (i=1,2). \qquad (1)$$

Систему «промысловое судно – стяжной трос – невод» в процессе кошельковования условно можно изобразить в виде схемы (рис. 1). Так как угол α находится в пределах от 0 до 10 градусов и определить его достаточно сложно, то при построении математической модели примем его равным 0. При этом, это упрощение существенно не влияет на точность расчетов. Поэтому представим расчетную схему системы в виде (рис. 2).

Рассмотрим подвижную Bx и неподвижную CX системы координат, связанные между собой зависимостями

$$X(x,t)=\xi(t)-x-u(x,t)$$

$$\xi(t)=l(t)+u(l,t).$$

Так как глубина подъема небольшая, то функцию $u(x,t)$ примем в виде $u(x,t)=x\phi(t)$, где функция $\phi(t)$ описывает относительное удлинение нити.

Предположим, что проскальзывание троса по барабану при подъеме отсутствует, т.е. свое движение трос совершает со скоростью равной скорости вращения барабана, что можно выразить следующим граничным условием $\left.\frac{\partial X}{\partial t}\right|_{x=l}=v_c$, где v_c - линейная скорость точек обвода барабана, равная скорости кошельковования невода.

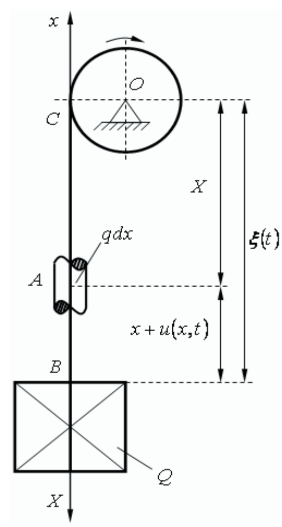


Рис. 2. Расчетная схема системы «промысловое судно – стяжной трос – невод» в процессе кошельковования

Кинетическая энергия рассматриваемой механической системы на первом и втором участках до подхода колец равна только кинетической энергии нити.

Т.к. кинетическая энергия элемента нити длиной dx равна

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

где q - вес погонного метра троса, то всей нити

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

Учитывая, что

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

получим

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

Тогда кинетическая энергия системы на первом и втором участках

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

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

На третьем участке кинетическую энергию определим как суммарную энергию подошедших колец и выбираемого троса

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

где кинетическая энергия колец $K_Q=\frac{Q}{2g}\left(\frac{d\xi}{dt}\right)^2$.

По мере подхода колец невода к канифас-блокам выстрела их вес изменяется. Представим данную зависимость в виде линейной функции $Q(t)=k\left[l(t)-l_2\right]$, где k - коэффициент темпа роста веса, Н/м; l_2 - длина каната, выбранного во время первого и второго участков.

Следовательно,

$$K_Q=\frac{k(l-l_2)}{2g}\left((1+\phi)\frac{dl}{dt}+l\frac{d\phi}{dt}\right)^2$$

В результате,

$$K_{III}=\frac{1}{2g}\left[(ql+k(l-l_2))(1+\phi)^2\left(\frac{dl}{dt}\right)^2+\right.$$

$$\left.+l^2\left(\frac{ql}{3}+k(l-l_2)\right)\left(\frac{d\phi}{dt}\right)^2+2l(ql+k(l-l_2))(1+\phi)\frac{dl}{dt}\frac{d\phi}{dt}\right].$$

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

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

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

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

$$\frac{\partial K_{III}}{\partial\phi}=\frac{2(ql+k(l-l_2))}{2g}\frac{dl}{dt}\left[(1+\phi)\frac{dl}{dt}+l\frac{d\phi}{dt}\right];$$

$$\frac{\partial K_{III}}{\partial\dot{\phi}}=\frac{1}{2g}\left[2l^2\left(\frac{ql}{3}+k(l-l_2)\right)\frac{d\phi}{dt}+2l(ql+k(l-l_2))(1+\phi)\frac{dl}{dt}\right];$$

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial K_{III}}{\partial\dot{\phi}}=\frac{1}{2g}\left[2l^2\left[\frac{ql}{3}+k(l-l_2)\right]\frac{d^2\phi}{dt^2}+\right.$$

$$2l\frac{dl}{dt}\left[2ql+3k(l-l_2)+kl\right]\frac{d\phi}{dt}+$$

$$\left.+2(1+\phi)\left[\left[2ql+k(l-l_2)+kl\right]\left(\frac{dl}{dt}\right)^2+l\left[ql+k(l-l_2)\right]\frac{d^2l}{dt^2}\right]\right].$$

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 длиною dx равна $dA_q=qXdx$, тогда всей нити

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

Работа упругих сил элемента нити равна

$$dA_E=-\frac{EF}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2dx,$$

а всей системы

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

Так как длина стяжного троса до 1000 м, будем учитывать лишь нормальную составляющую силы сопротивления[3]. Для участка стяжного троса длиной dl она равна $dR=\left[c_B+c_k(l-l_2)\right]\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2dx$, где коэффициент $c_B=\frac{c\rho d}{2}$; c - коэффициент сопротивления троса, перпендикулярного вектору скорости $(c\approx 1{,}1)$; ρ - плотность воды; d - диаметр троса; c_k - коэффициент сопротивления стяжных колец, перпендикулярного вектору скорости; $\frac{\partial u}{\partial x}$ - скорость кошелькования.

Отсюда

$$R=\int_0^{l(t)}\left[c_B+c_k(l-l_2)\right]\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2dx=$$

$$=\int_0^{l(t)}\left[c_B+c_k(l-l_2)\right]\phi^2dx=\left[c_B+c_k(l-l_2)\right]\phi^2 l.$$

Тогда работа сил сопротивления для элемента длиной dx

$$dA_R=-\left[c_B+c_k(l-l_2)\right]\phi^2 ldx,$$

и всего троса

$$A_R=-\int_0^{l(t)}\left[c_B+c_k(l-l_2)\right]\phi^2 ldx=-\left[c_B+c_k(l-l_2)\right]\phi^2 l^2.$$

Работа сил тяжести подходящих на третьем этапе стяжных колец равна

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

или, с учетом закона изменения веса колец, $A_Q = kl(l - l_2)(1+\phi)$.

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

$$A_{I,II} = A_q + A_E + A_R = \frac{ql^2}{2}(1+\phi) - \frac{EF}{2}\phi^2 l - c_B\phi^2 l^2;$$

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

$$A_{III} = A_Q + A_q + A_E + A_R = kl(l-l_2)(1+\phi) + \frac{l^2}{2}(1+\phi) - \frac{EF}{2}\phi^2 l - \left[c_B + c_k(l-l_2)\right]\phi^2 l^2;$$

$$\frac{\partial A_{III}}{\partial \phi} = kl(l-l_2) + \frac{ql^2}{2} - EF\phi l - 2\left[c_B + c_k(l-l_2)\right]\phi l^2.$$

Уравнение Лагранжа второго рода (1) тогда будет иметь вид.

- для первого и второго участков

$$\frac{ql^2}{3}\ddot{\phi} + ql\frac{dl}{dt}\dot{\phi} + \left[\frac{ql}{2}\frac{d^2l}{dt^2} + g(2c_B + EF)\right]\phi = \frac{ql}{2}\left(g - \frac{d^2l}{dt^2}\right).$$

- для третьего участка

$$l\left[k(l-l_2) + \frac{ql}{3}\right]\ddot{\phi} + \left[k + \frac{q}{3} - \frac{ql}{6}\right]\frac{dl}{dt}\dot{\phi} + \left[g\left\{2\left(c_B + c_k(l-l_2)\right)l + EF\right\} + k\left(\frac{dl}{dt}\right)^2\right]\phi =$$

$$= \left(g - \frac{d^2l}{dt^2}\right)\left[k(l-l_2) + \frac{ql}{2}\right] + \left(\frac{dl}{dt}\right)^2(q-k)$$

Так как кошельковование невода на практике осуществляется по трапецеидальной тахограмме (рис. 3), то для интегрирования на всех трех участках примем функцию $l = l(t)$ [2].

1) участок равноускоренного движения

$$l = l_0 - \frac{a_1 t^2}{2},\ \frac{dl}{dt} = -a_1 t,\ \frac{d^2l}{dt^2} = -a_1;$$

2) участок равномерного движения

$$l = l_1 - v_0 t,\ \frac{dl}{dt} = -v_0,\ \frac{d^2l}{dt^2} = 0,\ l_1 = l_0 - \frac{a_1 t_1^2}{2},\ v_0 = -a_1 t_1;$$

3) участок равнозамедленного движения

$$l = l_2 - v_0 t + \frac{a_2 t^2}{2},\ \frac{dl}{dt} = -v_0 + a_2 t,\ \frac{d^2l}{dt^2} = a_2,$$

$$l_2 = l_1 - v_0(t_2 - t_1).$$

Силу натяжения в любом сечении троса можно определить как

- на первом и втором участках $T_{I,II} = EF\phi + c_B l\left(\frac{dl}{dt}\right)^2$

- на третьем участке $T_{III} = EF\phi + \left(c_B l + c_k(l-l_2)\right)\left(\frac{dl}{dt}\right)^2$

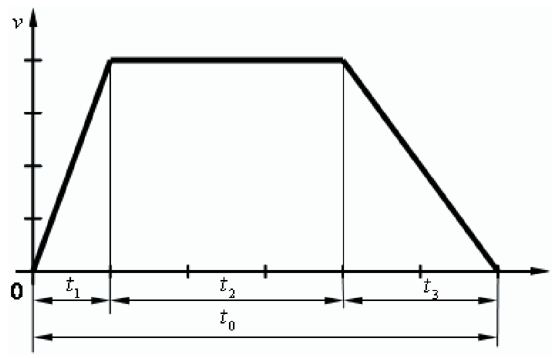
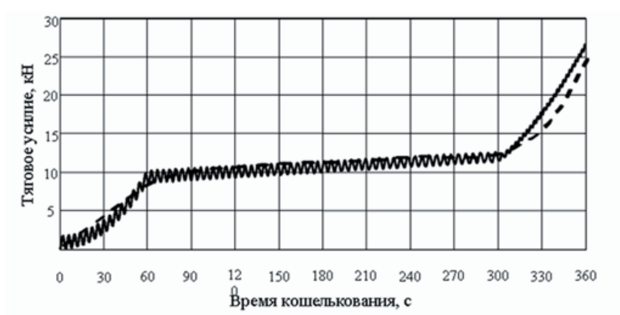


Рис. 3. Тахограмма процесса кошельковования невода

С 1970 по 2000 год различными научно-исследовательскими организациями проводились натурные исследования процесса лова кошельковым неводом. В ходе проведенных исследований определялись скорость и направление течения, скорость ветра, скорость кошельковования и сила натяжения стяжного троса.

На рис. 4 приведены расчетная динамограмма тягового усилия на всех трех этапах кошельковования, полученная методом Рунге-Кутта и осредненная экспериментальная динамограмма.



__________ - расчетное, - - - - - - - - среднее экспериментальное

Рис. 4. Динамограмма тягового усилия неводовыборочного комплекса на этапе кошельковования

3. Выводы

В результате проведенных исследований была получена математическая модель работы неводовыборочного комплекса на этапе кошельковования. Результат имитационного моделирования хорошо согласуется с экспериментальными данными. Таким образом, полученная модель может быть использована при проектировании и исследовании неводовыборочных машин.

Литература

1. Торбан С.С. Промысловые механизмы для комплексной механизации кошелькового лова рыбы./ С.С. Торбан // М.: Пищевая промышленность, 1971 – 384 с.
2. Фещенко С.Ф. Асимптотические методы в теории линейных дифференциальных уравнений. / С.Ф. Фещенко, Н.И. Шкиль, Л.Д. Николенко // К.: Наукова думка, 1966 – 252 с.
3. Фридман А.Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. / А.Л. Фридман // М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981 – 328 с.

Abstract

The article is dedicated to the study of the dynamic loads of seine-selective complex in the process of pursing.

The pursing process is the second stage of fishing by the purse seine. The pursing should be carried out at such a rate to prevent the escape of fish from the seine. For this purpose, generally the seine is pursed as quickly as possible. At this stage, seine-selective complex undergo big dynamic loads. Their quantity is determined by external factors such as wind, current, waves, etc.

As a result of the research the mathematical model of the seine-selective complex operation during pursing was obtained. The difference of obtained model from existing ones consists in representation of a purse line in the form of a variable length thread. The result of simulation conforms to the experimental data. The obtained model can be used to design and study seine-selective machines

Keywords: *mathematical model, dynamics of the process, seine-selective complex, variable length thread*

УДК 681.527.3:623.438

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ, ПОБУДОВАНОГО ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НОРМАЛЬНО-ЗАКРИТИХ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

О.Є. Скворчевський
Кандидат технічних наук
Кафедра організації виробництва та управління персоналом
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002
Контактний тел.: 050-327-71-21
E-mail: skvorchevsky@mail.ru

Метою статті є представлення результатів розробки нелінійної об'єктно-орієнтованої математичної моделі мехатронного модуля поступального руху, побудованого із використанням електрогідравлічних перетворювачів нормально-закритого типу. Для вирішення поставленої задачі використовувалися методи електротехніки, теоретичної механіки, гідравліки

Ключові слова: мехатронний модуль, електрогідравлічний перетворювач нормально-закритого типу, нелінійна об'єктно-орієнтована математична модель

Целью статьи является представление результатов разработки нелиней-ной объектно-ориентированной математической модели мехатронного модуля поступательного движения, построенного с использованием электрогид-равлических преобразователей нормально-закрытого типа. Для решения поставленной задачи использовались методы электротехники, теоретической механики, гидравлики

Ключевые слова: мехатронный модуль, электрогидравлический преобразователь нормально-закрытого типа, нелинейная объектно-ориентированная математическая модель

1. Вступ

Останні 25-30 років розвитку гідроприводів спостерігається стійка тенденція до все більшого використання гідравлічної апаратури та насосів із пропорційним електричним керуванням. Сформовані на прикінці 80-х років конструктивні схеми пропорційної гідроапаратури, залишаються актуальними і