

# Определение коэффициента уловистости, износостойкости и прочности конструкций кошелькового невода

Д-р техн. наук Н.Л. Великанов – Калининградский государственный технический университет

Лов рыбы кошельковыми неводами занимает второе место в мире после тралового, а в некоторых странах является преобладающим. В рамках работ по развитию механических системы «промысловое судно – кошельковый невод», проводимых в КГТУ, получены решения ряда задач по определению коэффициента уловистости, износостойкости сетного полотна и прочности канатов и тросов.

Кошельковые невода эффективны только при лове стайных рыб. Успешность лова определяется, в первую очередь, плотностью скопления. Также имеют значение размеры косяка, скорость его перемещения и другие биологические особенности объекта лова.

Длину кошелькового невода во время лова изменять очень трудно, и косяки различных размеров (а также часто состоящие из рыб различных видов) облавливают неводом одной длины. Чем меньше размер косяка, тем вероятнее, что он будет успешно обловлен, и чем длиннее невод, тем вероятнее, что косяк определенного размера будет пойман. Это справедливо при условии превышения размеров пространства, ограниченного сетной стенкой невода после замета, размеров облавливаемого косяка. Для таких случаев применяемые в настоящее время физические и математические модели замета достаточно разработаны.

Одним из основных критериев эффективности использования невода является его коэффициент уловистости. При расчете последнего процесс лова рыбы делится на два этапа: первый – обмет сетной стенкой невода косяка рыбы; второй – кошелькование.

Во всех известных моделях косяк ведет себя как единое целое. Считается, что рыба уходит из пространства, ограниченного сетной стенкой невода, только при кошельковании. Коэффициент уловистости кошелькового невода, по аналогии с коэффициентом уловистости трала, выражается следующим образом:

$$\gamma = \frac{Q}{n} = \frac{n_{\beta}}{n} \frac{Q}{n_{\beta}} = \beta \delta \quad (1)$$

где  $Q$  – улов;  
 $n$  – количество рыбы, находящейся в зоне облова;  
 $n_{\beta}$  – количество рыбы, находящейся внутри пространства, окруженного сетной стенкой, после окончания обмета сетной стенкой невода косяка рыбы;  
 $\beta$  – коэффициент захвата рыб неводом;  
 $\gamma$  – коэффициент удержания рыб внутри пространства, окруженного сетной стенкой невода.

Коэффициент захвата  $\beta$  – характеристика эффективности использования невода на первом этапе процесса лова; коэффициент удержания  $\gamma$  – на втором этапе.

Встречаются косяки таких размеров, которые не могут быть полностью обловлены за один замет. В этих случаях иногда удается обловить часть косяка. Ф.И. Баранов указывал, что при об-

мете косяков слишком больших размеров надо стремиться окружить головную часть стаи: «...если отрезать неводом заднюю или боковую часть стаи, то рыба начинает беспокоиться и погружаться вниз».

Рассмотрим схему замета кошелькового невода при облове части большого неподвижного скопления рыбы (рис. 1).

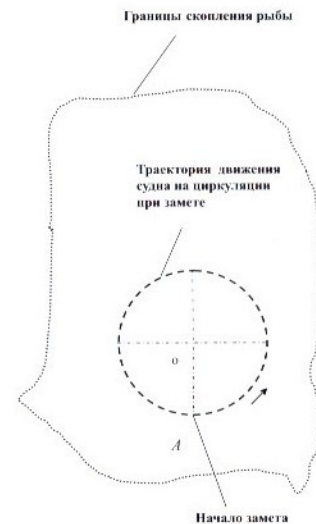


Рис. 1. Схема замета кошелькового невода при облове части большого скопления рыбы

Используем общепринятые допущения: судно при замете движется по окружности с постоянной скоростью  $v_c$ ; рыба при уходе от опасности перемещается с постоянной скоростью  $v_b$ . Дополнительные допущения, принятые при расчетах: рыба уходит от движущегося источника (судно) по нормали к траектории его движения (рис. 2); рыба не перемещается по вертикали.

За время  $t$  судно пройдет по дуге окружности путь  $S_c = v_c t$  (см. рис. 2). Рыба в течение времени  $t$  будет уходить из сектора, ограниченного дугой  $S_c + a$  (где  $a$  – дальность реакции рыбы на приближающуюся опасность). В данной модели дальность реакции  $a$  относится к отдельным рыбам и достигает для некоторых видов 10 м.

Эффективность работы кошелькового невода в наибольшей мере зависит от того, насколько его конструкция оказывается приспособленной к облову того или иного вида рыб.

Наряду с определением технических характеристик проектируемых неводов, их прочности, необходимой оснастки важно уметь расчетным путем находить промысловую характеристику невода – его уловистость, отражающую степень его приспособленности к облову соответствующего вида рыб. Создание новых, высокоэффективных систем «промысловое судно – кошельковый невод» связано с проблемой учета особенностей поведения

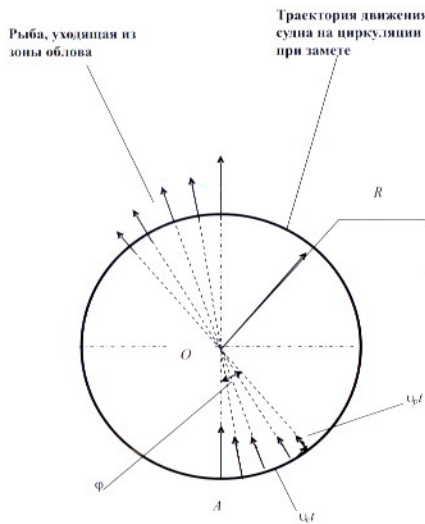


Рис. 2. Расчетная схема для определения количества рыбы, уходящей из невода при замете

и распределения объекта лова в зоне действия рыболовного орудия.

Эффективность работы орудий лова зависит от многих факторов: от его технических характеристик (конструкция, размеры, скорость движения, материал, оснастка); особенностей поведения облавливаемой рыбы; характера, размеров и постоянства ее скоплений; метеорологических особенностей района лова; характеристик промыслового судна; квалификации команды. Правильный учет технико-экономических условий эксплуатации и является залогом эффективности работы создаваемого орудия лова.

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

Количество рыбы, находящейся в зоне облова (рис. 3):

$$n = \pi R^2 h \rho, \quad (2)$$

где  $h$  – глубина погружения нижней границы скопления;  $\rho$  – плотность концентрации облавливаемого скопления.

Количество рыбы, находящейся внутри пространства, окруженного сетной стенкой, после окончания обмета сетной стенкой невода части скопления:

$$n_{\text{в}} = (\pi R^2 h - \frac{v_p^2}{v_c^2} \frac{R^2}{3} 4\pi^2 (2\pi + 3 \frac{a}{R}) h) \rho. \quad (3)$$

Коэффициент захвата  $\beta$  (1) из (2), (3):

$$\beta = \frac{n_{\text{в}}}{n} = 1 - \frac{4\pi}{3} (2\pi + 3 \frac{a}{R}) (\frac{v_p}{v_c})^2. \quad (4)$$

Зависимость (4) определяет коэффициент захвата кошелькового невода при облове крупных неподвижных скоплений. Наибольшее влияние на коэффициент захвата оказывает отношение скорости рыбы к скорости судна.

Радиус  $R$  в (3) связан с минимальной длиной кошелькового невода, равной длине  $L$  окружности, по которой движется судно при замете, известной зависимостью  $R = L/(2\pi)$ .

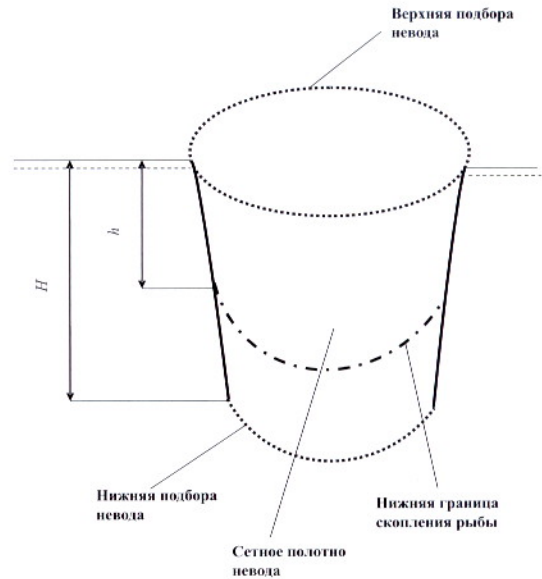


Рис. 3. Схема невода после замета перед кошелькованием

Тогда из (4) получим:

$$\beta = 1 - \frac{8\pi^2}{3} (1 + 3 \frac{a}{L}) (\frac{v_p}{v_c})^2 \quad (5)$$

Дальность реакции рыбы  $a$  обычно не превышает 10 м, а длина невода  $L$  достигает 2 км. Поэтому коэффициент захвата (5) мало зависит от длины невода. От длины невода зависит величина улова. Практически во всех известных моделях длина невода является одним из основных параметров, определяющих возможность облова косяка рыбы.

Широкое применение для постройки орудий лова, изготовления такелажа промысловых судов различных веревочных изделий и канатов обуславливает актуальность расчетов их прочности. По виду материала канаты делятся на три группы: волокнистые, стальные (проволочные) и комбинированные. Канаты, скрученные из прядей, имеют две крутки: каболки скручены в пряди (первая крутка), пряди скручены в канаты (вторая крутка). По этому признаку их называют канатами двойной крутки, прямой крутки, прямого спуска или тросовой работы.

Если три или четыре таких каната скрутить вместе, образуется канат тройной, или обратной, крутки, обратного спуска, кабельной, или кабельтовой, работы. Крутку каната характеризуют так же, как и крутку ниток, число витков прядей на единицу длины каната (на 1 м), принимая число витков не одной пряди, а суммарно всех прядей. Величина крутки влияет на внешний вид каната и его технические свойства: чем она больше, тем ровнее, плотнее и влагоустойчивее канат. Однако излишняя крутка уменьшает прочность каната.

Важнейшим техническим свойством канатов является их прочность. Она выражается двумя показателями: суммарной прочностью всех каболок, составляющих канат, и прочностью каната в целом, называемой агрегатной прочностью. И та, и другая характеризуются разрывным усилием, но суммарная прочность больше агрегатной вследствие потери прочности при скручивании каболок в пряди, а последних – в канат. В расчетах прочности орудий лова как инженерных сооружений используют лишь агрегатную прочность. Однако для ее определения требуются мощные и дорогостоящие разрывные установки. Значительно проще разрывать канат по отдельным каболкам на обычных лабораторных разрывных машинах и суммировать их разрывное усилие, поэтому в ГОСТах и ТУ приведена как суммарная, так и агрегатная прочность.

При определении суммарной прочности разрывают от 10 до 50 % каболок – в зависимости от толщины каната. Суммарное разрывное усилие определяют как среднеарифметическое от разрывных усилий исследованных каболок, умноженное на число каболок в канате.

Прочность канатов во многом зависит от вида используемых материалов. Наиболее прочными являются капроновые и нейлоновые канаты, наименее прочными – хлориновые и растительные.

Весьма широкое применение в промышленном рыболовстве получили стальные канаты, скрученные из особо прочной стальной проволоки. Обычно проволоки бывают круглого сечения, но в особых случаях, чтобы придать поверхности каната плотный гладкий вид, применяют проволоки фигурного сечения, плотно примыкающие друг к другу в верхнем облицовочном ряду.

По конструкции различаются стальные канаты одинарной свивки, или спиральные; двойной (тросы) и тройной свивки (кабели). В отдельных случаях изготавливают особые канаты многократной свивки. (Под свивкой понимают скручивание проволок или прядей каната между собой).

Наиболее широко применяются стальные канаты двойной свивки, называемые также канатами тросовой работы. Их получают скручиванием проволоки в спиральные канаты (пряди) и последующим скручиванием прядей между собой (рис. 4). Обычно тросы состоят из шести прядей. Для придания канату мягкости и гибкости пряди скручивают вокруг растительного каната или пучка каболок, называемых сердечником, или сердцевинной.

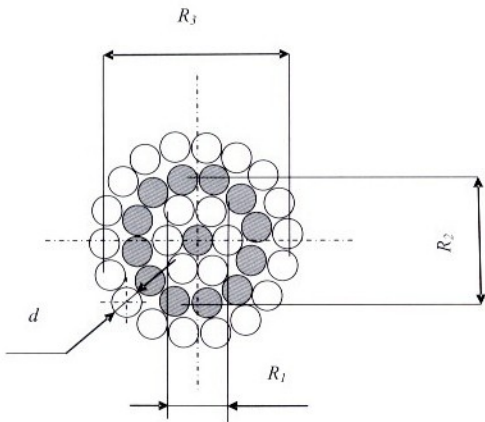


Рис. 4. Трехслойный спиральный канат

Прочность каната на разрыв зависит от расчетного предела прочности проволоки, числа проволок в канате и конструкции каната. Как и для волокнистых канатов, различают два вида прочности: суммарную прочность проволок и агрегатную прочность каната в целом. Агрегатная прочность в зависимости от типа каната и числа свивок на 15–25 % меньше суммарной прочности проволок. Объяснить эту разницу 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.

В расчетной схеме представим каждый слой в виде винтовой пружины кругового поперечного сечения диаметра  $d$  (рис. 5).

Предположим, что винтовая пружина кругового поперечного сечения подвергается действию сил  $P$ , направленных по оси (см. рис. 5), и что какой-либо виток лежит в плоскости, мало отличающейся от плоскости, перпендикулярной к оси пружины. Рассматривая равновесие верхней части пружины, ограниченной осевым сечением, например  $mn$  (рис. 6 и 7), можно заключить из уравне-

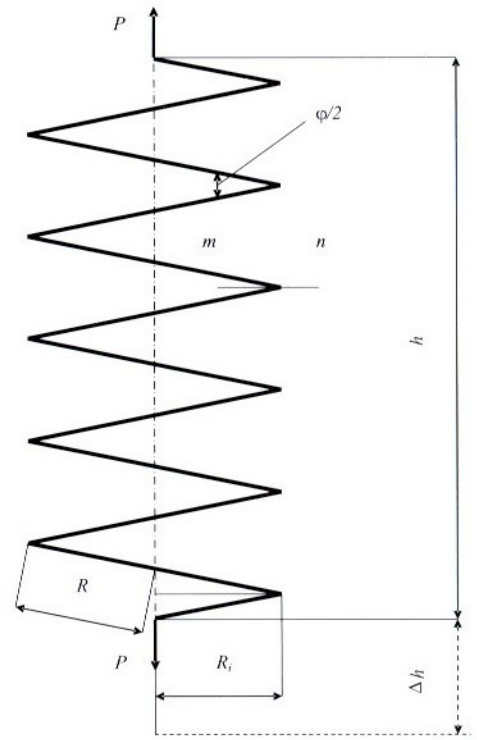


Рис. 5. Винтовая цилиндрическая пружина

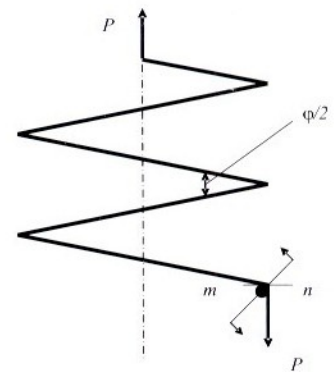


Рис. 6. Верхняя часть винтовой цилиндрической пружины от сечения  $mn$

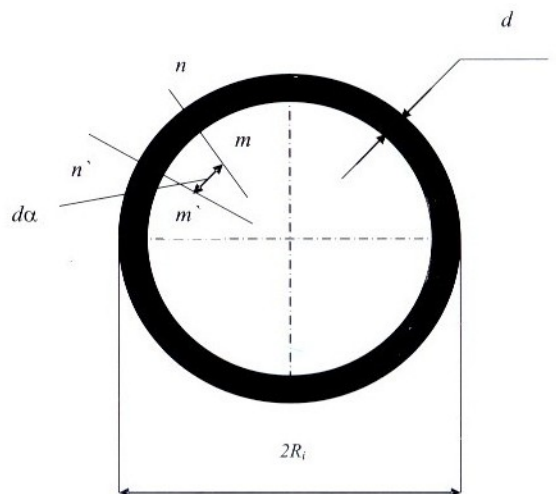


Рис. 7. Звено винтовой цилиндрической пружины

ний статике, что усилия по поперечному сечению  $mn$  витка приводятся к срезающей силе  $P$ , приложенной в центре тяжести поперечного сечения, и к паре сил, действующей в плоскости поперечного сечения против хода часовой стрелки.

Для пружины с неизменным в процессе ее растяжения радиусом ( $R_i = R = const$ ) в курсе лекций «Сопротивление материалов» С.П. Тимошенко получено следующее выражение для опускания пружины:

$$\delta_i = \Delta h_i = \frac{64n_i P R_i^3}{G d_i^4}, \quad (6)$$

где  $G$  – модуль упругости при сдвиге ( $G = E / (2(1+\mu))$ );  
 $E$  – модуль упругости при растяжении;  
 $\mu$  – коэффициент Пуассона;  
 $d$  – диаметр поперечного сечения  $mn$  витка;  
 $\Delta h$  – полное опускание пружины (см. рис. 5);  
 $n$  – число витков.

Приравнявая опускания каждого слоя (6), получим:

$$n_{i-1} = n_i \frac{R_i^3}{R_{i+1}^3} \quad (7)$$

Если учесть изменение радиуса пружины при ее растяжении и принять допущение о постоянстве длины витка пружины, т.е.  $2\pi R = const$ , то выражение для опускания пружины примет вид:

$$\Delta h_i = \frac{64n_i P R_i^3}{\sqrt{G_i^2 d_i^8 + 256P^2 R_i^4}} \quad (8)$$

Если  $[(256P^2 R^4)/(G^2 d^8)] \rightarrow 0$ , то из формулы (3) получается формула С.П. Тимошенко (6).

При расчетах пружин если  $[(256P^2 R^4)/(G^2 d^8)] < 0,1$ , то можно использовать зависимость (1); если  $[(256P^2 R^4)/(G^2 d^8)] \geq 0,1$ , то более точные результаты получаются по зависимости (8).

Приравнявая опускания каждого слоя (8), получим:

$$n_{i+1} = n_i \frac{R_i^3 \sqrt{G_{i+1}^2 d_{i+1}^8 + 256P^2 R_{i+1}^4}}{R_{i-1}^3 \sqrt{G_i^2 d_i^8 + 256P^2 R_i^4}} \quad (9)$$

Использование зависимостей (7), (9) позволит в значительной мере приблизиться к понятию равнопрочного каната и уменьшить разницу суммарной и агрегатной прочности.

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. Поэтому используют запас прочности материала с тем, чтобы компенсировать его износ. Впервые математическую модель процесса износа предложил Ф.И. Баранов.

Процесс потери прочности детали в эксплуатации можно описать выражением:

$$R - R_0 = aR^k, \quad (10)$$

где  $R$  – первоначальная прочность детали, которую берут с некоторым запасом;

$R_0$  – остаточная ее прочность на момент браковки;

$t$  – число суток работы;

$a$  и  $k$  – параметры, характеризующие материал детали и процесс износа ее по времени в конкретных условиях.

Параметры  $a$  и  $k$  можно получить, если провести специальные наблюдения над изменением прочности тех или иных деталей.

Зависимости (10) устанавливают связь между размерными величинами. Приведем (10) к безразмерному виду. Для этого введем относительное время

$$t_{\text{омн}} = \frac{t}{t_{\text{max}}}, \quad (11)$$

где  $t_{\text{max}}$  – время, за которое прочность достигает минимального значения.

Преобразуем выражение (10):

$$\frac{R - R_0}{R} = at^k = f(t_{\text{омн}}), \quad (12)$$

где  $f(t_{\text{омн}})$  – искомая функция от относительного времени.

Назовем левую часть выражения (12) относительным изменением прочности:

$$R_{\text{омн}} = \frac{R - R_0}{R}. \quad (13)$$

Тогда из выражений (12), (13) следует:

$$R_{\text{омн}} = f(t_{\text{омн}}). \quad (14)$$

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  $f(t_{\text{омн}})$  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, в свою очередь, ускоряет механический износ.

Экспериментальные исследования износа проводят отдельно для каждой составляющей. Механический износ можно исследовать на установке, показанной на рис. 8.

При исследовании процессов старения сетное полотно помещают на длительное время в воду либо на открытый воздух, периодически измеряя его прочность.

**Velikanov N.L.**

**Definition of catchability coefficient, wearing capacity, and structural strength of purse seine**

*Fishing with use of purse seines is the second in the world after trawl fishing, in some states it is predominant. Kaliningrad State Technical University conducts works on development of mechanics of the system "fishing vessel – purse seine". In the frame of these works, the author obtained the solutions of some important tasks on definition of catchability coefficient, wearing capacity, and structural strength of ropes and cables.*

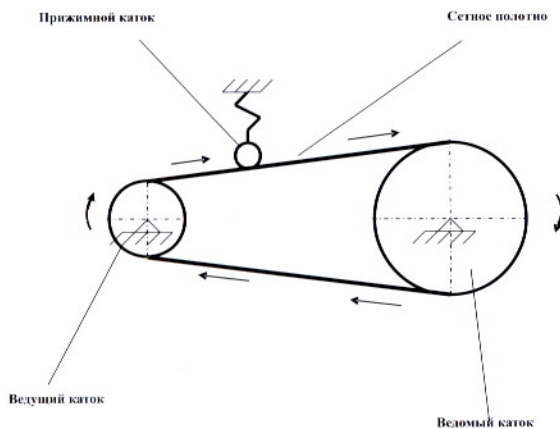


Рис. 8. Схема установки для исследования процессов механического износа