

## ВЕРОЯТНОСТЬ ОБЛОВА РЫБ КОШЕЛЬКОВЫМ НЕВОДОМ

© 2010 г. О.Н. Кручинин, В.С. Бабенко

*Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный  
центр, Владивосток 690950*

Поступила в редакцию 09.07.2008 г.

Окончательный вариант получен 23.09.2008 г.

Рассмотрены возможные пути выхода рыбы из зоны облова кошельковым неводом и выведены формулы для расчета вероятности облова косяка в процессе замета и кошелькования невода. Показано, что вероятность облова зависит от скорости погружения нижней подборы кошелькового невода. Предложена методика расчета погружения различных участков нижней подборы и определена зависимость вероятности облова от формы замета, размера и скорости движения косяка. Показана сходимость расчетных данных с данными промысловых наблюдений на кошельковом промысле тихоокеанской сардины. Полученные результаты могут использоваться для предварительной оценки производительности кошельковых неводов, а также для совершенствования имитационных моделей, на базе которых разрабатываются тренажеры процессов кошелькового лова.

*Ключевые слова:* кошельковый невод, скорость погружения нижней подборы, вероятность облова косяка.

В последние годы большое внимание уделяется моделированию процессов промышленного рыболовства, в том числе и разработкам теоретических моделей уловистости, дающих представление о вероятности ухода рыбы из зоны облова различными путями (Грачев, Мельников, 2003). Известные модели замета кошелькового невода направлены на решение задачи о необходимых размерах кошелькового невода для успешного облова косяков рыб различной подвижности (Андреев, 1970; Лисовой, 1971; Ольховский и др., 1980; Мельников, Лукашов, 1981; Кручинин, 2005). Однако, в реальных условиях промысла судоводителем, как правило, решается обратная задача: при ограниченных размерах невода выполнить замет без потерь, что удастся далеко не всегда и не всем. Оценка потерь уловов, проведенная некоторыми исследователями при кошельковом лове различных видов рыб, показала, что результативность лова колеблется в пределах 50-70% (Князькин, Ульянов, 1972; Иванов и др., 1981; Кручинин, Кузнецов, 1985). Настоящая статья посвящена теоретическому исследованию вероятности выхода рыбы из зоны облова кошельковым неводом на различных этапах лова при ограниченных размерах невода. Важность такого исследования заключается, прежде всего, в использовании его результатов для предварительной оценки производительности кошельковых неводов, а также для совершенствования имитационных моделей, на базе которых разрабатываются тренажеры процессов кошелькового лова.

Для анализа процессов кошелькового лова при ограниченных размерах невода необходимо задаться какой-либо известной в математике кривой траектории замета, и рассмотреть возможные пути выхода рыбы из зоны облова.

### 1. Траектория замета и возможные пути выхода рыбы из зоны облова кошельковым неводом

На основании промысловых наблюдений за траекториями замета кошелькового невода, форму замета в первом приближении можно представить в виде эллипса. На рисунке 1 условно показана одна из возможных форм замета по эллипсовидной

траектории с полуосями  $a_z$  и  $b_z$ . Косяк находится в координатах  $(X_{p0}; 0)$ , расположен относительно судна на курсовом углу  $q_0$  и дистанции  $D_0$  и движется от судна с постоянной скоростью  $V_p$  в направлении, совпадающем с большой полуосью эллипса. Судно в начальный момент находится в точке отдачи невода (ТОН) с координатами  $(X_{c0}; Y_{c0})$  и имеет скорость  $V_c = V_{c(max)}$ . Начало координат расположено в точке пересечения осей эллипса.

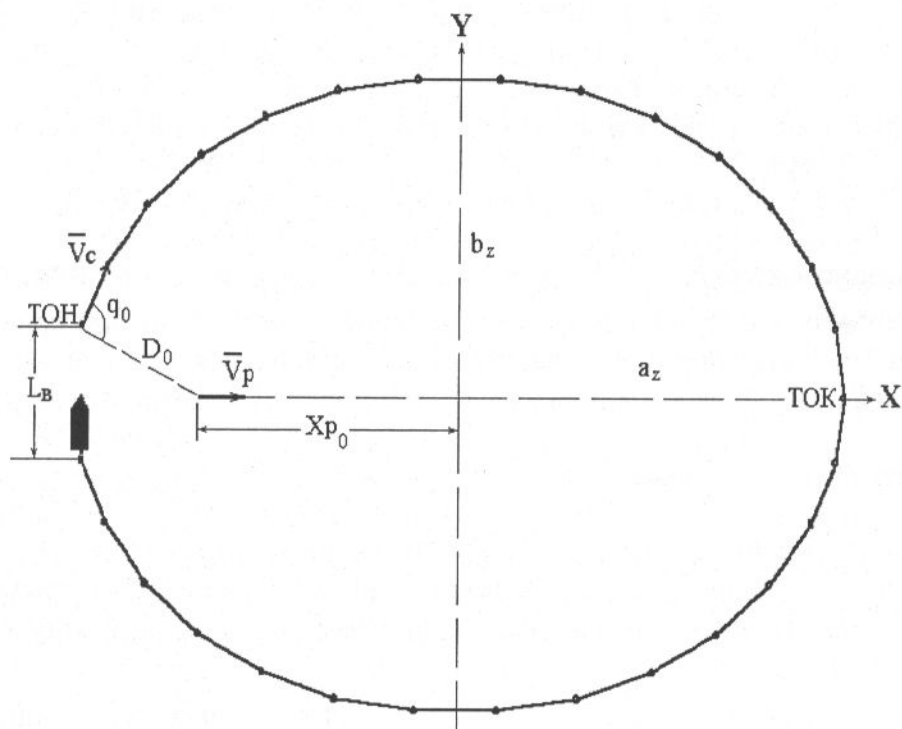


Рис. 1. Эллипсовидная траектория замета.  
Fig. 1. Ellipse trajectory for purse seine encircles.

На первом этапе невод выметывается по пологой траектории до тех пор, пока косяк не окажется на траверзе судна, после чего выполняется циркуляция с центром в точке охвата косяка (ТОК) с целью препятствования дальнейшему движению рыб по первоначальному направлению. На этом этапе замета судно должно подойти в ТОК и выметать невод с некоторым опережением (упреждением) косяка по времени, и чем больше это упреждение, тем на большую глубину погрузится нижняя подборка невода и меньше вероятность ухода рыбы под нижней подборкой.

На следующем этапе замет невода выполняется по пологой траектории сближения с ТОН. Обычно при выметывании всей длины невода остаются так называемые «ворота» размером  $L_g$  между пятным и бежным урезами невода, которые закрывают, подтягивая пятной урез к судну с помощью троса-проводника. Заметим, что  $L_g$  является размером ворот на поверхности воды. С глубиной величина «ворот» увеличивается в соответствии с углом наклона пятной и бежной частей нижней подборки. Угол этот, в свою очередь, определяется глубиной погружения нижней подборки невода. Косяк, наткнувшись на стенку невода в ТОК, может подойти к «воротам» невода и выйти из зоны облова двумя путями: по линии большой полуоси и вдоль стенки невода. Как видим, на этом этапе замета, для увеличения вероятности облова, также необходимо упреждение косяка по времени при подходе судна к ТОН.

В процессе кошелькования невода происходит изменение глубины погружения нижней подборки, которое определяется скоростью выборки стяжного троса. При

этом в некоторый момент времени, подборы в пятной и бежной частях невода практически сходятся и «ворота» закрываются. До этого момента существует возможность ухода рыбы из зоны облова под килем судна.

Как видно из анализа, во всех случаях вероятность выхода рыбы из зоны облова определяется глубиной погружения нижней подборы невода, которая зависит от величины упреждения. Упреждение, в свою очередь, определяется разностью (или отношением) скоростей движения судна и косяка. Известно (Андреев, 1970; Гостомыслов, 1975, 1977; Войниканис-Мирский, 1983), что скорость судна при замете невода по криволинейной траектории зависит от радиуса кривизны, который для эллипса определяется по известным формулам (Бронштейн, Семендяев, 1980):

$$R_i = a_z^2 b_z^2 \left( \frac{X_i^2}{a_z^4} + \frac{Y_i^2}{b_z^4} \right), \text{ где } X_i - \text{ абсцисса точки траектории; } Y_i = \sqrt{b_z^2 (a_z^2 - X_i^2) / a_z^2} -$$

ордината точки траектории;  $i = 1, 2 \dots n$ ;  $n$  – количество рассматриваемых точек траектории.

Как отмечает Н.Н. Андреев (1970), падение скорости судна на криволинейной траектории (на циркуляции) зависит только от отношения радиуса циркуляции к длине судна  $k_{ci} = R_i / L_c$ . К.К. Федяевским (Андреев, 1970) в результате теоретического

анализа найдена следующая зависимость:  $k_{ci} = \sqrt{\frac{5,9}{k_{Vci}^{-3} \sin(\pi k_{Vci} / 2) - 1}}$ , где  $k_{Vci} =$

$V_{ci} / V_{c(max)}$  – коэффициент снижения скорости судна на циркуляции;  $V_{ci}$  – скорость судна на циркуляции, м/с;  $V_{c(max)}$  – скорость судна при движении по прямолинейной траектории, м/с. Отметим, что расчет коэффициента  $k_{Vci}$  по этой формуле возможен лишь методом итерации.

Для упрощения процедуры расчетов нашли аппроксимацию экспериментальных данных Г.А. Фирсова (Андреев, 1970) и В.Н. Войниканис-Мирского (1983) в виде:

$$k_{Vci} = \frac{1}{1 + 4.28 \exp(-1.11 k_{ci})} \text{ (для } 1 < k_{ci} < 6); k_{Vci} = 1 \text{ (для } k_{ci} > 6) \text{ (1)}$$

при этом относительная ошибка аппроксимации по сравнению с формулой К.К. Федяевского не превышает 7,5%.

Скорость судна на отдельных участках траектории выразится как:

$$V_{ci} = V_{c(max)} k_{Vci}, \text{ (2)}$$

а продолжительность выметывания невода:

$$t_z = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta L_n / V_{ci}, \text{ (3)}$$

где  $\Delta L_n = L_n / (n-1)$  – длина секции (литера) невода, м.

Упреждение в ТОК определим из следующего выражения:

$$\Delta t_{(ТОК)} = t_{p(ТОК)} - t_{z(ТОК)}, \text{ (4)}$$

$$\text{где } t_{z(ТОК)} = t_z / 2; \text{ (5)}$$

$$t_{p(ТОК)} = L_{p(ТОК)} / V_p = (a_z - X_{p0}) / V_p, \text{ (6)}$$

где  $V_p$  – скорость косяка в зоне облова, м/с;  $t_{p(ТОК)}$ ,  $L_{p(ТОК)}$  – время и путь, пройденный косяком до ТОК.

Упреждение в ТОН определим из следующего выражения:

$$\Delta t_{(ТОН)} = t_{p(ТОН)} - (t_z + t_{ням}), (7)$$

$$\text{где } t_{ням} = \frac{L_e}{V_{S(ням)}}; (8)$$

$$L_e = 2Y_{c0} = 2\sqrt{b_z^2(a_z^2 - X_{c0}^2)/a_z^2}; (9)$$

$$t_{p(ТОН)} = L_{p(ТОН)} / V_p = (3a_z - X_{p0} + X_{c0}) / V_p, (10)$$

где  $V_{S(ням)}$  – скорость выборки троса-проводника при подборке пятного уреза к судну, м/с;  $t_{p(ТОН)}$ ,  $L_{p(ТОН)}$  – время и путь, пройденный косяком до ТОК и обратно до створа «ворот»;  $t_{ням}$  – время подборки пятного уреза к судну.

Заметим, что определение времени по формуле (10) предполагает движение косяка от ТОК до створа «ворот» по большой полуоси эллипса. Если косяк движется вдоль стенки невода (по кривой эллипса), то  $t_{p(ТОН)}$  увеличивается. Соответственно, увеличивается упреждение и повышается вероятность облова косяка. Поэтому для расчетов в дальнейшем будем использовать формулу (10), заранее приняв менее благоприятные условия для облова косяка.

Итак, мы определили алгоритм расчета упреждения в ТОК и ТОН, которые определяют вероятность облова косяка кошельковым неводом в процессе замата. Важным фактором, также оказывающим влияние на вероятность облова косяка, традиционно считается обловленный кошельковым неводом объем, который при замате по эллипсу определится по формуле:

$$V_z = \pi a_z b_z H_{n(max)} (11)$$

Используя выражения (4), (7) и (11), произвели расчет упреждения в ТОК и ТОН и обловленного объема для кошелькового невода 1100x200 пр. 197 КЭБ (Орудия лова, 1986), характеристики которого приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры кошелькового невода 1100x200 пр. 197 КЭБ.  
Table 1. The basic parameters of purse seine 1100x200 m.

Параметр	Значение параметра	Обозначение
Длина верхней подборы, м	1100	$L_n$
Длина нижней подборы, м	1166	$L_{н.н}$
Основная нить в дели	93,5x3	$N$
Коеф. посадки по верх. подборе	0,714-0,769 (0,742)	$U_B$
Шаг ячеи, мм	12	$a$
Коеф. посадки по нижн. подборе	0,757-0,815 (0,786)	$U_H$
Высота невода в жгуте, м	200	$H_n(жгут)$
Высота невода в посадке, м	120	$H_n(max)$
Загрузка 1 погонного метра нижней подборы		
Со стяжным тросом, кгс	7,60	$q_{max}$
Без стяжного троса, кгс	4,89	$q_{min}$

Результаты расчета показаны на рисунке 2, где вероятность облова косяка показана относительно максимальных значений каждого параметра при изменении  $a_z/b_z$  от 1,0 до 2,1.



Рис. 2. Вероятность облова косяка при различной траектории замата.  
 Fig. 2. Probability of catching jamb at a various trajectory of encircles.

Расчет и графики на рисунке 2 показывают, что оптимальной траекторией замата, которая соответствует максимальным значениям упреждения в ТОК и ТОН, является эллипс с отношением  $a_z/b_z$  от 1,45 до 1,66 (в среднем – 1,55). Точки пересечения графиков упреждения ТОК и ТОН с графиком обловленного объема лежат примерно в этом же интервале. На рисунке 2 видно также, что форма замата в виде окружности ( $a_z/b_z=1$ ) является приемлемой лишь с позиции обловленного объема, тогда как значения  $\Delta t_{(ТОК)}$  и  $\Delta t_{(ТОН)}$  для замата по окружности весьма низкие, впрочем, как и для эллипса при  $a_z/b_z > 1,8$ .

Анализируя возможные пути выхода рыбы из зоны облова кошельковым неводом, мы определились, что потери улова во всех трех случаях зависят от глубины погружения той части нижней подборы невода, где возникает вероятность выхода косяка. Рассмотрим кинематику погружения различных участков нижней подборы кошелькового невода.

## 2. Кинематика погружения отдельных участков нижней подборы кошелькового невода

Исследованию механики кошельковых неводов, в частности, динамики погружения нижней подборы невода, посвящены работы многих специалистов промышленного рыболовства как у нас в стране, так и за рубежом (Баранов, 1948, 1960, 1969; Виноградов, 1950; Андреев, Трахтенгерц, 1960; Гиренко, 1962; Степанов, 1966; Хмаров, 1967; Андреев, 1970; Розенштейн, 2000; Великанов, 2001, 2002; Namura et al., 1967; Ven-Yami, 1994). Однако, подавляющее большинство моделей погружения невода разработаны на результатах исследования скорости погружения нижней подборы в центральной части невода, при этом не рассматривается кинематика погружения отдельных участков невода по всей длине нижней подборы. Одной из работ, посвященных исследованию процесса погружения и формы нижней подборы в различных частях кошелькового невода, является диссертация В.В. Хмарова (1967). В результате экспериментальных работ этим автором выявлено, что в процессе погружения боковые подборы расправляются не только под действием загрузки по нижней подборе, но и под действием натяжения стяжного троса и подбор. Вывод о влиянии натяжения стяжного троса на форму нижней подборы в процессе погружения вполне закономерен. Действительно, погружение невода в основном будет определяться скоростью погружения стяжного троса и нижней подборы с нанизанными на нее грузами, так как удельный вес материалов, из которых

изготовлены эти элементы невода, в 6-9 раз превышает удельный вес сетного полотна. Нижнюю подбору невода со стяжным тросом можно представить как гибкую тяжелую нерастяжимую нить, подвешенную одним концом на судне, а другим – на пятном кляче, то есть практически на одном уровне. Тогда в процессе замета в результате погружения она приобретает форму цепной линии, расположенной на пространственной поверхности, ограничивающей объем замета (например, на поверхности цилиндра). При этом длина выметанного невода соответствует хорде цепной линии, максимальная глубина погружения невода – стрелке прогиба, а длина вытравленного стяжного троса – длине цепной линии. Очевидно, что глубина погружения сетных частей невода не должна превышать максимальную глубину погружения нижней подборы со стяжным тросом.

Для решения кинематической задачи по определению изменения во времени глубины погружения отдельных точек нижней подборы кошелькового невода рассмотрим рисунок 3. На нем показана развертка нижней подборы на плоскость в различные периоды замета невода, состоящего из 11 частей (литеров), и обозначены анализируемые точки в пятной  $X_{n(пят)}$  и в бежной  $X_{n(беж)}$  частях невода. Нижняя подборка представлена гибкой нитью в форме цепной линии. В рассматриваемом примере погружение точки  $X_{n(пят)}$  начинается после выметывания трех частей невода, а  $X_{n(беж)}$  – после выметывания восьми частей, при этом нижняя подборка в пятной части погружается на глубины  $H_4, H_5 \dots H_n$  (где  $H_n$  – максимальная глубина погружения нижней подборы), а в бежной – на глубины  $H_9, H_{10}, H_n$ .

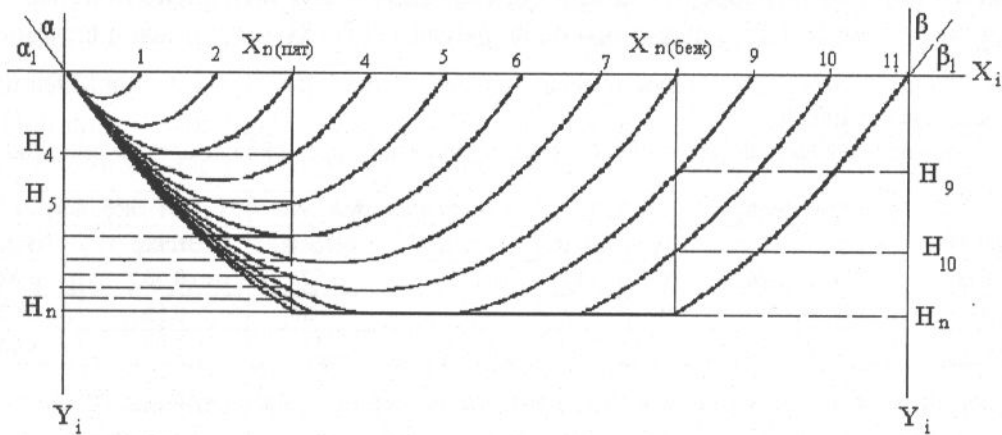


Рис. 3. К определению кинематики погружения нижней подборы кошелькового невода.  
 Fig. 3. To definition kinematics of immersing the bottom line of purse seine.

Для определения текущей глубины погружения любой точки нижней подборы выполнили следующие преобразования с использованием уравнения цепной линии:

$$X_i(1) = \frac{L_{ni}}{2}, H_{ni}(1) = p_i \left( \operatorname{ch} \frac{X_i(1)}{p_i} - 1 \right) \quad (12)$$

$$X_i(2) = \frac{L_{ni}}{2} - X_n, H_{ni}(2) = p_i \left( \operatorname{ch} \frac{X_i(2)}{p_i} - 1 \right). \quad (13)$$

Тогда глубина погружения любой точки нижней подборы в каждый момент времени определится из выражения:

$$H_{ni}(X_n) = H_{ni}(1) - H_{ni}(2) \quad (14)$$

где  $X_n$  – ордината исследуемой точки невода, м;  $L_{ni}$  – текущая длина выметанного невода, м;  $p_i$  – параметр цепной линии:

$$P_i = \frac{S_i^2 - 4f_i^2}{8f_i}, \quad (15)$$

где  $S$  и  $f$  – длина и стрелка прогиба цепной линии.

Для отыскания параметра цепной линии по известному отношению  $L/S$  и неизвестному  $f$  использовали таблицу основных элементов цепной линии, из которой для удобства расчетов нашли (с коэффициентом корреляции 0,999 и относительной ошибкой 0,1%) следующую аппроксимацию:

$$f/S = 0,583X_1^{0,484} (0,86^{X_1^{1,772}}), \quad \text{откуда (16)}$$

$$f = 0,583SX_1^{0,484} (0,86^{X_1^{1,772}}), \quad (17)$$

где  $X_1 = 1 - (L/S)$ , где  $L$  – хорда цепной линии.

Переходя к кошельковому неводу, элементы цепной линии выразятся как:

$$S = L_S = V_S t_Z; f = H_{n(max)}; L = L_n = V_{c(cp)} t_Z, \quad (18)$$

где  $L_n$  – длина верхней подборы невода, м;  $L_S$  – длина вытравленного стяжного троса, м;  $V_S$  – скорость травления стяжного троса при замете, м/с;  $H_{n(max)}$  – максимальная глубина погружения центральной части нижней подборы, м;  $V_{c(cp)}$  – средняя скорость судна при замете, м/с.

Сравнительный анализ процесса погружения кошелькового невода 400x80 м с загрузкой по нижней подборе 3,3 кгс/пог.м, определенного экспериментальным путем В.В. Хмаровым (1967) и рассчитанного по формулам (12-18), представлен в таблице 2.

**Таблица 2.** Экспериментальные и теоретические значения параметров погружения нижней подборы кошелькового невода 400x80 м.

**Table 2.** Experimental data and calculation of parameters of immersing the bottom line of purse seine 400x80 m.

Участок невода	Эксперимент.		Теоретич.		Ср. скор. погруж., м/с		Отн. скор. погруж.	
	t, с	H, м	t, с	H, м	Экспер.	Теорет.	Экспер.	Теорет.
Пятной	227	26	45	25,6	0,11	0,57	0,53	0,52
Центральный	441	56	80	55	0,13	0,69	0,59	0,62
Бежной	162	35	32	35,5	0,22	1,11	1,00	1,00

В таблице 2 видно, что закономерность погружения отдельных точек нижней подборы невода в обоих случаях подобны: совпадают максимальная глубина и относительная скорость погружения, при этом скорость погружения возрастает от пятного к бежному клячу. Вместе с тем, абсолютные значения времени и скорости погружения как центральной, так и клячевых участков в эксперименте и теории различаются приблизительно в 5 раз. Исходя из этого, для определения абсолютных значений времени погружения любого участка нижней подборы невода на определенную глубину, необходимо значения, вычисленные с применением уравнений цепной линии, привести к экспериментальным данным путем умножения на нормирующий коэффициент:

$$k_{V_n} = t_n / t_{ц.л.}, \quad (19)$$

где  $t_n$  – время погружения центрального участка нижней подборы на максимальную глубину, с;  $t_{ц.л.}$  – время погружения этого же участка, вычисленное с применением уравнения цепной линии, с.

На рисунке 4 показаны кинематические графики погружения нижней подборы кошелькового невода 400x80 м в сливной, средней и бежной частях, построенные по

данным наблюдений В.В. Хмарова (1967) и расчетов с применением уравнений (12-18) и нормирующего коэффициента (19), приведенные к моментам схода в воду этих частей невода.

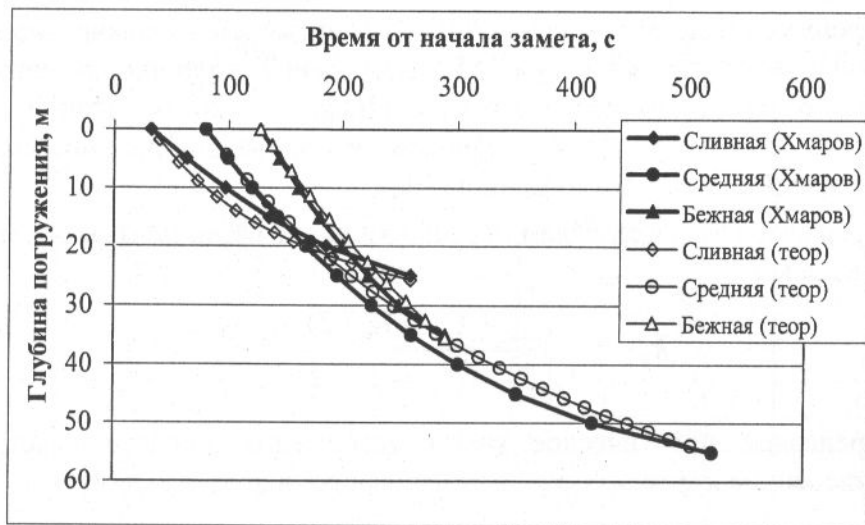


Рис. 4. Кинематика погружения различных участков нижней подборы кошелькового невода 400x80 м.  
Fig. 4. Immersing of various sites bottom line of purse seine 400x80 m.

Сравнение экспериментальных и теоретических значений кинематики погружения показывает, что относительная погрешность не превышает 10%, поэтому можно утверждать, что применение предложенных уравнений (12-19) позволяет с достаточной точностью определять глубину погружения различных участков нижней подборы кошелькового невода.

Используя вышеприведенную методику, приведем пример расчета кинематики погружения нижней подборы для кошелькового невода 1100x200 пр. 197 КЭБ. Экспериментальные значения времени погружения центрального участка нижней подборы этого невода для определения нормирующего коэффициента (19) будем находить по модели Н.Л. Великанова (2002). Выбор именно этой модели обусловлен тем, что она включает наибольшее количество параметров, определяющих процесс погружения кошелькового невода, и расчеты по ней соответствуют экспериментальным данным, полученным с применением современно оснащенных кошельковых неводов.

Алгоритм расчета кинематики погружения различных участков нижней подборы следующий.

1. Используя формулы (12-18), рассчитываем теоретические значения глубины погружения нижней подборы, например, для участков, находящихся от пятного кляча на расстояниях  $X_{n1}=100$  м,  $X_{n2}=300$  м,  $X_{n3}=550$  м,  $X_{n4}=800$  м и  $X_{n5}=1000$  м. При этом длину цепной линии  $S$  находим из уравнения (16) для  $f = H_{n(max)}$  и  $L = L_n$ . В результате получаем матрицу  $H_{ni}(X_{nj}) = f(t_{i(ц.л.)})$ , где  $i$  – индекс, показывающий разбиение времени погружения участка нижней подборы на максимальную глубину (для каждого участка  $i$  имеет свое значение);  $j$  – индекс, показывающий разбиение длины нижней подборы на участки (в нашем случае  $j = 5$ ).

2. Выполняем приведение теоретического времени погружения каждого участка ко времени погружения центральной части нижней подборы:



$$t'_{i(y.l.)}(X_{nj}) = t_{i(y.l.)}(X_{nj}) \frac{t_{\max(y.l.)}(X_n = L_n / 2)}{t_{\max(y.l.)}(X_{nj})}. \quad (20)$$

3. По формуле Н.Л. Великанова (2002) рассчитываем практическое время  $t_{n(max)}$  погружения среднего участка ( $X_{n3} = 550$  м) нижней подборы на максимальную глубину, равную высоте невода в посадке ( $H_{n(max)} = 120$  м). При этом весовые характеристики сетного полотна выбираем из Справочника по сетеснастным материалам и промысловому вооружению (1989).

4. По формуле (19) определяем нормирующий коэффициент, который в данном случае выразится как:

$$k_{V_n} = \frac{t_{n(max)}(X_n = L_n / 2)}{t_{\max(y.l.)}(X_n = L_n / 2)}, \quad (21)$$

5. Определяем практическое время погружения каждого участка нижней подборы, приведенное к моменту схода этого участка в воду при замете:

$$t_{ni}(X_{nj}) = k_{V_n} t'_{i(y.l.)}(X_{nj}) + X_{nj} / V_c \quad (22)$$

6. Находим вид зависимости глубины погружения от времени для каждого участка. В данном случае эти зависимости хорошо аппроксимируются функциями вида:

$$H_n = \frac{a + b(t_n - C)}{c + d(t_n - C)}, \quad (23)$$

где  $C = X_n / V_{c(ср)}$ . Коэффициенты уравнения (23) для пяти участков кошелькового невода 1100x200 пр. 197 КЭБ приведены в таблице 3.

Таблица 3. Коэффициенты уравнения (23).

Table 3. Factors of the equation (23).

Участок	a	b	c	d	C	Коефф. корреляции	Отн. погрешность
X <sub>n</sub> =100	0,097	0,395	0,980	0,0090	20	0,999	0,12%
X <sub>n</sub> =300	-0,027	0,357	1,084	0,0030	60	0,999	0,16%
X <sub>n</sub> =550	-0,141	0,295	1,291	0,0010	110	0,999	0,14%
X <sub>n</sub> =800	-0,253	0,134	1,044	0,0004	160	0,999	1,96%
X <sub>n</sub> =1000	-0,221	0,044	1,020	0,0002	200	0,999	0,84%

7. По формуле (23) с учетом данных таблицы 3 вычисляем истинные значения глубины погружения каждого участка нижней подборы в зависимости от времени с момента отдачи невода (табл. 4).

При расчете данных таблицы 4 полагали, что кошелькование невода не производится до полного погружения центральной части нижней подборы.

Определившись с методом расчета кинематики погружения нижней подборы кошелькового невода, рассмотрим методы определения вероятности выхода рыбы из зоны облова на различных этапах замета и кошелькования невода.

**Таблица 4.** Кинематика погружения различных участков нижней подборы кошелькового невода 1100x200 пр. 197 КЭБ.

**Table 4.** Kinematics of immersing of various sites bottom line of purse seine 1100x200 m.

$t_n$ (сек)	$t_n$ (МИН)	Глубина погружения, м				
		$X_n=100$ м	$X_n=300$ м	$X_n=550$ м	$X_n=800$ м	$X_n=1000$ м
0	0,0					
20	0,3	0,0				
60	1,0	11,9	0,0			
100	1,7	18,7	12,0	0,0		
120	2,0	21,1	17,2	2,2		
160	2,7	24,8	26,3	10,8	0,0	
200	3,3	27,5	34,1	18,9	4,8	0,0
240	4,0	29,5	40,8	26,4	9,7	1,5
300	5,0	31,8	49,3	36,7	16,7	4,1
360	6,0	33,4	56,4	46,0	23,5	6,6
420	7,0	34,7	62,3	54,5	29,9	9,1
480	8,0	35,7	67,3	62,3	36,1	11,5
540	9,0	36,5	71,7	69,4	42,0	13,9
600	10,0	37,1	75,5	76,0	47,6	16,3
660	11,0	37,7	78,8	82,1	53,1	18,6
720	12,0	38,2	81,8	87,7	58,3	20,9
780	13,0	38,6	84,5	93,0	63,3	23,1
840	14,0	38,9	86,8	97,8	68,1	25,3
900	15,0	39,3	89,0	102,4	72,8	27,5
960	16,0	39,5	90,9	106,7	77,2	29,6
1020	17,0	39,8	92,7	110,7	81,6	31,7
1 080	18,0	40,0	94,3	114,4	85,7	33,8
1140	19,0	40,2	95,8	118,0	89,7	35,8
1200	20,0	40,4	97,2	121,3	93,6	37,8

3. Вероятность выхода рыбы из зоны облова в процессе замета и кошелькования невода

3.1. Вероятность выхода рыбы под нижней подборой невода в процессе замета

Предположим, что косяк имеет форму эллипса с размерами полуосей  $a$  и  $b$ , верхняя кромка которого находится на глубине  $H_{p1}$ , а нижняя – на глубине  $H_{p2}$ , причем глубина расположения нижней кромки косяка является максимальной для данного вида рыбы и гидрологических условий (рис. 5). Предположим далее, что в момент подхода косяка к стенке невода, нижняя подбора погрузилась на глубину  $H_n$ . Тогда вероятность выхода косяка под нижней подборой кошелькового невода можно оценить величиной:

$$P_1 = 1 - \frac{S_{сез}}{S_p}, \quad (24)$$

где  $S_{сез}$  – площадь сегмента, образованного сечением эллипса линией нижней подборы невода (на рисунке 5 – затененная часть эллипса),  $m^2$ ;  $S_p$  – площадь сечения косяка, представляющего эллипс,  $m^2$ .

Анализируя выражение (24), видим, что вероятность выхода рыбы под нижней подборой невода увеличивается при малых размерах косяка и уменьшается при увеличении площади сегмента. При этом соблюдаются условия: если  $H_{p1} - H_n \geq 0$ , то  $P_1 = 1$ ; если  $H_{p2} - H_n \leq 0$ , то  $P_1 = 0$ .

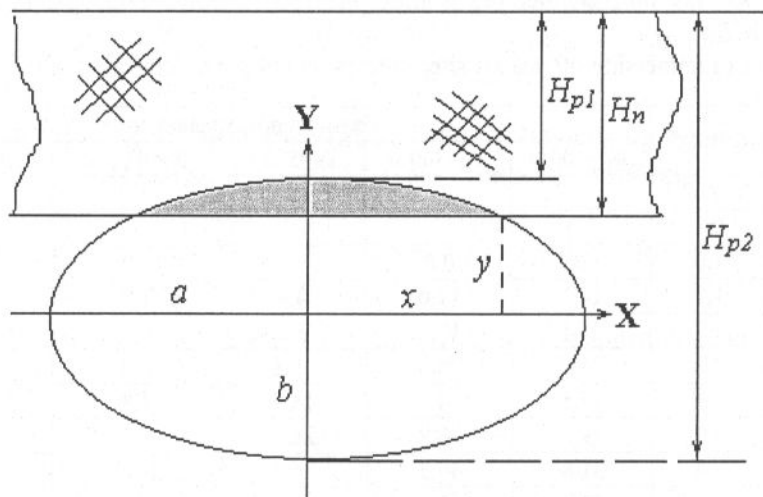


Рис. 5. К оценке вероятности выхода косяка под нижней подборой кошелькового невода.  
 Fig. 5. To an estimation probability of fish jamb exit under bottom line of purse seine.

Площади сегмента и эллипса представляются известными выражениями:

$$S_{сез} = ab \arccos \frac{y}{b} - xy, \quad (25)$$

$$S_p = S_{элл} = \pi ab, \quad (26)$$

где  $x, y$  – координаты точки пересечения эллипса линией нижней подборы невода, м; при этом за начало координат принята точка пересечения осей эллипса.

Из рисунка 5 ординату  $y$  найдем из соотношения:

$$y = b - (H_n - H_{p1}). \quad (27)$$

Абсцисса  $x$  определится из известного в математике выражения:

$$x = \sqrt{\frac{a^2(b^2 - y^2)}{b^2}}. \quad (28)$$

Подставляя (27) и (28) в (25), а затем (25) и (26) в (24) окончательно получим:

$$P_1 = 1 - \frac{ab \arccos \frac{b - H_n + H_{p1}}{b} - \sqrt{\frac{a^2 [b^2 - (b - H_n + H_{p1})^2]}{b^2}} (b - H_n + H_{p1})}{\pi ab}, \quad (29)$$

где  $H_n$  рассчитывается по формуле (23) для той части невода, где возможен выход рыбы под нижней подборой (табл. 4), при этом полагаем, что время погружения невода равно времени хода косяка до точки возможного выхода из зоны облова:  $t_n = t_p$ .

### 3.2. Вероятность выхода рыбы в «ворота» невода в процессе замата

Предположим, что в момент подхода косяка к «воротам» невода горизонтальные размеры «ворот» составили: на поверхности воды  $AB=L_6$ ; на уровне верхней кромки косяка  $A_1B_1$ ; на уровне нижней кромки косяка  $CD$  (рис. 6).

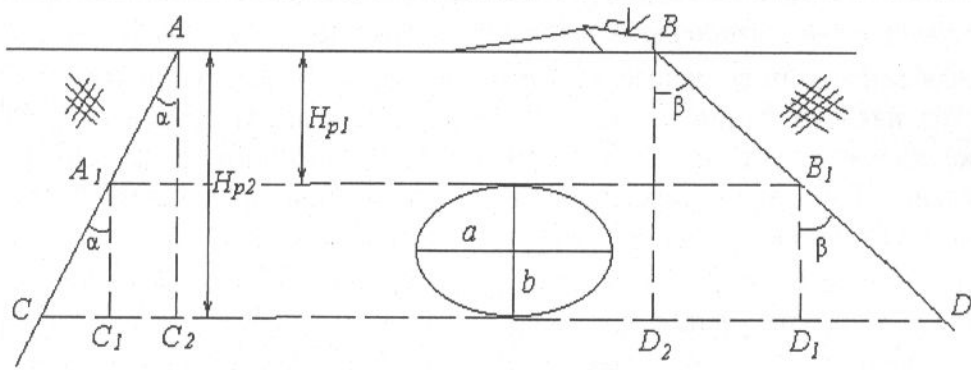


Рис. 6. К оценке вероятности выхода косяка в «ворота» кошелькового невода.  
 Fig. 6. To an estimation probability of fish jamb exit in «gate» of purse seine.

На рисунке 6 точка  $A$  является пятной частью невода, а точка  $B$  – бежной, а сечение пространства «ворота» представляется трапецией  $ABCD$ .

Тогда вероятность выхода косяка в «ворота» кошелькового невода можно оценить величиной:

$$P_2 = 1 - \frac{S_p}{S_e}, \quad (30)$$

где  $S_e$  – площадь «ворота» невода, которая определяется площадью трапеции  $ABCD$ ,  $m^2$ .

Анализируя выражение (30), видим, что вероятность выхода рыбы из зоны облова на этом этапе заметно увеличивается при увеличении площади сечения «ворота» и уменьшается при увеличении размеров косяка. При этом соблюдается условие: если  $S_p \geq S_e$ , то  $P_2 = 0$ .

Площадь трапеции  $ABCD$  после некоторых преобразований нашли в виде:

$$S_{ABCD} = \frac{H_{p2} [2L_e + H_{p2} (tg\alpha + tg\beta)]}{2}, \quad (31)$$

Подставляя (26) и (31) в (30), получим:

$$P_2 = 1 - \frac{2\pi ab}{H_{p2} [2L_e + H_{p2} (tg\alpha + tg\beta)]} \quad (32)$$

Углы  $\alpha$  и  $\beta$  определяются особенностями кинематики погружения нижней подборы невода (табл. 4). Зная глубину погружения пятной ( $H_{nA}$ ) и бежной ( $H_{nB}$ ) частей невода на момент времени подхода косяка к пространству «ворота», можно определить углы наклона линии нижней подборы к урезу воды:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{H_{nA}}{X_{nA}}, \quad \beta_1 = \arctg \frac{H_{nB}}{X_{nB}} \quad (33)$$

где  $X_{nA}$ ,  $X_{nB}$  – ординаты точек, для которых рассчитывали погружение (например,  $X_{nA} = 100$  м;  $X_{nB} = 1000$  м).

Тогда из рисунка 6 следует:

$$\alpha = 90 - \arctg \frac{H_{nA}}{X_{nA}}, \quad \beta = 90 - \arctg \frac{H_{nB}}{L_n - X_{nB}} \quad (34)$$

3.3. Вероятность выхода рыбы под килем судна в процессе кошелькования невода

Особенность этого процесса лова заключается в том, что при выборке стяжного троса угол наклона линии нижней подборы к урезу воды стремится к  $90^0$ , что на практике соответствует ситуации, когда две ветви стяжного троса выходят из воды параллельно. При этом нижняя подбора в пятной и бежной частях невода практически сходятся и «ворота» закрываются.

Траекторию схождения нижних подбор в процессе кошелькования исследовали китайские и японские ученые (Lio, Sato, 1984). В результате для невода с радиусом нижней подборы  $R_n = 50$  м и максимальной глубиной погружения  $H_{n(max)} = 60$  м ими выявлена экспериментальная зависимость координат движения нижней подборы ( $X_S, Y_S$ ) от отношения длины выбранной части стяжного троса  $L_{Si}$  к его полной длине  $L_S$  (табл. 5).

Таблица 5. Траектория движения нижней подборы в процессе кошелькования (по: Lio, Sato, 1984).

Table 5. Trajectory of movement the bottom line in process of pursing (On: Lio, Sato, 1984).

$k_{L_S} = L_{Si} / L_S$	$X_S, \text{ м}$	$Y_S, \text{ м}$	$k_{X_S} = X_S / R_n$	$k_{Y_S} = Y_S / H_{n(max)}$
0	43	0	0,86	0
0,21	35	2	0,7	0,033
0,32	28	3,5	0,56	0,058
0,42	22	7	0,44	0,117
0,53	15	11	0,3	0,183
0,63	10	15,5	0,2	0,258
0,74	6	21,5	0,12	0,358
0,84	0	29	0	0,483
0,9	0	35	0	0,583
0,95	0	45	0	0,75
1	0	54	0	0,9

Так как кошелькование производится за две ветви стяжного троса с одинаковой скоростью, то движение пятного и бежного участков нижней подборы при кошельковании можно считать идентичными. Поэтому в таблице 5 показаны координаты точек при движении только пятного участка подборы. В таблице видно, что сближение подбор наступает при выборке около 84% стяжного троса ( $k_{L_S} = 0,84$ ), при этом нижняя подбора находится на глубине  $H_n = 60 - 29 = 31 \text{ м} = 0,517 H_{n(max)}$ .

Используя отношения  $k_{X_S}$  и  $k_{Y_S}$ , можно определить координаты движения нижней подборы любого другого невода в процессе кошелькования:

$$X_S = k_{X_S} R_n \quad Y_S = k_{Y_S} H_{n(max)} \quad (35)$$

Для удобства расчетов нашли следующие аппроксимации с корреляцией не ниже 0,997 и относительной погрешностью не выше 6,8%:

$$k_{X_S} = -1.05k_{L_S} + 0.88 \quad (\text{для } 0 < k_{L_S} < 0,84) \quad (36)$$

$$k_{Y_S} = \frac{-0.001 + 0.025k_{L_S}}{0.116 - 0.089k_{L_S}} \quad (\text{для } 0 < k_{L_S} < 1) \quad (37)$$

Угол наклона к вертикали пятного и бежного участков нижней подборы на этапе кошелькования можно вычислить по формуле:

$$\alpha = \beta = \text{arctg} \frac{X_S}{H_{n(max)} - Y_S} \quad (38)$$

Вероятность выхода рыбы под килем судна в процессе кошелькования находим из выражения (32), при этом полагаем, что этот процесс наступает после погружения центрального участка нижней подборой на полную глубину, а величина «ворот» на поверхности воды  $L_e = 0$ . Необходимо иметь в виду, что этап кошелькования невода происходит за время:

$$t_{\text{кош}} = \frac{L_S}{2V_{S(\text{кош})}}, \quad (39)$$

где  $V_{S(\text{кош})}$  – скорость выборки одной ветви стяжного троса при кошельковании, м/с.

#### 4. Влияние вертикального размера и скорости косяка на вероятность выхода рыбы из зоны облова

Анализ выражений (29) и (32) показывает, что основными параметрами косяка, определяющими вероятность выхода рыбы из зоны облова, являются скорость его движения и размеры, причем, при одинаковом объеме косяка, основное значение имеет его вертикальный размер.

Рассмотрим следующие этапы лова и пути выхода рыбы из зоны облова: «а» – выметывание половины невода, и выход косяка под нижней подборой в ТОК; «б» – выметывание всей длины невода и выход косяка в створ «ворот»; «с» – кошелькование невода и выход косяка в «ворота» под корпусом судна. Суммарную вероятность облова косяка определим для случая ухода рыбы на нескольких этапах различными путями (Грачев, Мельников, 2003) из выражения:

$$P = 1 - p_a p_b p_c, \quad (40)$$

где  $p_a, p_b, p_c$  – вероятности ухода рыбы на этапах лова  $a, b$  и  $c$ .

Относительная величина улова и вероятность облова в зависимости от вертикального размера и скорости косяка показаны на рисунках 7 и 8.

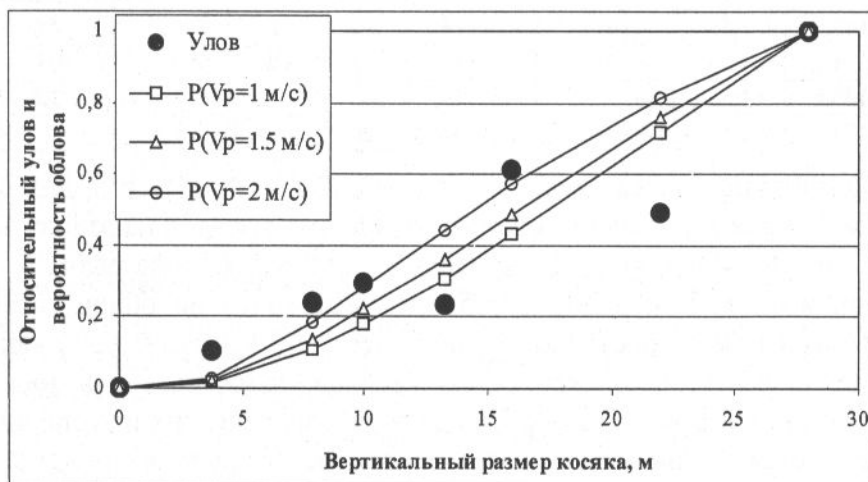


Рис. 7. Улов и вероятность облова в зависимости от размера косяка.  
Fig. 7. Catch and catching probability depending on the size of fish jamb.

Зависимость улова от размера и скорости косяка на рисунках 7 и 8 получена по результатам наших экспериментальных работ на кошельковом промысле тихоокеанской сардины. Сравнение показывает качественное сходство экспериментальной и теоретической зависимости от вертикального размера косяка (рис. 7): относительная погрешность здесь составляет 18,3%. Экспериментальная и теоретическая зависимости от скорости движения косяка (рис. 8) имеют сходство

только при скорости косяка до 2,5 м/с, а далее экспериментальные и расчетные данные расходятся.

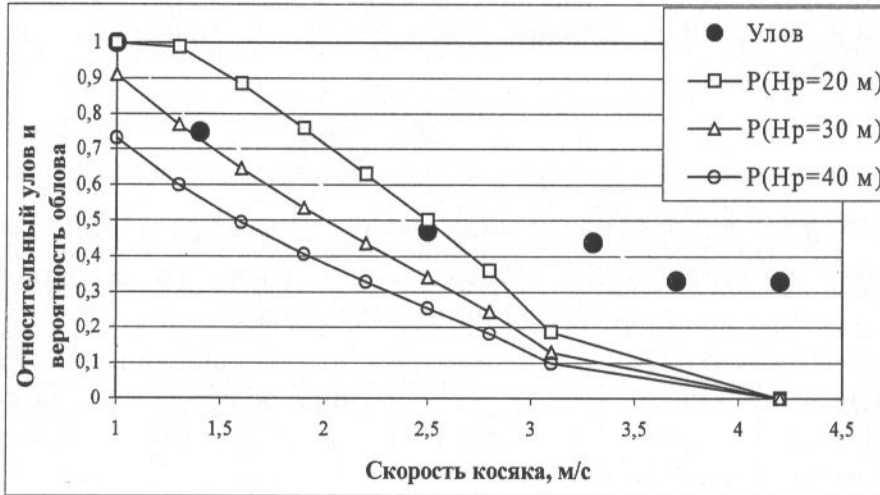


Рис. 8. Улов и вероятность облова в зависимости от скорости косяка.  
 Fig. 8. Catch and catching probability depending on the speed of fish jamb.

Используя вышеприведенную методику и принимая оптимальной траекторию замета по эллипсу с отношением  $a_z/b_z=1,55$ , рассчитали предельные скорости косяка, при которых вероятность его выхода из зоны облова на различных этапах замета становится равной 100% (табл. 6).

Таблица 6. Скорость косяка для 100 % выхода рыбы из зоны облова.  
 Table 6. Speed of jamb for 100 % exit of fish from catching zone.

$a_z$ , м	$b_z$ , м	$a_z/b_z$	$X_{po}$ , м	$Y_{po}$ , м	$q_0$ , град	$D_0$ , м	$L_0$ , м	Этап замета		
								a	b	c
								Скорость косяка, м/с		
220	142,0	1,55	-120	0	78	80	0	2,6	2,6	2,6
238,2	153,7	1,55	-120	0	82	98	74	2,8	2,9	2,1
256,5	165,6	1,55	-120	0	84	116	144	3,1	3,2	1,8
274,8	177,4	1,55	-120	0	87	133	209	3,3	3,5	1,7

Данные таблицы 6 показывают, что чем больше в процессе замета оставляются «ворота», тем больше вероятность облова подвижных косяков на этапах замета «а» и «б». Однако, при этом «скоростной предел» косяка для выхода рыбы в «ворота» на этапе «с» понижается. Как видно в таблице, теоретический облов косяка неводом 1 100 м возможен при скорости косяка не более 3,3-3,5 м/с. Однако, как следует из рисунка 8, на практике возможен облов косяков, движущихся в зоне облова со средней скоростью 4-4,5 м/с. Такое расхождение теоретических и экспериментальных данных объясняется, по-видимому, тем, что скорость косяка в процессе его облова кошельковым неводом не остается постоянной. Поэтому для более точного определения вероятности выхода рыбы из зоны облова необходимы данные о поведении (изменении скорости движения) косяка при обмете его кошельковым неводом. При этом методы расчета вероятности выхода рыбы из зоны облова, предложенные в настоящей работе и учитывающие кинематику погружения различных участков нижней подборы в процессе замета и кошелькования невода, могут быть вполне приемлемыми.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев Н.Н.* Проектирование кошельковых неводов. М.: Пищевая промышленность, 1970. 277 с.
- Андреев Н.Н., Трахтенгерц А.Г.* О скорости погружения нижней подборы кошельковых неводов // Тр. Калрыбвтуза. Вып. XI. 1960.
- Баранов Ф.И.* Теория и расчет орудий рыболовства. М.: Пищепромиздат, 1948. С. 360-383.
- Баранов Ф.И.* Техника промышленного рыболовства. М.: Пищепромиздат, 1960. 696 с.
- Баранов Ф.И.* Избранные труды. Том 1. Техника промышленного рыболовства. М.: Пищевая промышленность, 1969. 720 с.
- Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике. М.: Наука, 1964. 975 с.
- Великанов Н.Л.* Механика кошелькового лова рыбы. Калининград: КГТУ, 2001. 166 с.
- Великанов Н.Л.* Механика кошелькового невода: Автореферат диссертации на соиск. уч. степени доктора техн. наук. Калининград, 2002. 47 с.
- Виноградов Н.Н.* Скорость погружения нижней подборы кошельковых неводов // Тр. АзчерНИРО. Вып. 14. М.: Пищепромиздат, 1950.
- Гиренко В.Н.* Некоторые результаты натурных испытаний промысловых конструкций сельдевых кошельковых неводов // За дальнейшее развитие кошелькового лова рыбы. Владивосток: ЦБТИ, 1962.
- Гостомыслов Л.П.* Кошельковый лов. Вероятность успеха при замете. Владивосток: ОНТИ ЦПКТБ «Дальрыба», 1975. 58 с.
- Гостомыслов Л.П.* Способы замета кошелькового невода. Владивосток: Дальиздат, 1977. 43 с.
- Грачев А.А., Мельников В.Н.* Разработка и применение математических моделей для повышения эффективности лова рыбы // О.И. «Промышленное рыболовство и флот». Вып. 1. М.: ВНИЭРХ, 2003. 50 с.
- Войниканис-Мирский В.Н.* Техника промышленного рыболовства. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 487 с.
- Иванов А.А., Прус С.А., Куклин В.И. и др.* Наставление по использованию кошельковых неводов на судах типа СРТМ-800, СТР-1320, СТ-800, ССТ-5200 и РС-300. Владивосток: ЦПКТБ «Дальрыба», 1981. 92 с.
- Князькин И.Я., Ульянов В.В.* Пустые и аварийные заметы кошельковых неводов и пути их устранения. Владивосток: ДВ книжное издательство, 1972. 30 с.
- Кручинин О.Н.* Схемы и математические модели замета кошелькового невода // Изв. ТИНРО. 2005. Т. 142. С. 330-348.
- Кручинин О.Н., Кузнецов Ю.А.* Методика оценки параметров поведения рыб в зоне замета кошелькового невода. Владивосток: Дальрыбвтуз, 1985. 36 с.
- Лисовой А.П.* Принципиальная схема проведения замета кошелькового невода при акустической наводке. В сб. Орудия океанического рыболовства. Труды. Вып. 32. Калининград: АтлантНИРО, 1971. С. 150-156.
- Мельников В.Н., Лукашов В.Н.* Техника промышленного рыболовства. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 312 с.
- Ольховский В.Е., Яковлев В.И., Меньшиков В.И.* Математическое обеспечение автоматизации тралового и кошелькового лова. М.: Пищевая промышленность, 1980. 168 с.
- Орудия лова среднетоннажного флота.* П-Камчатский: КЭБ промысловства, 1986. 159 с.
- Розенштейн М.М.* Механика орудий рыболовства. Калининград: КГТУ, 2000. 363 с.
- Справочник по сетеснастным материалам и промысловому вооружению.* Владивосток: Дальрыба, 1989. 209 с.
- Степанов Г.Н.* Скорость погружения нижней подборы высокостенных кошельковых неводов // Тр. ВНИРО. 1966. Т. 61. С. 325-340.



*Хмаров В.В.* Исследование рабочей формы кошельковых неводов в процессе погружения нижней подборы // Канд. диссертация. Владивосток: ТИПРО, 1967. 147 с.

*Ben-Yami M.* Purse Seining Manual. Fishing New Books, 1994. 406 p.

*Lio D.C., Sato O.* Configuration of leadline of purse seine during pursing. Bull. Fac. Fisheries. Hokkaido. 1984. V. 35. №4. Pp. 234-242.

*Namura M., Mori K., Osawa Y., Hayama Y., Tawara Y.* Study on Behaviour of Purse Seine // B.T.L. 1967. №49.

## PROBABILITY OF CATCHING FISHES BY PURSE SEINE

© 2010 y. O.N. Kruchinin, V.S. Babenko

*Pacific Research Fisheries Center, Vladivostok*

The possible ways of fish exit from zone of catching by purse seine are considered and the formulas for account of probability of catching fishes in process encircles and purse the net are deduced. It is shown, that the probability of catching depends on speed of immersing the bottom line of purse seine. The technique of account of immersing of various sites of the bottom line is offered, and the dependence of probability of catching from the form encircles, size and speed of fish jump movement is determined. The convergence of the theoretic data with the data of experimental observations on catching sardine by purse seine is shown. The received results can be used for a tentative estimation of productivity of purse seine, and also for perfection of imitating models, on the basis of which are developed imitators of processes of catching by purse seine.

*Key words:* purse seine, speed of immersing the bottom line of purse seine, probability of catching fishes.