

УДК 639.2.081.117

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПО МЕХАНИКЕ СИСТЕМЫ «ПРОМЫСЛОВОЕ СУДНО – КОШЕЛЬКОВЫЙ НЕВОД»

Н.Л. Великанов

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,
Россия, 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
E-mail: monolit8@yandex.ru

Представлен алгоритм проведения расчетов по механике системы «промысловое судно – кошельковый невод».

сейнер, кошельковый невод, коэффициент сопротивления

Широкое внедрение автоматизированных комплексов, пакетов прикладных программ по гидромеханике промысловых судов, орудиям промышленного рыболовства позволяет проводить многовариантные расчеты по всему спектру математических моделей работы судна и орудия лова [1-3] .

При работе на промысле все основные операции с кошельковым неводом осуществляются с промыслового судна – сейнера. Сейнер связан с неводом посредством стяжного троса. Судно и кошельковый невод при работе на промысле составляют единое целое, их характеристики взаимосвязаны и взаимозависимы. Этот комплекс полностью отвечает определению механической системы. Характеристики комплекса определяются объектом лова – рыбой. Исходные данные в нем разделяются на неизменные и варьируемые. Неизменные остаются постоянными в процессе расчетов на всех стадиях проектирования, варьируемые – корректируются при расчетах. Алгоритм содержит три основных расчетных блока, соответствующих трем основным физическим объектам комплекса: невода, стяжного троса, промыслового судна. Элементы комплекса должны обеспечивать его успешную работу на всех этапах работы на промысле.

В комплексе содержатся взаимосвязанные и взаимозависимые основные расчетные блоки, описывающие невод на стадии погружения нижней подборы перед началом кошелькования, сетное полотно невода, стяжной трос и промысловое судно в процессе кошелькования. Разработанный алгоритм позволяет проводить расчеты на всех стадиях проектирования: предварительный выбор параметров комплекса, их анализ и выбор окончательных параметров комплекса.

В процессе эксплуатации сетных орудий лова вследствие износа изменяются их прочностные характеристики. При определении прочных размеров кошелькового невода необходимо учитывать быстрый износ используемых сетеснастных материалов. Прочность рассчитывают исходя из условия, что орудие лова должно оставаться прочным и надежным весь период плановой эксплуатации, т. е. до самого момента его браковки. Поэтому используют запас прочности материала с тем, чтобы компенсировать его износ.

Процесс износа можно разделить на две составляющие. Одна из них связана с механическим истиранием вследствие действия сил трения. Другая – с изменением физических свойств материала. Функции $f(t_{отн})$ для этих двух составляющих могут существенно отличаться друг от друга.

При эксплуатации орудий промышленного рыболовства обе составляющие износа действуют одновременно и влияют друг на друга. В большинстве случаев механический износ ускоряет физическое старение материала, а физическое старение ускоряет механический износ.

Эффективность работы кошелькового невода в наибольшей мере зависит от того, насколько его конструкция оказывается приспособленной к облову того или иного вида рыб, соответствует характеру их поведения и распределения в водном пространстве.

Наряду с необходимостью определения технических характеристик проектируемых неводов, его прочности, требуемой оснастки, важно уметь расчетным путем находить промысловую характеристику невода – уловистость, отражающую степень его приспособленности к облову соответствующего вида рыб. Создание новых, высокоэффективных в эксплуатации систем «промысловое судно – кошельковый невод» связано с проблемой учета особенностей поведения и распределения объекта лова в зоне действия рыболовного орудия.

Эффективность работы орудий лова зависит от многих факторов. К ним относятся: технические характеристики самого орудия лова (конструкция, размеры, скорость движения, материал, оснастка), особенности поведения ловимой рыбы, характер, размеры и постоянство ее скоплений, метеорологические особенности района лова, характеристика промыслового судна, квалификация команды. Правильный учет технико-экономических условий эксплуатации и является залогом эффективности работы будущего орудия лова.

В процессе проектирования рыболовного орудия можно выделить два основных этапа. Первый из них имеет своей задачей установить новые требования к создаваемому орудию и выбрать основные его элементы, обеспечивающие высокую эффективность лова в данных конкретных условиях. Научной базой решения задачи первого и основного этапа проектирования рыболовных орудий должны явиться теория уловистости орудий лова и теория проектирования. Их развитие относится к числу важнейших научных задач современного промышленного рыболовства.

При замете кошельковых неводов сейнеры теряют скорость хода по двум причинам: вследствие возникновения силы, направленной в сторону (приблизительно), обратную движению сейнера, и на циркуляции. При проектировании кошельковых неводов эти два вида потерь скорости хода судна в первом приближении следует суммировать, и так как их величина весьма велика, при расчетах ими пренебрегать нельзя.

С помощью располагаемой тяги промысловых судов можно при различных скоростях движения и степени загрузки главного двигателя решать любые задачи, в том числе, связанные с изменением скорости судна на циркуляции при замете секций. В работе [2] приведены примеры таких диаграмм.

При замете секций на циркуляции судно теряет скорость вследствие двух основных факторов: сопротивления корпуса и воздействия жгута невода. Влияние первого фактора хорошо изучено и достаточно точно описано математическими зависимостями, для второго – также есть физическая и математическая модели [3].

Прочность каната на разрыв зависит от расчетного предела прочности проволоки, числа проволок в канате и конструкции каната. Различают два вида прочности: суммарную проволок и агрегатную каната в целом. Агрегатная прочность в зависимости от типа каната и числа свивок на 15-25 % меньше суммарной прочности проволок.

Объяснить разницу в суммарной прочности проволок и агрегатной прочности каната в целом можно следующим образом. В канатах и тросах действует эффект пружины: по-разному закрученные слои имеют разное удлинение при растяжении изделия в целом. Для устранения этого явления необходимо уравнивать удлинения [3].

В работе [3] приведены зависимости, позволяющие в значительной мере приблизиться к понятию равнопрочного каната и уменьшить разницу в суммарной прочности проволок и агрегатной прочности каната в целом.

Полученные в работе [3] решения позволяют проводить расчеты по механике комплекса, состоящего из промышленного судна и кошелькового невода, от начала погружения нижней подборы на глубину, определяемую высотой сетной стенки невода, до конца кошелькования.

Расчеты могут быть выполнены по двум вариантам. По первому варианту, на ранних стадиях проектирования, они предусматривают определение осредненных по высоте сетного полотна характеристик невода, осредненных по длине характеристик стяжного троса и нахождение по ним характеристик судна. По второму варианту, на более поздних стадиях проектирования, сетное полотно невода и стяжной трос разбиваются на отдельные участки и производится подробный пошаговый расчет для каждого из них. Затем находят характеристики судна.

Рассмотрим последовательность проведения расчетов по первому и второму вариантам.

Входные данные можно условно разделить на четыре части: характеристики сетного полотна, характеристики стяжного троса, характеристики промышленного судна, прочие характеристики.

Необходимыми для расчетов данными (входными данными) по сетному полотну являются:

- d – диаметр нити сетного полотна;
- a – расстояние между узлами ячеи сети (шаг ячеи);
- U_1, U_2 – коэффициенты посадки сетного полотна;
- R_H, R_B – радиусы окружностей, по которым расположены нижняя и верхняя подборы;
- H – наибольшая глубина погружения нижней подборы невода;
- β – угол между образующей конуса и вертикалью;
- D – диаметр нижней кромки;
- C_X – коэффициент сопротивления нижней кромки сетного полотна;
- C_{Xc} – коэффициент сопротивления плоской сети при поперечном обтекании;
- C_{X0} – коэффициент сопротивления плоской сети при продольном обтекании;
- C_{X1} – коэффициент сопротивления сетного жгута;

- k – безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий то обстоятельство, что габаритный объем сетной полосы всегда больше объема материала полосы ($k < 1$);

- p – сила тяжести 1 м^2 фиктивной площади сетного полотна в воде;
- ρ_c – плотность материала ниток;
- E – модуль упругости материала ниток сетного полотна;
- ν – коэффициент Пуассона материала ниток сетного полотна;
- данные по износу.

Необходимыми для расчетов данными (входными данными) по стяжному тросу являются:

- d_t – диаметр стяжного троса;
- l – длина хорды стяжного троса (расстояние между точками пересечения стяжного троса с нижней подборой и со свободной поверхностью воды);
- α_0 – начальный угол стяжного троса (угол между вертикалью и касательной к линии стяжного троса в точке в нижней точке троса);
- C_{xt} – коэффициент сопротивления стяжного троса поперечному обтеканию;
- q_1 – сила тяжести 1 м стяжного троса в воздухе;
- G – сила тяжести стяжного троса в воде;
- E_t – модуль продольной упругости или модуль Юнга материала стяжного троса;
- данные по нитям, прядям и их последующим скручиваниям.

Необходимыми для расчетов данными (входными данными) по промышленному судну являются:

- L_c – длина судна;
- T – осадка судна;
- D_c – водоизмещение судна;
- h_0 – поперечная метацентрическая высота судна;
- H_{o1} – продольная метацентрическая высота судна;
- S – площадь ватерлинии;
- w – коэффициент, учитывающий отклонение бортов от вертикали (в районе переменных ватерлиний $w = 1$);
- Z_{IA} – аппликата точки схода стяжного троса с барабана лебедки судна;
- λ – коэффициент силы сопротивления воды боковому движению судна;
- v_0 – скорость судна на прямом курсе.

Прочие необходимые для расчетов данные (входные данные):

- ρ – плотность воды;
- ν_1 – кинематическая вязкость воды;
- q – сила тяжести в воде 1 м нижней подборы с грузилами, кольцами;
- v_1 – скорость выборки стяжного троса;
- ρ_n – плотность материала поплавков;
- R – радиус поплавка;
- r – радиус отверстия в поплавке;

- k_n – коэффициент запаса плавучести для всего невода ($k_n = 1,5 \div 2$);
- располагаемая тяга промыслового судна.

На стадии проектирования параметры кошелькового невода и промыслового судна определяются объектом лова – рыбой. Длина невода обуславливается размерами облавливаемого косяка, высота сетной стенки – глубиной погружения косяка. Скорость промыслового судна выбирается исходя из скорости движения рыбы. Таким образом, можно выделить часть исходных данных, практически не подлежащих изменению на всех стадиях проектирования. Эта часть данных относится к неварьируемым, остальные проектировщик может изменять после анализа выходных данных расчетного блока комплекса «промысловое судно – кошельковый невод».

Расчет времени t погружения нижней подборы на глубину, определяемую высотой сетной стенки невода.

Выходными данными является время t .

Расчет времени движения судна на циркуляции при замете ведется в следующей последовательности:

- вычисляются:
- радиус циркуляции при замёте невода;
 - скорость судна на циркуляции без орудия лова;
 - скорость хода судна на циркуляции при замете секций;
 - время движения судна на циркуляции при замете.

Выходными данными является время $t_{ц}$.

Сумма $t + t_{ц}$ равна максимально возможному времени полного погружения всей нижней подборы на глубину, определяемую высотой сетной стенки невода.

Более точно и детально время погружения всей нижней подборы можно определить по следующей схеме. Сетное полотно разбивается на участки шириной ΔL_i . Время начала погружения i -й полосы t_{oi} равно $t_{oi} = x_i / v$, где x_i – координата i -й полосы; v – скорость судна на циркуляции. Время погружения всей нижней подборы равно $t = \sum_{i=1}^N t_{oi} + t_N$, где N – число полос; t_N – время погружения N -й

полосы на глубину, определяемую высотой сетной стенки невода. Изложенный алгоритм позволяет проследить процесс погружения нижней подборы в режиме реального времени.

Расчет внешних сил, действующих на сетное полотно при кошельковании, ведется в следующей последовательности:

вычисляются:

- 1) значение радиуса сети на границе с нижней подборой;
- 2) радиальная скорость точек сетного полотна, граничащих с нижней подборой;
- 3) средняя радиальная скорость точек сетного полотна;
- 4) число Рейнольдса;
- 5) сила сопротивления сети, параллельная вектору ее скорости;
- 6) коэффициент сопротивления сетного полотна [4];
- 7) сила сопротивления сети, перпендикулярная вектору ее скорости;
- 8) сила лобового сопротивления сети;
- 9) коэффициент заглубляющей силы сети;
- 10) заглубляющая сила.

Расчет формы и сил натяжения нитей сетного полотна ведется в следующей последовательности:

- 1) вычисляем удельные силы тяжести и сопротивления;
- 2) вычисляем силу тяжести нижней подборы с оснасткой в воде;
- 3) разбиваем сетное полотно невода от нижней подборы до верхней на горизонтальные участки шириной Δh_i . Каждый из участков представляет собой i -ю конусообразную оболочку, нижнее основание которой равно R_{Hi} , верхнее – r_{Xi} ;
- 4) для каждой i -й конусообразной оболочки вычисляются:
 - вертикальные координаты y для точек сетного полотна, соответствующих этим радиусам;
 - y' – тангенсы углов между касательной к поверхности сети и горизонтальной осью для точек сетного полотна, соответствующих этим радиусам;
 - T_X – силы натяжения нитей для точек сетного полотна, соответствующим этим радиусам;
 - δ_i – приращения радиусов параллельных кругов для точек сетного полотна, соответствующих этим радиусам. После вычисления значений δ_i производится анализ результата. Если приращение радиуса, вследствие учета растяжимости нитей сетного полотна, превышает заданное расчетчиком значение (5-10 %), то корректируются значения радиусов по зависимостям: $R_{Hi} = R_{Hi} + \delta_{Hi}$, $r_{Xi} = r_{Xi} + \delta_{Xi}$. Вновь проводятся вычисления.

Расчет формы и сил натяжения стяжного троса ведется в следующей последовательности:

вычисляются: составляющие сил натяжения X_{Ai} , Y_{Ai} стяжного троса; прогибы w_i , углы поворота, изгибающие моменты.

Расчет суммарной длины поплавков для верхней подборы ведется в следующей последовательности:

- 1) сетное полотно разбивается на секции, длина которых ΔL_i ;
- 2) вычисляются: относительная длина поплавков для каждой секции; суммарная длина поплавков.

Расчет углов крена и дифферента промыслового судна, сил, втягивающих судно внутрь пространства, обметанного сетным полотном невода, ведется в следующей последовательности:

вычисляются:

- 1) углы крена промыслового судна θ ;
- 2) углы дифферента промыслового судна ψ ;
- 3) сила F_1 , втягивающая судно внутрь пространства, обметанного сетным полотном невода;
- 4) δ_i – приращения радиусов параллельных кругов для точек сетного полотна, соответствующих этим радиусам. После вычисления значений δ_i производится анализ результата. Если приращение радиуса вследствие учета растяжимости нитей сетного полотна превышает заданное расчетчиком значение (5-10 %), то соответственно корректируются значения радиуса r .

Изложенный алгоритм проведения расчетов по механике комплекса «промысловое судно – кошельковый невод» позволяет комплексно, детально провести

расчет всех характеристик с заранее заданной точностью. Отличительными особенностями этого алгоритма являются:

- учет движения промыслового судна на циркуляции при определении времени погружения нижней подборы;
- расчет скорости судна на циркуляции с учетом его взаимодействия с неводом;
- алгоритм позволят провести расчет формы и сил натяжения стяжного троса, учесть его упругие свойства и внутреннюю структуру троса;
- при определении формы и сил натяжения сетного полотна при кошельковании учитываются сила тяжести сетного полотна, сила лобового сопротивления сети и их изменения по высоте сетного полотна, растяжимость нитей;
- учитывается износостойкость нитей.

Выбор запаса прочности материала n для компенсации износа зависит от того, каково в условиях эксплуатации изменение прочности данной детали по времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Розенштейн, М.М. Проектирование орудий рыболовства: учебник / М.М. Розенштейн. – М.: Издательство Колос, 2009. – 400 с.
4. Фридман, А.Л. Сборник задач и упражнений по теории и проектированию орудий промышленного рыболовства / А.Л. Фридман, М.М. Розенштейн. – М.: Агропромиздат, 1986. – 256 с.
3. Великанов, Н.Л. Механика системы «кошельковый невод – промысловое судно» / Н.Л. Великанов, С.И. Корягин. – Калининград: Изд-во БФУ имени И. Канта, 2012. – 250 с.
4. Гидродинамические силы сопротивления сетных частей орудий промышленного рыболовства при поперечном обтекании / Н.Л. Великанов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2012. – №4. – С. 109-111.

SEQUENCE OF CONDUCTING OF CALCULATIONS ON TO THE MECHANIC OF SYSTEM «SEINER – THE PURSE SEINE»

N.L. Velikanov

The algorithm conducting of calculations on to the mechanic of system «seiner - the purse seine» is presented.

seiner, purse seine, resistance coefficient