ТРУДЫ ВНИРО

т. 122

ТОМ CXXII

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОРУДИЙ ЛОВА

ALL-UNION RESEARCH INSTITUTE OF MARINE FISHERIES AND OCEANOGRAPHY
(VNIRO)

PROCEEDINGS VOLUME CXXII

DESIGNING OF FISHING GEAR

MOSCOW, 1977

639.2
Т78

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МОРСКОГО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ
(ВНИРО)

ТРУДЫ ТОМ CXXII

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОРУДИЙ ЛОВА

МОСКВА, 1977

УДК 639.2.081.1.001.2.

Редакционная коллегия:

Н.Н.Андреев (ответственный редактор)
И.Б.Буханевич, М.Я.Драпацкий, В.Н.Советов

Editorial Board:

N.W.Andreev (Chief Editor)
I.B.Bukhanevich, M.Ja.Drapatsky,
V.N.Sovetov

ВНИРО
№ 47717
Библиотека

(С ; ОНТИ, ВНИРО, 1977

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

Н.Н. А н д р е е в. Геометрические свойства сетного полотна с шестиугольной ячеей. 5

В.Н. С о в е т о в. Некоторые вопросы технологии изготовления тралов. 4I

Н.Н. А н д р е е в. К теории лова рыбы тралирующими орудиями. 58

Н.Н. А н д р е е в. Об одном случае деформации прямоугольного сетного полотна. 77

Н.Н. А н д р е е в. Общие принципы проектирования рыболовных ловушек. 9I

Р е ф е р а т ы. I09

C O N T E N T S

Page

A n d r e e v,N.N., V.G.L u b i m o v. Geometric features of the netting with hexagonal meshes. 5

S o v e t o v,N.N. Some technological problems of making trawls. 41

A n d r e e v,N.N. To the theory of trawling . . . 58

A n d r e e v,N.N. On certain instance of deformation of rectangular netting 77

A n d r e e v,N.N. General principles of designing traps 91

A b s t r a c t s 109

Том CXXII

Труды
Всесоюзного научно-исследовательского института
морского рыбного хозяйства и океанографии
(ВНИРО)

1977

УДК 639.2.081.II

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕТНОГО ПОЛОТНА С ШЕСТИУГОЛЬНОЙ ЯЧЕЕЙ

Н.Н.Андреев,В.Г.Любимов

Применение при строительстве тралов крупноячейных сетных полотен показало, что в работе при лове по дну или у дна они часто рвутся, что объясняется их низкой местной прочностью (Баранов,1960).Кроме того,такие сетные полотна и в изготовлении,и в эксплуатации оказались менее удобны,чем обычное сетное полотно.Это побудило специалистов искать новые конструктивные решения проблемы проектирования крупноячейных тралов.Логическим развитием конструирования таких тралов явилось создание так называемых канатных тралов, у которых устьевая часть сделана из сетного полотна с шестиугольными ячеями (Андреев, Любимов,1975).

Наличие шести сторон позволяет широко видоизменять форму ячеи не только применением различных посадочных коэффициентов, но и путем изменения отношения $a_2:a_I$. Кроме того,шестиугольная ячея не обладает такой симметрией, какой обладает ромб. Поэтому расположение ячеи относительно сил, действующих на орудие лова (например, сопротивление воды, сила тяги и т.д.), может иметь существенное влияние на все его технико-экономические показатели (стоимость сетематериалов, уловистость, деформация и т.д.). Одно из преимуществ сетных полотен с шестиугольными ячеями перед обычными рыболовными сетями состоит в том, что шестиугольная ячея дает возможность широко варьировать различными параметрами для наилучшего удовлетворения требованиям, предъявляемым к орудию лова (рис.I). На рис.Iа отношение $a_2:a_I$ равно 0,I5, а на рис.Iб - 3,5. Эти отношения и расположения ячей соответствуют примерно тем, которые применяются при строительстве тралов.

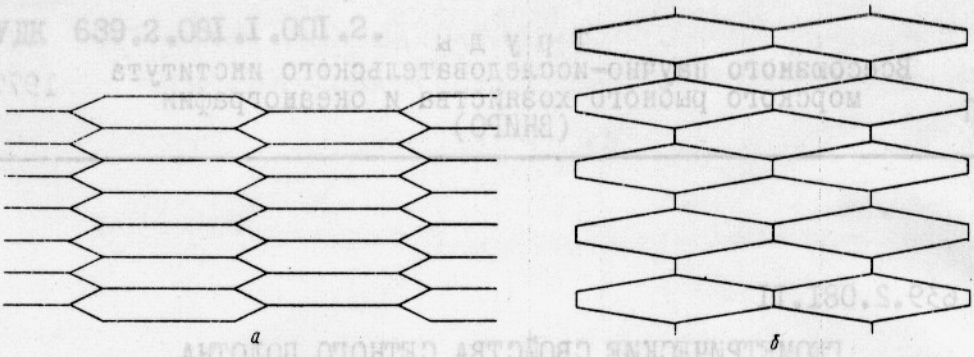


Рис.I. Форма и расположение шестиугольной ячеи с горизонтально (а) и вертикально (б) расположенной стороной a_2

Для правильной ориентации при проектировании тралов и других орудий лова из сетного полотна с шестиугольными ячеями необходимо установить основные соотношения между различными элементами ячеи и сети, сравнить их геометрические свойства с геометрическими свойствами обычного (с ячеями в виде ромбов) рыболовного сетного полотна.

Посадочные коэффициенты

В обычной сети с ромбовидной ячеей имеется два конструктивных элемента: шаг ячеи и посадочный коэффициент, равный отношению диагонали ромба к шагу ячеи. Заданием посадочного коэффициента фиксируется форма ячеи - ромба. Следовательно, посадочный коэффициент эквивалентен размеру диагонали. Однако для расчетов форму ромбов удобнее задавать не длиной диагонали, а ее отношением к шагу ячеи. Поэтому в дифференциальное уравнение, описывающее форму сетного полотна, посадочный коэффициент должен входить как функция координат (Андреев,1970, Зонов,1971). В шестиугольной ячее форму можно задать тремя элементами: размером сторон (одна из них должна входить в пару параллельных сторон, а другая - не должна) и длиной одной диагонали. Каждая ячея имеет два посадочных коэффициента: горизонтальный и вертикальный. Условимся в дальнейшем обозначать их соответственно через U_x и U_y.

Таким образом, в шестиугольном сетном полотне имеется две постоянные величины - длины сторон a_1 и a_2. Длина диагонали CB (рис.2), фиксирующая форму ячеи (или диагонали AD), - переменная величина, зависящая от формы сетного полотна и текущих координат. В этом смысле она имеет то же значение, что

и длина диагонали в обычном ромбовидном сетном полотне, в связи с чем ее также целесообразно заменить безразмерной величиной, эквивалентной посадочному коэффициенту. Это можно сделать тремя способами.

Во-первых, вертикальный[x)] посадочный коэффициент можно задать отношением (Андреев, Любимов,1975)

$$U_y = \frac{CB}{2a_1 + a_2} .$$

В этом случае при деформации сетного полотна один из элементов ячеи (вертикальная сторона a_2), входящий в понятие посадочного коэффициента, будет оставаться неизменным как по величине, так и по направлению.

Во-вторых, посадочным коэффициентом можно назвать величину, равную отношению

$$U_y = \frac{CB - a_2}{2a_1} .$$

В этом случае в понятие посадочного коэффициента входят только наклонные стороны ячеи, и угол между ними и вертикалью изменяется при изменении величины посадочного коэффициента.

Наконец, в-третьих, посадочный коэффициент можно вычислить по формуле

$$U_y = \frac{CB + a_2}{2(a_1 + a_2)} ,$$

структура которой тесно связана со способом измерения ширины сетного полотна в ячеях.

Для выбора способа определения вертикального посадочного коэффициента решающее значение имеет сравнительная простота расчетов пространственных форм сетного полотна. Этот вопрос тесно связан с определением длины сетного полотна в посадке по его размерам в жгуте.

Размер в жгуте может быть дан длиной в метрах или количеством ячей. Поэтому необходимо установить способ подсчета количества ячей. На первый взгляд этот вопрос может показаться элементарным. Однако даже при подсчете ячей более простой

x) В дальнейшем во избежание недоразумений вертикальным посадочным коэффициентом будем называть тот,который показывает меру сокращения против жгута диагонали ячеи,имеющей то же направление,что и параллельные стороны ячеи(вдоль диагонали CB).

формы (в обычных сетях) обнаруживаются неточности (Андреев, 1949), а применительно к крупноячейным орудиям лова эти неточности могут перерасти в существенные ошибки.

В принципе возможны два способа счета ячей по длине сети. Если рассматривать ячею изолированно, то, растягивая ее в жгут по высоте, получим длину $2a_1+a_2$. Естественно предположить, что высота сетного полотна в жгуте равна $(2a_1+a_2)m$, где m - количество ячей по высоте сетного полотна. Однако, если сетное полотно, изображенное на рис.3, вытянуть в жгут, его длина окажется равной $3(2a_1+a_2)+2a_2$, что не соответствует формуле ни при $(2a_1+a_2)\bar{m}$, ни при $m=3$, ни при $m=2$.

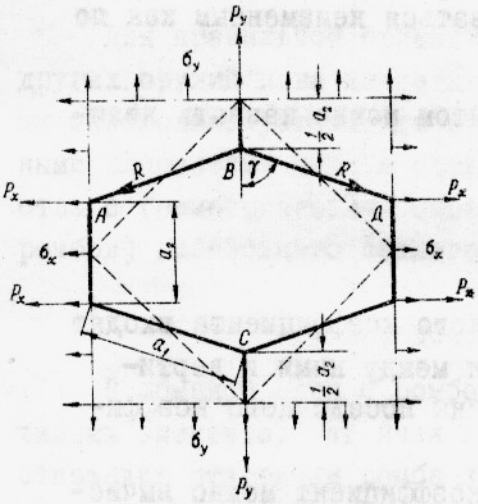


Рис.2. Шестиугольная ячея сетного полотна

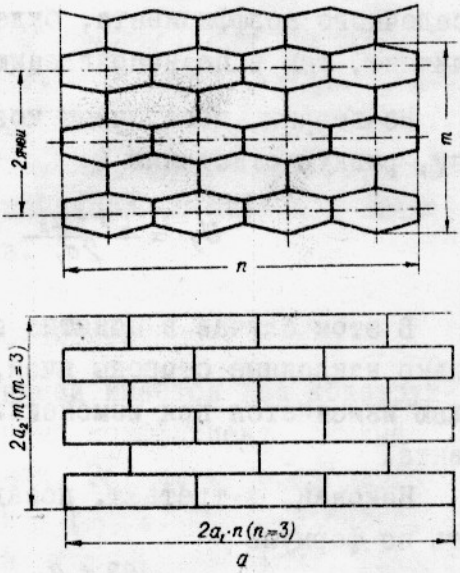
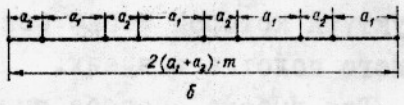


Рис.3. Сетное полотно с шестиугольной ячеей, вытянутое в жгут по вертикали (а) и по горизонтали (б)



Вероятно, считать ячеи в таких сетях целесообразно в соответствии с формулой длины жгута $S=2m(a_1+a_2)$. Это означает, что вертикальные ряды ячей лежат между вертикальными диагоналями, проходящими через середину горизонтальной стороны ячеи (см.рис.3). По этому счету ячеей следует называть фигуру, изображенную на рис.2 с добавлением горизонтальных отрезков длиной по $\frac{1}{2}a_2$. Только в этом случае можно применить дифференциальное определение посадочного коэффициента (Андреев, 1970) и использовать все преимущества, которые дает это понятие для нахождения пространственных форм сетного полотна.

При этом счете ячей вертикальный посадочный коэффициент

$$U_y = \frac{CB + a_2}{2(a_1 + a_2)}.$$

Отсюда $CB = 2U_y(a_1 + a_2) - a_2$. Горизонтальный посадочный коэффициент $U_x = \frac{AD}{2a_1}$. Отсюда $AD = 2U_x a_1$.

Но из рис.2 видно, что $\left(\frac{1}{2}AD\right)^2 + \frac{1}{4}(CB - a_2)^2 = a_1^2$.

Подставив в это выражение значения AD и CB, получим

$$\frac{1}{4}\cdot 4U_x^2 a_1^2 + \frac{1}{4}\left[2U_y(a_1 + a_2) - 2a_2\right]^2 = a_1^2.$$

После элементарных упрощений найдем зависимость между посадочными коэффициентами по двум взаимно перпендикулярным направлениям:

$$U_y = \frac{\sqrt{1 - U_x^2} + z}{1 + z}; \qquad (I)$$

$$U_x = \sqrt{1 - \left[U_y(1 + z) - z\right]^2},$$

где $z = a_2 : a_1$.

Этот вывод сделан в предположении, что диагонали ячей, проходящие через узлы сети (горизонтальные) и середину горизонтальной стороны (вертикальные) в процессе деформации сетного полотна остаются взаимно перпендикулярными. При растягивании сети горизонтальными силами сетное полотно будет деформироваться до тех пор, пока его ячеи не превратятся в прямоугольники, две стороны которых равны a_2, а две других – $2a_1$ (см.рис.3). Если длина сетного полотна составляет n ячей, длина жгута будет равна $2a_1 n$, а ширина – $2ma_2$, где m – высота сетного полотна в ячеях.

При растягивании сети вертикальными силами сетное полотно соберется в жгут, длина которого равна $2(a_1 + a_2)m$ (см.рис.3а).

В этом состоит принципиальное отличие рассматриваемых сетей от обычных сетных полотен, у которых вертикальная деформация тождественна горизонтальной. В результате горизонтальной деформации шестиугольное сетное полотно превращается в обычную канатно-веревочную основу канатных тралов.

Ширина сетного полотна при этом будет равна $2a_2 m$ (см.рис.3б).

Однако с уменьшением размера сторон a_2 форма ячеи приб-

лижается к ромбу, и, следовательно, все свойства новых сетей должны приближаться к свойствам сетей с ромбическими ячеями. Действительно, когда $a_2 = 0$ и сеть превращается в обычную рыболовную сеть с ромбовидными ячеями, равенство (I) превращается в известное из теории орудий лова уравнение

$$U_1^2 + U_2^2 = 1 \qquad U_2 = \sqrt{1 - U_1^2}.$$

Отсюда можно заключить, что по геометрическим свойствам сетное полотно, состоящее из шестиугольных ячей, отличается от сетей Чебышева, к которым принадлежат обычные рыболовные сети, и тем сильнее, чем больше отношения $a_2 : a_1$, т.е. чем больше горизонтальные стороны шестиугольной ячеи. С другой стороны, чем меньше это отношение, тем ближе должны быть эти сети по геометрическим свойствам. В пределе, когда $a_2 = 0$, все формулы, полученные для сетного полотна с шестиугольными ячеями, должны превращаться в формулы, ранее полученные для обычного сетного полотна.

Поведение функции (I) зависит от величины z. Когда $z = 0$, т.е. когда $a_2 = 0$, эти формулы превращаются в формулы круговых функций. С другой стороны, когда $z = \infty$, т.е. когда $a_1 = 0$, $U_y = 1$, а $U_x = 0$. Этот случай невозможен с физической точки зрения, поэтому следует считать, что величина z всегда больше 0, но она не может быть очень большой. Практически все возможные случаи находятся в пределах

$$0 > z < 10.$$

Имея это в виду, из формул (I) получим:

когда $U_y = 1$, $U_x = 0$.

Поскольку по определению наибольшее значение равно I, наименьшее значение U_y равно $\frac{z}{1+z}$. Таким образом, посадочные коэффициенты изменяются в следующих пределах:

$$0 \leqslant U_x \leqslant 1. \qquad 1 \geqslant U_y \geqslant \frac{z}{1+z}. \tag{2}$$

Графическое выражение функции $\frac{z}{1+z}$ представлено на рис.4.

В табл.I и 2 Приложения даны величины посадочных коэффициентов для широкого диапазона значений отношения $a_2 : a_1$. Из этих таблиц видно, что при многих значениях этого отношения (в том числе тех, которые применяются в упомянутых тралах) отклонение посадочных коэффициентов от той величины, которую

они имеют при ромбовидной ячее, не очень велико. Особенно хорошо это видно из рис.5, где левая кривая изображает зависимость U_y от U_x для обычной сети.

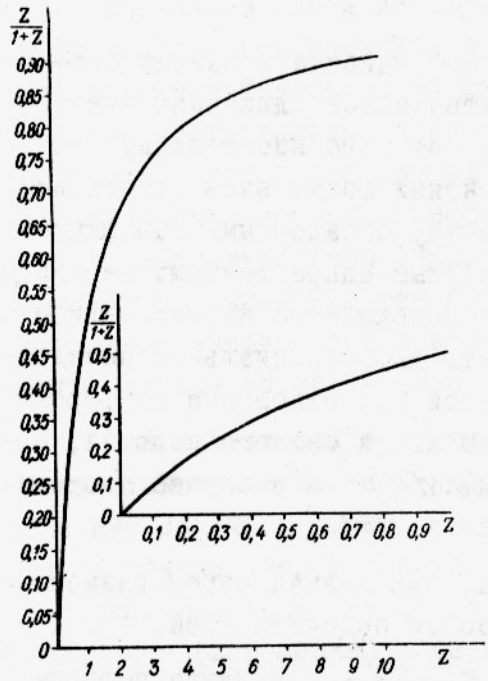


Рис.4. График наименьшего значения посадочного коэффициента

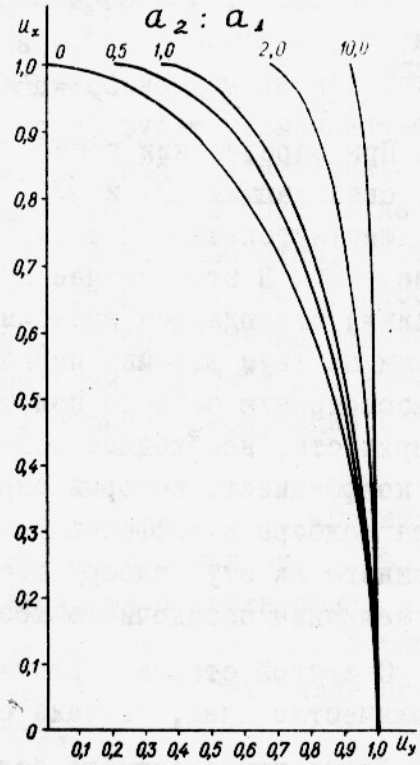


Рис.5. График зависимости $U_x = \sqrt{1-[U_y(1+z)-z]^2}$ для некоторых значений z.

Однако почти при всех значениях U_y это отклонение заметно, особенно в тех случаях, когда величина U_x мала. Поэтому при расчетах сетного полотна с шестиугольными ячеями нельзя пользоваться обычными формулами.

Из рис.5 видно, что сетное полотно с шестиугольной ячеей деформируется меньше, чем обычные сети. Естественно, с увеличением $a_2 : a_1$ формоизменяемость быстро уменьшается. Например, при $a_2 : a_1 = 10$ величина посадочного коэффициента U_y изменяется в очень узком диапазоне: от 0,9I при $U_x = 1,0$ до I,0 при $U_x = 0$ (см. рис.4). Поэтому при проектировании орудий лова из сетного полотна с шестиугольными ячеями необходимо более строго рассчитывать форму. Малая формоизменяемость требует обоснованного выбора посадочного коэффициента и отношения $a_2 : a_1$.

Интересен случай, когда ячея сетного полотна имеет форму равностороннего шестиугольника, т.е. $a_2 : a_1 = 1$. Тогда формулы (I) приобретут вид

$$U_x^2 + 4U_y^2 - 4U_y = 0,$$

отсюда

$$U_x = 2\sqrt{U_y - U_y^2}.$$

При определении посадочного коэффициента и выводе формул, связывающих U_y и U_x рассматривалась одиночная ячея, т.е. шестиугольник, четыре стороны которого имеют длину a_1, а две – a_2. В этом случае при изменении формы ячеи (изменении посадки) соблюдается зависимость между посадочными коэффициентами по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Переходя к рассмотрению сетного полотна, расположенного на какой-либо поверхности, необходимо использовать дифференциальный посадочный коэффициент, который определяется как отношение дифференциала подборы к дифференциалу длины жгута сетного полотна, посаженного на эту подбору т.е. $U = dl : ds$, а в случае постоянной величины посадочного коэффициента $U = l : S$.

С другой стороны, длина жгута, выраженная через размеры и количество ячей, связана со способом подсчета ячей.

Длина жгута сетного полотна $S_x = 2a_1 n$, а длина подборы, на которую посажен этот жгут с посадочным коэффициентом U_x, $l_x = 2U_x n a_1$. Таким образом, $U_x = \frac{l_x}{S_x}$. Этим свойством обладает только посадочный коэффициент, определяемый третьим способом, в чем и состоит основное преимущество этого способа.

Например, при определении посадочного коэффициента первым способом имеем

$$S_y = 2m(a_1 + a_2),$$

а

$$l_y = m[U_y(2a_1 + a_2) + a_2].$$

Отсюда

$$\frac{l_y}{S_y} = \frac{m[(2a_1 + a_2)U_y + a_2]}{2m(a_1 + a_2)} = \frac{U_y(2a_1 + a_2) + a_2}{2a_1 + a_2}.$$

Более того, при определении посадочного коэффициента третьим способом вертикальный посадочный коэффициент подчиняется тому же закону. Поскольку $U_y = \frac{h}{S_y}$, а $S_y = 2m(a_1 + a_2)$, то

$$h = 2m\,U_y(a_1 + a_2).$$

Оптимальные величины U_x, U_y, a_1 и a_2.

Из геометрии известно, что при постоянном периметре наибольшую площадь имеет правильный шестиугольник, т.е. шестиугольник с равными сторонами и углами. Следовательно, с увеличением длины одной из сторон относительно другой вес сетного полотна (единицы условной площади) будет увеличиваться. Поэтому теоретически с точки зрения расхода сетематериалов выгодны шестиугольные ячеи с равными сторонами. Однако на практике могут оказаться эффективными сетные полотна, шестиугольная ячея которых имеет величину отношения $a_2 : a_1$ либо очень небольшую, либо очень большую. Выбор величины отношения $a_2 : a_1$ определяется положением ячеи относительно направления внешних сил и величиной возможной деформации сетного полотна во время лова рыбы.

Для правильной ориентировки при выборе конструктивных элементов шестиугольной ячеи необходимо проанализировать влияние величины посадочного коэффициента и соотношения между сторонами ячеи на расход веревок при изготовлении сетного полотна. Эту величину можно характеризовать отношением площади ячеи (в посадке) к ее периметру.

При обычном способе подсчета ячей и определении посадочного коэффициента периметр ячеи $p = 4a_1 + 2a_2$. Из рис.2 видно, что площадь, которую ячея занимает в сетном полотне,

$$F = AD(CB + a_2).$$

Подставив сюда найденные ранее значения АД и СВ, получим $F = 2a_1 U_x [2U_y(a_1 + a_2) - a_2 + a_2] = 4a_1(a_1 + a_2) U_x U_y$.

Используя зависимость между U_x и U_y, эту формулу можно представить в двух видах:

$$F = 4a_1(a_1 + a_2) U_y \sqrt{1 - [U_y(1+z) - z]^2} = 4a_1(a_1 + a_2) U_x \frac{\sqrt{1 - U_x^2} + z}{1 + z}.$$

Если считать периметр величиной постоянной, легко можно найти, что

$$a_1 = \frac{p}{2z+4}, \quad a_2 = \frac{zp}{2z+4}, \quad a_1 + a_2 = \frac{(1+z)p}{2z+4}.$$

Подставив эти значения в формулу для площади ячеи, получим

$$F = \frac{p^2(1+z)}{(z+2)^2} U_y \sqrt{1 - [U_y(1+z) - z]^2} = \frac{p^2 U_x}{(z+2)^2} \left(\sqrt{1 - U_x^2} + z\right).$$

Из дифференциального исчисления известно, что величины z и U, при которых площадь ячеи максимальна, можно найти, решая совместно два уравнения:

$$\frac{\partial F}{\partial U}=0 \quad и \quad \frac{\partial F}{\partial z}=0.$$

Решим сперва эту задачу, взяв за параметр вертикальный посадочный коэффициент:

$$\frac{\partial F}{\partial U_y}=\frac{p^2(1+z)}{(z+2)^2}\left\{\sqrt{1-[U_y(1+z)-z]^2}+\frac{U_y z(1+z)-U_y{}^2(1+z)^2}{\sqrt{1-U_y^2(1+z)^2+2U_y z(1+z)-z^2}}\right\}.$$

Приравнивая это выражение к нулю и упрощая, получим

$$U_y=\frac{3z\pm\sqrt{z^2\cdot 8}}{4(1+z)}.$$

Так как $U_y>0$, перед радикалом должен стоять знак +. Поэтому

$$U_y=\frac{3z+\sqrt{z^2+8}}{4(1+z)}. \qquad (3)$$

Имея эту величину U_y, по соотношению (I) легко можно найти соответствующую величину U_x. Но можно взять частную производную по U_x и, приравняв ее к нулю, выразить из получающегося уравнения U_x. Естественно, в том и другом случае получим

$$U_x=\sqrt{\frac{(4-z)^2+z\sqrt{z^2+8}}{8}}. \qquad (3')$$

Эти формулы дают связь посадочных коэффициентов U_x и U_y, которые при данной величине z обеспечивают максимальную площадь ячеи, а следовательно, и максимальную площадь сетного полотна. Таким образом, если по каким-либо конструктивным соображениям выбрано расположение ячеи и z, для обеспечения минимального расхода веревочно-канатных изделий посадочные коэффициенты надо определять по формулам (3) и (3').

Формулу (3') можно представить в более изящном виде:

$$z=\frac{2U_x^2-1}{\sqrt{1-U_x^2}}. \qquad (3'')$$

При этих расчетах необходимо иметь в виду, что определяется не площадь самой ячеи, а площадь, которую она занимает в сетном полотне (поэтому периметр ячеи взят не $4a_1+3a_2$, а $4a_1+2a_2$).

Найдем теперь вторую частную производную:

$$\frac{\partial F}{\partial z} = p^2 U_x \frac{(2+z)^2 - 2(2+z)(\sqrt{1-U_x^2}+z)}{(2+z)^4} = 0.$$

Отсюда, упрощая, получим

$$z = 2 - 2\sqrt{1-U_x^2}\,. \qquad (4)$$

Подставив в это выражение значение z из уравнения (3"), будем иметь

$$2 - 2\sqrt{1-U_x^2} = \frac{2U_x^2 - 1}{\sqrt{1-U_x^2}}\,. \qquad (4')$$

Решая это равенство, найдем, что $1 - U_x^2 = \frac{1}{4}$, или $U_x = 0{,}866$. Подставив эту величину U_x в (3"), найдем значение z, при котором отношение $F:p^2$ имеет максимальную величину (z = I).

Оптимальные величины $U_y, U_x, F:p^2$

z	U_y	U_x	$U_x U_y$	$F:p^2$	z	U_y	U_x	$U_x U_y$	$F:p^2$
0,0	0,707	0,707	0,500	0,I25	I,0	0,750	0,866	0,650	0,I444
0,I	0,7II	0,73I	0,520	0,I30	2,0	0,789	0,930	0,734	0,I38
0,2	0,7I6	0,752	0,538	0,I33	3,0	0,820	0,959	0,787	0,I26
0,3	0,720	0,77I	0,556	0,I37	4,0	0,845	0,975	0,823	0,II4
0,4	0,724	0,787	0,57I	0,I39	5,0	0,864	0,98I	0,849	0,I04
0,5	0,729	0,804	0,587	0,I4I	6,0	0,880	0,986	0,869	0,095
0,6	0,733	0,8I9	0,60I	0,I42	7,0	0,892	0,990	0,884	0,087
0,7	0,737	0,836	0,6I4	0,I43	8,0	0,902	0,99I	0,896	0,08I
0,8	0,742	0,845	0,627	0,I44	9,0	0,9II	0,993	0,905	0,075
0,9	0,746	0,854	0,639	0,I44	I0	0,9I8	0,995	0,9I4	0,070

Обращает на себя внимание необычное поведение U_x и U_y : когда увеличивается один из посадочных коэффициентов, увеличивается и другой. Для обычных сетных полотен увеличение одного посадочного коэффициента обязательно сопровождается уменьшением другого.

Выбор того или иного значения посадочного коэффициента и отношения z зависит не только от отношения $F:p^2$, но и от ряда других параметров (например, от величины и распределения внутренних напряжений, возникающих в сетном полотне в процессе лова), поэтому необходимо проанализировать этот вопрос для всего диапазона величин U_x, U_y и z.

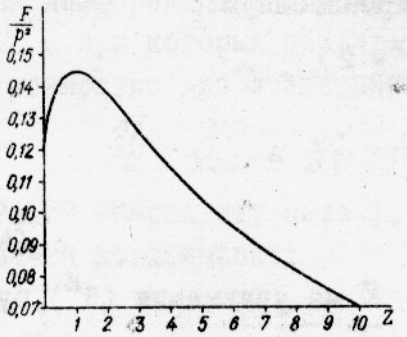


Рис.6. График функции $F:p^2$

На рис.6 графически показаны изменения отношения $F:p^2$ для оптимальных (с точки зрения расхода веревок и канатов) значений Z и U_x В табл.3 Приложения приведены величины отношения $F:p^2$ для широкого диапазона значений посадочного коэффициента и отношения Z. По графикам (см. рис.6) и этой таблице хорошо прослеживается характер поведения функции $F:p^2$ и те преимущества в весе, которые дает использование значений U_x и Z близких к оптимальным. Важно отметить, что сетные полотна с шестиугольной ячеей имеют преимущество в весе перед обычными только при некоторых значениях посадочных коэффициентов и отношении $a_2:a_1$. Например, в тех случаях, когда $Z<3$.

В табл.3 Приложения выделена (очерчена) область значений $F:p^2$, в пределах которой для вывязки сетных полотен с шестиугольной ячеей требуется меньше веревочно-канатных изделий, чем для вывязки обычных рыболовных сетей.

Проиллюстрируем эти расчеты примером.

Пусть необходимо изготовить сетное полотно, имеющее в посадке площадь 1000 м^2 и площадь ячеи 5 м^2. Рассчитаем длину веревки для вывязывания этого сетного полотна (без учета расхода веревки на завязывания узлов) для четырех случаев: I) $Z=0,2$; $U_x=0,4$; 2) $Z=1,0$; $U_x=0,866$ (оптимальный вариант); 3) $Z=5$; $U_x=0,893$ и 4) обычное сетное полотно.

<u>Случай I.</u> Определим сперва периметр ячеи из формулы для площади ячеи

$$F=5=\frac{p^2}{(2+Z)^2}U_x\left(\sqrt{1-U_x^2}+Z\right)=\frac{p^2}{(2+0,2)^2}0,4\left(\sqrt{1-0,4^2}+0,2\right).$$

Отсюда найдем p^2 = 54 м^2, или p = 7,35 м.

Найдем теперь размеры сторон ячеи, имеющей такой периметр и отношение сторон 0,2:

$$a_1=\frac{p}{2Z+4}=\frac{7,35}{0,4+4}=1,5\text{м};\quad a_2=\frac{Zp}{2Z+4}=\frac{0,2\times 7,35}{0,4+4}=0,3\text{м};$$

Так как количество ячей равно 1000:5=200, общая длина веревки для вывязывания этой сети L = 200 x 7,35 = 1470 м.

Случай 2. $p = 5{,}88$ м, $a_1 = 0{,}98$ м, $a_2 = 0{,}98$ м.

$$L = 1176 \text{ м}.$$

Случай 3. $p = 8{,}78$ м, $a_1 = 0{,}366$ м, $a_2 = 3{,}66$ м.

$$L = 1760 \text{ м}.$$

Случай 4. Как известно, оптимальной посадкой обычного сетного полотна является посадка на квадрат, т.е. $U_x = U_y = 0{,}707$, а $U_x \cdot U_y = 0{,}5$. В рассматриваемом случае $z = 0$, поэтому

$$F = 5 = \frac{p^2 U_x \cdot U_y}{2^2} = \frac{p^2}{4}\, 0{,}5.$$

Отсюда $p^2 = 40$, а p = 6,32м.Периметр квадрата равен 4а, следовательно, шаг ячеи a = 6,32 : 4 = 1,58 м. Длина веревки L = 6,32 x 200 = 1264 м.

Из этого примера видно, что во-первых, применение оптимальных величин z и U дает значительную экономию верёвочно-канатных изделий, а во-вторых, применение шестиугольной ячеи выгодно с точки зрения расхода веревок и канатов только при некоторых значениях z и U.

С точки зрения практики важно выяснить, как влияют отношение сторон z и величина посадочного коэффициента на расход ниток (веревок) для вывязывания сетного полотна и вес сети в том случае, когда стороны a_1 и a_2 сделаны из канатов разной толщины.

Так как периметр ячеи в сетном полотне равен $4a_1 + 2a_2$, меняя толщину одного из канатов, можно получить значительные изменения веса сетного полотна.

Пусть вес 1 пог.м каната,идущего на образование параллельных сторон ячеи, равен q_2 а четырех других – q_1. Тогда вес канатов, идущих на изготовление одной ячеи,равен $4a_1q_1 + 2a_2q_2$. Если площадь сетного полотна в посадке на U_x и U_y равна F, количество ячей, образующих эту сеть,

$$n = \frac{F}{4a_1(a_1 + a_2)U_xU_y},$$

а вес сети

$$Q = \frac{(4a_1q_1 + 2a_2q_2)\cdot F}{4a_1(a_1 + a_2)U_x \cdot U_y}. \qquad (5)$$

ВНИРО
№ 47717
Библиотека

Естественно, этот расчет не учитывает расхода канатов на завязывание узлов.

Для иллюстрации этого расчета рассмотрим следующий пример. Прямоугольное сетное полотно с шестиугольной ячеей при посадке U_y = 0,733 и U_x = 0,819 имеет размеры 50x20 м. Стороны ячеи равны 2,5 м (a_1) и 1,5 м (a_2). Требуется определить вес этого сетного полотна, если стороны a_1 изготовлены из 10-миллиметрового капронового шнура, а стороны a_2 - из 3,5-миллиметровой капроновой веревки. По отраслевому стандарту ОСТ 15-79-74 вес 1 пог.м шнура первого сорта составляет 57 г, а капроновой веревки - 7,1 г (по ОСТ 15-77-74).

Подставляя эти данные в (5), получим

$$Q = \frac{(4x2,5x57 + 2x1,5x7,1)}{4x2,5(2,5 + 1,5)\ 0,733x0,819} = 25 \text{ кг}$$

Отношение напряжений в сетном полотне с шестиугольными ячеями

Поскольку шестиугольное сетное полотно состоит из ячей, которые не удовлетворяют условию, определяющему принадлежность сети к сетям Чебышева, разработанные различными исследователями методы расчета формы рыболовной сети (Зонов, 1971; Алексеев, 1961; Изнанкин, 1973) не пригодны для расчета рассматриваемых сетей. Однако здесь можно применить метод расчета, эффективность которого показана на большом числе примеров проектирования вентереобразных орудий лова и кошельковых неводов (Андреев, 1970).

Сущность этого метода состоит в том, что реальная сеть для расчета заменяется сетью, образуемой двумя семействами взаимно ортогональных кривых, проходящих через все узлы сетного полотна. Ф.И.Баранов (1960) показал, что для обычной рыболовной сети, находящейся в равновесии под действием внутреннего давления, должны выполняться следующие соотношения:

$$\frac{\sigma_x}{r_x} + \frac{\sigma_y}{r_y} = p \qquad \text{формула Лапласа;}$$

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = \frac{U_x^2}{U_y^2} \qquad \text{условие Баранова,}$$

где r_x и r_y - главные радиусы кривизны поверхности, на которой располагается сетное полотно;

U_x и U_y - продольный и поперечный посадочные коэффициенты;

p - внутреннее давление.

Формула Лапласа справедлива и для сетного полотна с шестиугольной ячеей, так как эта формула отражает свойство тонкой пленки, не воспринимающей сжатия и тангенциальных нагрузок. Условие Баранова, отражающее геометрические свойства ромба, неприменимо для рассматриваемого случая (шестиугольного сетного полотна). Дополнительное условие для этого сетного полотна можно получить путем следующих рассуждений.

Пусть вдоль горизонтальной кромки ячеи (см.рис.2) действует напряжение σ_y. Так как длина ячеи в посадке на U_x равна $AD = 2U_x \cdot a_1$, суммарная сила, действующая на ячею P_y будет равна $P_y = 2a_1 U_x \sigma_y$. Эта сила натяжения стороны a_2 ячеи вызовет натяжение сторон a_1 ячеи P_x величину которой можно определить следующим путем.

Из треугольника сил, сходящихся в узле B (см.рис.2), имеем

$$2R\cos\gamma = P_y$$

Но

$$AD = 2a_1 \sin\gamma = 2a_1 U_x.$$

Таким образом, $\sin\gamma = U_x$, а $\cos\gamma = \sqrt{1-U_x^2}$

Следовательно,

$$R = \frac{P_y}{2\cos\gamma} = \frac{2\sigma_y 2U_x a_1}{2\sqrt{1-U_x^2}} = \frac{2a_1\sigma_y U_x}{\sqrt{1-U_x^2}}.$$

Рассматривая теперь равновесие сил в узле A, найдем

$$P_x = \frac{P_y \sin\gamma}{2\cos\gamma} = \frac{P_y U_x}{2\sqrt{1-U_x^2}}.$$

Высота ячеи равна

$$a_2 + CB = 2U_y(a_1 + a_2).$$

Поэтому

$$\sigma_x = \frac{2P_x}{2U_y(a_1+a_2)} = \frac{P_x}{U_y(a_1+a_2)}.$$

Отсюда

$$\frac{P_x}{P_y} = \frac{U_x}{2\sqrt{1-U_x^2}},$$

или

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_y} \cdot \frac{(a_1+a_2)U_y}{2a_1 U_x} = \frac{U_x}{2\sqrt{1-U_x^2}}.$$

Отношение напряжений по двум взаимно перпендикулярным направлениям будет, следовательно, равно

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = \frac{a_1 U_x^2}{\sqrt{1-U_x^2}\, U_y (a_1+a_2)}.$$

Из формулы (I) следует, что

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = \frac{U_x^2}{\sqrt{1-U_x^2}\,(\sqrt{1-U_x^2}+Z)}. \qquad (6)$$

Если это отношение выразить через величину U_y, получим

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = \frac{1-[U_y(1+Z)-Z]^2}{[U_y(1+Z)-Z]\,U_y(1+Z)}. \qquad (6')$$

Следовательно, для рассматриваемого сетного полотна должно выполняться условие более сложное, чем условие Баранова для обычного рыболовного сетного полотна. Однако внутренняя структура этих условий остается одинаковой: отношение напряжений в любой точке поверхности определенным образом связано с величиной посадочного коэффициента в этой точке. У сетного полотна с шестиугольными ячеями это отношение зависит также и от отношения $a_2 : a_1$ так как от этого отношения зависят посадочные коэффициенты. Когда $a_1 \to 0$ то и $Z=0$ т.е. когда сетное полотно превращается в обычную рыболовную сеть, выражения (6) и (6′) превращаются в условие Баранова.

Формула Лапласа и это соотношение между напряжениями по двум взаимно перпендикулярным направлениям позволяют определить форму сетного полотна, состоящего из шестиугольных ячей.

Боковые внутренние силы, возникающие в сетном полотне, деформируют его, создавая нежелательные искажения проектной формы. Если сравнить деформацию ромбовидных и шестиугольных сетных полотен, окажется, что отношение

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_x} = \frac{\sqrt{1-U_x^2}\,(\sqrt{1-U_x^2}+Z)}{U_x^2} = \frac{U_y(1+Z)[U_y(1+Z)-Z]}{1-[U(1+Z)-Z]^2}. \qquad (6'')$$

для сетных полотен из шестиугольных ячей выше, чем отношение

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_x} = \left(\frac{U_y}{U_x}\right)^2 \qquad (6''')$$

для обычного сетного полотна.

При таком анализе следует сравнивать две ячеи, имеющие одинаковые площади. На рис.2 изображены две такие ячеи (ромбическая показана пунктирной линией). Как видно из этого рисунка, отношение $\sigma_y : \sigma_x$ у сети с ромбическими ячеями равно

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_x} = \frac{U_{yp}^2}{U_{xp}^2} = \frac{[\frac{1}{2}(CB+a_2)]^2}{(\frac{1}{2}AD)^2} = \frac{U_y^2}{U_x^2}(1+Z)^2.$$

Однако посадочные коэффициенты ромбической ячеи таких размеров нельзя брать произвольно. Размер ячеи, эквивалентный ромбической сети, равен

$$a_1=\sqrt{\left[\tfrac{1}{2}(CB+a_2)\right]^2+\left[\tfrac{1}{2}AD\right]^2}=a_1\sqrt{1-z^2+2z(1+z)U_y}\,.$$

В правой части этого равенства - посадочные коэффициенты U_x и U_y в шестиугольной ячее, а в левой - отношение напряжений в эквивалентной ромбической ячее.

Сравним теперь величины отношений $\sigma_y:\sigma_x$ из формул σ и σ'', обозначив их σ_m и σ_p соответственно. Имеем

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_p}=\frac{\sqrt{1-U_x^2}\left(\sqrt{1-U_x^2}+z\right)U_x^2}{U_x^2U_y^2(1+z)^2}=\frac{\sqrt{1-U_x^2}\left(\sqrt{1-U_x^2}+z\right)}{U_y^2(1+z)},$$

или

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_p}=\frac{U_y(1+z)-z}{U_y(1+z)}.$$

Отсюда

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_p}=1-\frac{z}{U_y(1+z)}.$$

Из этой формулы видно, что отношение поперечных напряжений к продольным у сетных полотен с шестиугольной ячеей меньше, чем у сетей с ромбической ячеей, так как

$$1<\frac{z}{U_y(1+z)}>0.$$

Следовательно, при одних и тех же продольных силах поперечные силы в шестиугольном сетном полотне будут меньше, чем в обычных сетях. Отсюда следует, что сетное полотно из шестиугольных ячей будет меньше деформироваться, чем обычная рыболовная сеть. В табл.4 Приложения приведены величины $\sigma_y:\sigma_x$ для широкого диапазона значений $a_2:a_1$ и U_x. Из этой таблицы видно, что величина z сравнительно мало влияет на величину отношения $\sigma_y:\sigma_x$. С другой стороны, даже сравнительно небольшое изменение величины посадочного коэффициента ведет к довольно существенному изменению величины $\sigma_y:\sigma_x$. Таким образом, сети с шестиугольной ячеей ведут себя в этом отношении так же, как и обычные рыболовные сети.

Из этой таблицы также видно, что при постоянном посадочном коэффициенте отношение $\sigma_y:\sigma_x$ возрастает с увеличением

отношения $a_2 : a_1$. Так, при $U_x = 0,5$ и $a_2 : a_1 = 0,2$ отношение напряжений примерно равно 4,5, а при $a_2 : a_1 = 2$ — 11,5.

Поскольку поворот шестиугольной ячеи на 90^0 существенно меняет ее геометрические свойства (при одной и той же посадке), всегда можно добиться более удачного распределения напряжений, чем это возможно у обычного сетного полотна.

Отношение напряжений $\sigma_y : \sigma_x$ у обычных сетных полотен при посадке с коэффициентом 0,707 (на квадрат), как известно, равно I. У сетного полотна с шестиугольной ячеей, посаженной с оптимальными посадочными коэффициентами, это отношение также равно I независимо от величины $a_2 : a_1$.

В самом деле,

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_x} = \frac{U_y \sqrt{1-U_x^2}\,(1+z)}{U_x^2} = \frac{\sqrt{1-U_x^2}\,\left(\sqrt{1-U_x^2}+z\right)}{U_x^2}.$$

Если посадочный коэффициент U_x имеет оптимальную величину, отношение z равно

$$\frac{2U_x^2-1}{\sqrt{1-U_x^2}}.$$

Подставляя эту величину z в формулу для $\sigma_y : \sigma_x$, получим

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_x} = \frac{\sqrt{1-U_x^2}\left(\sqrt{1-U_x^2}+\frac{2U_x^2-1}{\sqrt{1-U_x^2}}\right)}{U_x^2} = 1.$$

Этот вывод подтверждает мысль о том, что величина отношения $\sigma_y : \sigma_x$ в большей степени зависит от величины посадочного коэффициента, чем от величины z.

Таким образом, применение шестиугольной ячеи позволяет широко варьировать параметрами сетного полотна, добиваясь наиболее полного удовлетворения требований, предъявляемых к проектируемому орудию лова.

Дифференциальные уравнения, определяющие форму поверхности сетного полотна

Для лучшего понимания картины распределения сил и деформаций в тралах из сетного полотна с шестиугольной ячеей рассмотрим форму, которую будет иметь прямоугольное сетное полотно, (имеющее постоянную длину и ширину в ячеях), прикрепленное к двум обручам с постоянными посадочными коэффициентами по окружности. Для обычных сетных полотен эта задача уже решена (Ан-

дреев,1970). Из этого решения, а также из практики рыболовства известно, что в таком случае сетное полотно принимает форму, подобную изображенной на рис.7.

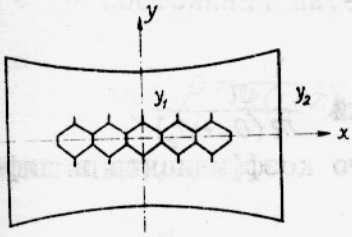


Рис.7. Секция вентереобразного орудия лова из сетного полотна с шестиугольной ячеей

Как показывают опыты с моделями, сетное полотно с шестиугольной ячеей принимает примерно такую же форму. Следовательно, и решать поставленную задачу будем тем же способом. Решение начнем со случая, когда сетное полотно расположено так, что параллельные стороны ячеи (a_2) лежат на параллелях поверхности (вдоль обручей).

Рассматривая рис.7, можно установить, что

$$y = r_y \cos\alpha = r_y \frac{dx}{ds},$$

или

$$r_y = y\frac{ds}{dx} = y\sqrt{\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + 1}.$$

С другой стороны, из дифференциальной геометрии известно, что

$$r_x = \frac{\sqrt{(1+y'^2)^3}}{y''}.$$

Так как центры кривизны рассматриваемой поверхности лежат по разным сторонам от нее, радиусы кривизны должны иметь разные знаки. Учитывая это и подставляя значение радиусов кривизны в формулу Лапласа, получим

$$\frac{\sigma_x y''}{\sqrt{(1+y'^2)^3}} - \frac{\sigma_y}{y\sqrt{1-y'^2}} = 0,$$

или, сокращая на $\sqrt{1-y'^2}$,

$$\frac{\sigma_x y''}{1+y'^2} - \frac{\sigma_y}{y} = 0.$$

Подставляя сюда величину отношения из (6), получим дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\frac{y''}{1+y'^2} - \frac{U_y(1+z)[U_y(1+z)-z]}{1-[U_y(1+z)-z]^2}\cdot\frac{1}{y} = 0.$$

Если ширина сетного полотна в жгуте равна $S_y = 2m(a_1+a_2)$, в посадке на U_y она составит $2mU_y(a_1+a_2)$. Такую длину будет иметь окружность в сечении плоскостью, перпендикулярной

к оси абсцисс, на расстоянии x от начала координат (см. рис.7). С другой стороны, длина окружности равна $2\pi y$. Поэтому

$$2\pi y = 2m\, U_y (a_1 + a_2).$$

Отсюда $$U_y = \frac{\pi y}{m(a_1 + a_2)} = ky,$$

где k – постоянный коэффициент, равный $\frac{\pi}{m(a_1+a_2)}$.

Подставляя это значение посадочного коэффициента в дифференциальное уравнение, получим

$$\frac{y''}{1+y'^2} - \frac{ky(1+z)[ky(1+z)-z]}{1-[ky(1+z)-z]^2}\cdot\frac{1}{y} = 0.$$

или

$$\frac{y''}{1+y'^2} - \frac{k(1+z)[k(1+z)y-z]}{1-[k(1+z)y-z]^2} = 0.$$

Для упрощения дальнейших вычислений заменим переменную по соотношению $t = k(1+z)y - z$.

Тогда $$k(1+z)dy = dt,$$

или $$k(1+z)y' = t',$$

а $$k(1+z)y'' = t''.$$

Подставляя эти значения в дифференциальное уравнение, получим

$$\frac{\frac{1}{k(1+z)}t''}{1+\frac{1}{k^2(1+z)^2}t'^2} - \frac{k(1+z)t}{1-t^2} = 0.$$

Обозначим

$$\frac{t'}{k(1+z)} = p, \quad \text{или} \quad t' = (1+z)kp.$$

Тогда

$$\frac{1}{k(1+z)}t'' = \frac{dp}{dx} = \frac{dt}{dx}\cdot\frac{dp}{dt} = k(1+z)p\frac{dp}{dt}.$$

Поэтому $$\frac{k(1+z)p\frac{dp}{dt}}{1+p^2} - \frac{k(1+z)t}{1-t^2} = 0.$$

или, сокращая на $k(1+z)$, окончательно будем иметь

$$\frac{pdp}{1+p^2} - \frac{tdt}{1-t^2} = 0.$$

Таким образом, как и следовало ожидать, получилось дифференциальное уравнение, ранее полученное для обычного сетного полотна (Андреев, 1970).

Интегрируя это уравнение, получим

$$p=\sqrt{\frac{c-1+t^2}{1-t^2}},$$

где c - постоянная интегрирования.

Но

$$p=\frac{1}{k(1+z)}\frac{dt}{dx},$$

следовательно,

$$dx=\frac{1}{k(1+z)}\sqrt{\frac{1-t^2}{c-(1-t^2)}}\,dt \tag{7}$$

Для интегрирования этого уравнения правую часть надо преобразовать, заменив переменную t по соотношению

$$t=\sqrt{1-c\sin^2\varphi}.$$

Тогда

$$dt=\frac{-c\sin\varphi\cdot\cos\varphi}{\sqrt{1-c\sin^2\varphi}}\,d\varphi.$$

Подставив эти выражения, найдем

$$dx=-\frac{1}{k(1+z)}\frac{c\sin\varphi\,d\varphi}{\sqrt{1-c\sin^2\varphi}}.$$

Таким образом, имеем

$$\int_0^x dx=-\frac{1}{k(1+z)}\int_{\varphi_1}^{\varphi_2}\frac{c\sin^2\varphi\,d\varphi}{\sqrt{1-c\sin^2\varphi}}.$$

Интеграл в правой части этого уравнения является табличным. Из интегрального исчисления известно, что

$$\int_0^{\varphi}\frac{\sin^2\varphi\,d\varphi}{\sqrt{1-c\sin^2\varphi}}=-\frac{1}{c}\left[F(\varphi,c)-E(\varphi,c)\right],$$

где $F(\varphi,c)$ - эллиптический интеграл первого рода,

$E(\varphi,c)$ - эллиптический интеграл второго рода.

Следовательно, окончательно имеем

$$k(1+z)x=F(\varphi_1,c)-F(\varphi_2,c)-E(\varphi_1,c)+E(\varphi_2,c). \tag{7'}$$

Эллептические интегралы, стоящие в правой части этого уравнения, зависят от пределов интегрирования φ_1 и φ_2 и от постоянной интегрирования c. Так как рассматриваемая по-

верхность есть поверхность вращения, можно положить, что в начале координат радиус окружности $y_1 = R_1$, а на расстоянии от начала координат – $y_2 = R_2$.

Зависимость φ от y можно легко найти, заменив переменные в обратном порядке. Получим

$$\varphi = \arcsin\sqrt{\frac{1-t^2}{c}} = \arcsin\sqrt{\frac{1-[k(1+z)y-z]^2}{c}} .$$

Для решения задач, связанных с нахождением формы сетного полотна, помимо уравнения (7) необходимо найти зависимости длины дуги и длины дуги в жгуте от ординаты.

Так как $ds^2 = dx^2 + dy^2$ в уравнение (7) вместо dx можно подставить выражение

$$\sqrt{ds^2 - \frac{dt^2}{k^2(1+z)^2}} ,$$

где ds – элемент длины дуги кривой, вращением которой вокруг оси абсцисс образована рассматриваемая поверхность.

Имеем

$$dx^2 = \frac{1}{k^2(1+z)^2}\,\frac{1-t^2}{c(1-t^2)}\,dt^2 = ds^2 - \frac{dt^2}{k^2(1+z)^2},$$

или

$$ds = \frac{dt}{k(1+z)}\sqrt{1+\frac{1-t^2}{c-(1-t^2)}} . \qquad (8)$$

После интегрирования этого уравнения получим искомую зависимость в следующем виде:

$$S = \frac{\sqrt{c}}{k(1+z)}\left[\operatorname{arch}\frac{t_2}{\sqrt{c-1}} - \operatorname{arch}\frac{t_1}{\sqrt{c-1}}\right] .$$

Учитывая, что

$$k = \frac{\pi}{m(a_1+a_2)} = \frac{2\pi}{S_y} ,$$

а $t = k(1+z)y - z$, это уравнение можно записать в следующем виде:

$$S = \frac{S_y\sqrt{c}}{2\pi(1+z)}\left[\operatorname{arch}\frac{2\pi(1+z)y_2 - z}{\sqrt{1-c}} - \operatorname{arch}\frac{2\pi(1+z)y_1 - z}{\sqrt{1-c}}\right] . \qquad (8')$$

Наконец, для решения практических задач необходимо найти зависимость между длиной жгута сетного полотна и радиусом вращения (ординатой). Для этого воспользуемся дифференциальным определением посадочного коэффициента.

Между дифференциалом дуги кривой и дифференциалом длины жгута, образующего дифференциал дуги, существует зависимость $ds_x = ds : U_x$, где U_x – продольный посадочный коэффициент. Чтобы решить поставленную задачу, необходимо продольный посадочный коэффициент заменить поперечным, так как в дифференциальном уравнении присутствует только ордината кривой.

С учетом формулы (I) можно записать

$$ds_x = \frac{ds}{\sqrt{1-[U_y(1+z)-z]^2}},$$

или

$$ds = \sqrt{1-[U_y(1+z)-z]^2}\, ds_x$$

Но $U_y = ky$, поэтому $ds = \sqrt{1-[k(1+z)y-z]^2}\, ds_x$

При замене переменной было положено

$$t = ky(1+z)-z.$$

С учетом замены переменной можно записать

$$ds = \sqrt{1-t^2}\, ds_x.$$

Заменяя ds его выражением по формуле (8), получим

$$\frac{1}{k(1+z)}\sqrt{\frac{c}{c-(1-t^2)}}\, dt = \sqrt{1-t^2}\, ds_x,$$

или

$$ds_x = \frac{\sqrt{c}\, dt}{k(1+z)\sqrt{1-t^2}\sqrt{c-(1-t^2)}}. \qquad (9)$$

Переходя теперь к переменной φ по соотношению $t = \sqrt{1-c\sin^2\varphi}$, найдем

$$k(1+z)\, ds_x = -\frac{\sqrt{c}\, d\varphi}{\sqrt{1-c\sin^2\varphi}},$$

где $\sin\varphi$ имеет то же значение, какое он имел в предыдущих уравнениях.

Интегрируя полученное дифференциальное уравнение, получим

$$S_x = \frac{\sqrt{c}}{k(1+z)}\left[F(\varphi_1, c) - F(\varphi_2, c)\right], \qquad (9')$$

где S_x – длина сетного полотна в жгуте, образующая в посадке сетную поверхность, расположенную между началом координат и точкой с координатами x и y на кривой, вращением которой получена рассматриваемая поверхность.

В этом уравнении пределы интегрирования, как и в уравнениях (7) и (8), равны

$$\varphi_1 = \arcsin\sqrt{\frac{1-[k(1+z)R_1 - z]^2}{c}},$$

$$\varphi_2 = \arcsin\sqrt{\frac{1-[k(1+z)R_2 - z]^2}{c}}. \qquad (10)$$

Таким образом, для определения параметров (x, S и S_x) кривой, вращением которой вокруг оси абсцисс образована рассматриваемая поверхность, составлены три уравнения. Во все эти уравнения входит постоянная интегрирования Эта постоянная входит не только в подинтегральные выражения, но и в пределы интегрирования. Поэтому решение этих уравнений - очень сложная и исключительно трудоемкая задача, для упрощения решения которой следует воспользоваться методом, разработанным для обычного сетного полотна (Андреев,1970).

Решение дифференциальных уравнений

Практические задачи бывают двух видов: I) известны размеры сетного полотна в посадке, надо определить размеры сетного полотна в жгуте; 2) известны размеры сетного полотна в жгуте, требуется определить ее размеры в посадке. В первом случае даются R_1, R_2, x и U_y на концах сети, требуется определить S_x, S_y - длину и ширину сетного полотна в жгуте и S - длину дуги кривой. Во втором случае известны S_x и S_y - посадочные коэффициенты на концах сети (следовательно и величины R_1 и R_2), требуется определить x и S.

Так как правые части уравнения (7), (8) и (9) зависят от одних и тех же параметров, их можно представить в следующей условной форме:

$$x = m_1 S_y,$$
$$S = m_2 S_y,$$
$$S_x = m_3 S_y,$$

где коэффициенты m_1, m_2 и m_3 зависят от постоянной интегрирования c , от посадочных коэффициентов и от отношения z, т.е. от формы ячеи.

Основанием для такого представления служит то, что во всех трех уравнениях правые части умножаются на коэффициент k . Этот коэффициент равен $S_y : 2\pi$ Поэтому во все

коэффициенты m входит множителем постоянная величина $1:2\pi(1+z)$, зависящая только от формы ячеи.

Для вычисления таблиц и решения задач необходимо определить пределы колебаний величины постоянной интегрирования. Как было установлено (Андреев, 1970), для обычной сети величина этой постоянной колеблется в зависимости от параметров сети от 0 до ∞. Когда сетное полотно является частью сети, посаженной на два обруча одинакового диаметра, у обычной сети $c = 1 - U_o^2$, где U_o – поперечный посадочный коэффициент в наиболее узком месте сети (Андреев, 1970), или $c = U_{xo}^2$, где U_{xo} – продольный посадочный коэффициент в наиболее узком месте.

Предположим, что и сетное полотно с шестиугольной ячеей посажено на два обруча одинакового диаметра. Тогда в наиболее узком месте $y \leq 0$ (см.рис.7). Следовательно,

$$\frac{d_y}{d_x} = \sqrt{\frac{c-1+[k(1+z)y-z]^2}{1-[k(1+z)y-z]^2}} = 0$$

Отсюда

$$c = 1 - [k y_o (1+z) - z]^2,$$

где y_o – величина ординаты в наиболее узком месте.

Но $k y_o = U_{yo}$, где U_{yo} – поперечный посадочный коэффициент в этом сечении. Таким образом, $c = 1 - [U_{yo}(1+z) - z]$.

Учитывая соотношение (I), находим

$$c = U_{xo}^2.$$

Следовательно, и в этом случае сохраняется физический смысл постоянной интегрирования.

Поскольку и пределы колебаний c остаются такими же, как у обыкновенного сетного полотна, форма кривой в зависимости от величины c меняется так же (Андреев, 1970).

При решении задач с помощью таблиц эллиптических функций или при составлении таблиц значений коэффициентов $m_{1,2,3}$ необходимо иметь в виду, что формулы (7), (8) и (9) составлены для случая, когда $c<1$. В тех случаях, когда сетное полотно является частью конусной сети (т.е. существует точка, где возможно нулевое значение y) и когда $c>1$, переменную φ следует заменить переменной ψ по соотношению

$$\sin\varphi = \frac{1}{\sqrt{c}} \sin\psi.$$

При этой замене модуль эллиптических интегралов в уравнениях (7), (8), (9) будет равен $\frac{1}{c} < 1$, а переменная t может быть представлена как функция посадочного коэффициента

Следовательно, все расчеты можно вести исходя не из размеров сетного полотна, а из величины посадочных коэффициентов на концах сети. Поэтому коэффициенты $m_{1,2,3}$ являются функциями посадочных коэффициентов и отношения z. Поскольку поперечный посадочный коэффициент имеет переменный диапазон значений, при составлении таблиц значений коэффициентов $m_{1,2,3}$ удобнее пользоваться продольным посадочным коэффициентом, заменив в решаемых уравнениях U_y на U_x по формуле (I).

Для сравнения деформации рассматриваемых сетных полотен следует установить связь между величиной поперечного посадочного коэффициента шестиугольной ячеи и эквивалентной ей ромбической ячеи.

Выше было установлено, что размер эквивалентной ячеи равен

$$a = a_1\sqrt{1 - z^2 + 2zU_y(1+z)} = \sqrt{U_y^2(a_1+a_2)^2 + U_x^2 a_1^2}.$$

Если теперь определить величину поперечного посадочного коэффициента U_{yp}, который имеет ромбическая ячея, эквивалентная по площади шестиугольной, получим

$$U_{yp} = \frac{1+z}{\sqrt{(1+z)^2 + \frac{U_x^2}{U_y^2}}} = \frac{U_y\sqrt{1+z}}{\sqrt{1 - z + 2zU_y}},$$

где U_x и U_y – посадочные коэффициенты шестиугольной ячеи. Например, если $z = 0,4$, а $U_y = 0,5$, то

$$U_{yp} = \frac{0,5\sqrt{1,4}}{\sqrt{0,6 + 0,8\cdot 0,5}} = 0,56,$$

т.е. $U_{yp} > U_y$.

Так как с увеличением поперечного посадочного коэффициента деформация сетного полотна увеличивается, выгода замены обычной сети сетным полотном с шестиугольной ячеей очевидна.

Для решения (7), (8) и (9) уравнений можно воспользоваться таблицами, составленными для решения аналогичных уравнений применительно к обычному сетному полотну. Затруднения возникают лишь из-за того, что неизвестные величины входят не только в подинтегральные выражения, но и в пределы интегрирования. Поэтому решать задачи, связанные с определением формы сетного полотна с шестиугольными ячеями, целесообразнее либо с помо-

щью специально составленных таблиц значений коэффициентов $m_{1,2,3} = f_{1,2,3}(U, C)$, либо с помощью ЭВМ. Способ решения полученных уравнений лучше всего проследить на следующих примерах.

Пример I. Необходимо найти размеры сетного полотна с шестиугольной ячеей в жгуте для постройки секции вентеря, диаметр обручей которого равен I м, посадочный коэффициент на обруче – 0,5, а расстояние между обручами – I м. Отношение $z = 0,5$.

Таким образом, имеем $U_y = 0,5$, $2x = 1,0$ м. Требуется найти S_x, S_y и y_0.

Решение задач такого типа надо начинать с определения посадочного коэффициента в наиболее узком месте поверхности. Для этого следует воспользоваться формулой (7), в которой в данном случае все величины, кроме U_{y0} известны.

Ширина сетного полотна в жгуте $S_y = \frac{\pi D}{U_y} = 6,28$ м.

Следовательно, $k(1+z) = \frac{2\pi(1+0,4)}{S_y} = \frac{2\pi \cdot 1,4}{6,28}$.

Поэтому

$$0,5 \cdot \frac{2\pi \cdot 1,4}{6,28} = \int_{\arcsin\sqrt{\frac{1-(1,4\cdot 0,5-0,4)^2}{C}}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{C\sin^2\varphi\, d\varphi}{\sqrt{1-C\sin^2\varphi}}.$$

Используя таблицы значений n_1 и n_2, вычисленные для обычного сетного полотна (Азволинский и др., 1975), получим

$$n_1 = 0,112 = \frac{1}{2\pi} \int_{\arcsin\sqrt{\frac{0,91}{C}}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{C\sin^2\varphi\, d\varphi}{\sqrt{1-C\sin^2\varphi}}$$

Вычисления показывают, что $C = 0,946$ $(U_0 = 0,235)$.

Теперь можно определить и длину сетного полотна в жгуте, при которой расстояние x будет равно 0,5 м. Для этого надо в уравнение (9) подставить исходные данные и полученную величину C.

Имеем

$$k(1+z)S_x = \frac{2\pi}{6,28} 1,4 S_x = n_2 = \int_{\arcsin\sqrt{\frac{0,91}{0,946}}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{c}\cdot d\varphi}{\sqrt{1-c\sin^2\varphi}}$$

Вычисления на ЭВМ показывают, что $S_x = 0,525\,м$. Так как S_x отсчитывается от центра секции, длина сетного полотна в жгуте, необходимая для постройки, равна I,05 м.

Это же решение можно получить и с помощью таблицы значений n_2 (Азволинский и др., 1975). Из вывода формул (7) и (9) следует, что $x : S_x = m_1 : m_2 - n_1 : n_2$. Поэтому $S_x = 0,5\,\frac{1,175}{1,12}$. В указанной таблице находим, что при $U = 0,3$ и $U_0 = 0,235$ $n_2 = 1,175$. Следовательно,

$$S_x = 0,5\,\frac{1,175}{1,12} = 0,525\,м.$$

При расчетах необходимо иметь в виду, что наименьшая величина ординаты рассматриваемой поверхности не может быть равна 0, поскольку в данном случае $U_y > \frac{z}{1+z}$, а $y = \frac{S_y}{2\pi} U_y$ Таким образом,

$$y_{min} = \frac{S_y}{2\pi}\,\frac{z}{1+z}.$$

В этом случае $c = 1,0$.

Из этого, в частности, следует, что у сетного полотна с шестиугольной ячеей сужение в центральной части вентерной секции всегда меньше, чем у обычного сетного полотна.

Допустим, что эта секция вентеря построена из обычного сетного полотна с эквивалентным размером ячеи и соответствующим посадочным коэффициентом. В этом случае $U_{пол.р} = 0,625$, а $U = 0,46$. Следовательно, $R : y = U : U_0 = 0,625 : 0,46 = 1,56$, т.е. радиус центральной части составляет примерно 0,65 радиуса обруча, в то время как у сетного полотна с шестиугольной ячеей это отношение равно 0,5:0,45=I,II. Приведем расчет.

Постоянная интегрирования $C = 0,946 = 1 - [U_0(1+z) - z]^2$. Подставляя сюда значение $z = 0,4$ и выражая U_0, найдем величину посадочного коэффициента в наиболее узком месте поверхности, этот коэффициент равен 0,45. Таким образом, различие в степени деформации обычного сетного полотна и сети с шестиугольной ячеей оказывается весьма значительным.

Пример 2. Нужно найти расстояние между нижней и верхней подборами кошелькового невода после замета и полного погружения, если длина невода в посадке с коэффициентом 0,8 равна 430 м, а высота в жгуте - 60 м. Пусть невод построен из дели с шестиугольными ячеями, у которых $z=1$.

Имеем $S_y = 430:0,8 = 536\,м$, $S_x = 60\,м$.

Следовательно, $S_x : S_y = 60:536 = 0,112$.

Чтобы найти постоянную интегрирования воспользуемся уравнением (9'). Имеем

$$k(1+z)S_x = \frac{2\pi}{S_y}\,2S_x \int\limits_{\arcsin\sqrt{\frac{1-[0,8\cdot 2-1]^2}{c}}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{c}\,d\varphi}{\sqrt{1-c\sin^2\varphi}} = -\int\limits_{\arcsin\frac{0,8}{\sqrt{c}}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{c}\,d\varphi}{\sqrt{1-c\sin^2\varphi}}$$

или

$$2\,\frac{S_x}{S_y} = 0,224 = n_2,$$

где

$$U = 0,6 \quad \left(\sqrt{1-U^2} = \sqrt{1-[0,8\cdot 2-1]^2}\right).$$

Решая это уравнение с помощью ЭВМ (или с помощью таблиц значений n_1 и n_2), найдем $c = 0,915$.

Теперь можно воспользоваться уравнением (7') для отыскания расстояния между подборами невода.

Имеем

$$x = 42,8 \int\limits_{\arcsin 0,838}^{\frac{\pi}{2}} \frac{c\sin^2\varphi\,d\varphi}{\sqrt{1-c\sin^2\varphi}} = 53,5\,м.$$

В том случае, когда $c>1$, задачи решаются таким же способом, но все вычисления носят более громоздкий характер.

Выводы

I. По геометрическим свойствам сетные полотна с шестиугольной ячеей существенно отличаются от обычных сетей. Шестиугольная ячея изменяет свою форму не только под действием посадочного коэффициента, как это имеет место у сетей с ромби-

ческой ячеей, но и под влиянием величины отношения длин сторон. Вместе с тем диапазон изменений посадочного коэффициента у ромбической ячеи больше, чем у шестиугольной, особенно при больших величинах z С этой точки зрения сетное полотно с шестиугольной ячеей более "жестко", чем обычное.

2. Вертикальная и горизонтальная деформация сетного полотна с шестиугольной ячеей подчинены различным законам, так как шестиугольник не симметричен относительно прямоугольных координатных осей, если одна из них проходит через середину параллельных сторон. Это свойство дает возможность при конструировании орудий лова широко маневрировать не только параметрами ячеи (посадкой и отношением сторон), но и положением ячеи относительно сил, действующих на орудие лова.

3. При некоторых соотношениях параметров ячеи расход веревочно-канатных изделий на вывязывание сетного полотна с шестиугольной ячеей меньше, чем на вывязывание обычной сети. Оптимальные величины посадочных коэффициентов и отношения сторон ячеи тесно связаны между собой.

4. Отношение напряжений у шестиугольной ячеи подчинено видоизмененному закону, установленному Ф.И.Барановым для обычного сетного полотна. При оптимальных величинах посадочных коэффициентов и z это отношение равно I, т.е. имеет ту же величину, что и у обычных сетей, независимо от величины z. Так как шестиугольная ячея обладает большей формоизменяемостью, чем ромбическая, при конструировании орудий лова из сетного полотна с шестиугольной ячеей всегда возможно избежать большой деформации под действием поперечных сил, возникающих в процессе лова.

5. Форму сетного полотна с шестиугольной ячеей, прикрепленного к двум обручам, можно найти, используя уравнения, ранее полученные для обычного сетного полотна.

6. Геометрические свойства сетного полотна с шестиугольной ячеей позволяют предполагать, что в ряде случаев эти сети могут оказаться эффективнее обычных рыболовных сетей.

Приложение

Таблица I

Вертикальный посадочный коэффициент $U_y = \frac{\sqrt{1-U_x^2}+z}{1+z}$.

U_x \ z	0,I	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
0,05	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	I,0	I,0	I,0	I,0	I,0	I,0	I,0	I,0	I,0
0,I0	995	996	996	996	997	997	997	997	997	997	998	999	999	999	999	999	999	999	I,0
0,15	990	99I	99I	992	992	993	993	994	994	994	996	997	998	998	998	999	999	999	999
0,20	982	983	984	986	986	987	988	989	989	990	993	995	996	997	997	997	998	998	998
0,25	97I	974	976	977	979	980	98I	982	983	984	989	992	994	995	995	996	996	997	997
0,30	958	962	965	967	969	97I	973	974	976	977	985	988	99I	992	993	994	995	995	996
0,35	942	947	95I	955	958	960	963	965	967	968	979	984	987	989	99I	992	993	994	994
0,40	924	930	936	940	944	948	95I	954	956	958	972	979	983	986	988	989	99I	992	992
0,45	903	9II	9I8	924	929	933	937	94I	944	947	964	973	979	982	985	987	988	989	990
0,50	878	888	897	904	9II	9I6	92I	926	929	933	955	967	973	978	98I	983	985	987	988
0,55	850	863	873	882	890	897	903	908	9I3	9I8	945	959	967	973	976	979	982	984	985
0,60	8I8	833	846	857	867	875	882	889	895	900	933	950	960	967	97I	975	978	980	982
0,65	782	800	8I5	829	840	850	859	867	874	880	920	940	952	960	966	970	973	976	978
0,70	740	762	780	796	809	82I	832	84I	890	857	905	929	943	952	959	964	968	97I	974
0,75	692	7I8	740	758	774	788	80I	8I2	822	83I	887	9I5	932	944	952	958	962	966	969
0,80	636	667	692	7I4	733	750	765	778	789	800	867	900	920	933	943	950	956	960	964
0,85	570	606	636	662	684	704	722	737	75I	763	842	882	905	92I	932	94I	947	953	957
0,90	487	530	566	597	624	647	668	687	703	7I8	8I2	859	887	906	9I9	929	937	944	949
0,95	375	427	47I	509	54I	570	595	6I8	638	656	77I	828	862	885	902	9I4	924	93I	937

Таблица 2

Горизонтальный посадочный коэффициент $U_x = \sqrt{1-[U_y(1+z)-z]^2}$.

U_y \ z	0,I	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
0,I5	998	-																	
0,20	993	999	-																
0,25	985	995	I,0	-															
0,30	973	987	996	I,0	-														
0,35	959	975	988	996	-														
0,40	940	960	975	987	995	999	-												
0,45	9I9	942	959	973	985	993	998	I,0	-										
0,50	893	9I7	937	954	968	980	989	995	999	I,0	-								
0,55	863	888	9I0	929	946	960	972	982	989	995	-								
0,60	828	854	877	898	9I7	933	947	960	97I	980	-								
0,65	789	8I5	838	860	880	898	9I4	929	942	954	I,0	-							
0,70	742	768	792	8I5	835	854	872	888	903	9I7	995	-							
0,75	689	7I4	738	760	78I	800	8I8	835	85I	866	968	I,0	-						
0,80	626	650	673	694	7I4	733	75I	768	785	800	9I7	980	I,0	-					
0,85	550	572	593	6I3	632	650	678	694	709	7I4	835	9I7	968	995	I,0	-			
0,90	456	475	493	5I0	527	543	558	572	586	600	7I4	800	866	9I7	954	980	995	I,0	-
0,95	327	34I	355	368	380	392	403	4I5	425	436	527	600	66I	7I4	760	800	835	866	893

Примечание. Отличительной особенностью функции (I) от соотношения между посадочными коэффициентами по двум взаимно перпендикулярным направлениям у обычных рыболовных сетей является то, что функция может иметь одно значение при двух различных значениях аргумента U_y. Поэтому при расчетах всегда надо иметь в виду, что U_y всегда больше, чем выражение $z:(1+z)$. При $U_y = z:(1+z)$, $U_x = 1,0$. Поэтому с увеличением $z = a_2 : a_1$ пределы возможных изменений величины U_y резко сокращаются, в то время как пределы колебаний их остаются неизменными $(1,0 \geq U_x > 0,0)$.

Таблица 3

Величина $F:p^2=\frac{1+Z}{(2+Z)^2}U_xU_y$.

U_x \ Z	0,I	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
0,05	022	0I5	0I2	0I2	0I2	0I2	0I2	0II	0II	0II	0I0	008	007	006	005	005	004	004	004
0,I0	025	025	025	024	024	024	023	023	023	022	0I9	0I6	0I4	0I2	0II	0I0	009	008	008
0,I5	037	037	037	036	036	035	035	034	034	033	028	024	02I	0I8	0I6	0I5	0I3	0I2	0II
0,20	049	049	048	048	047	047	046	045	045	044	037	032	028	024	022	020	0I8	0I7	0I6
0,25	060	060	060	059	059	058	057	056	056	055	047	040	035	030	027	025	022	02I	0I9
0,30	072	072	07I	070	070	069	068	067	066	065	056	047	04I	036	032	030	027	025	023
0,35	082	082	082	08I	080	080	079	078	076	076	064	055	048	042	038	034	03I	029	026
0,40	092	092	09I	09I	09I	090	089	088	086	085	073	063	055	048	043	039	036	033	030
0,45	I0I	I02	I02	I0I	I00	I00	098	097	096	095	082	070	06I	054	048	044	040	037	034
0,50	I09	II0	II0	II0	I09	I09	I07	I06	I05	I04	090	077	068	060	053	049	044	04I	038
0,55	II6	II8	II8	II8	II7	II7	II6	II5	II4	II2	098	084	074	065	059	053	049	045	04I
0,60	I22	I24	I25	I25	I25	I24	I23	I23	I2I	I20	I05	09I	080	07I	064	058	053	049	045
0,65	I27	I29	I30	I3I	I3I	I3I	I30	I30	I28	I27	II2	098	086	076	068	062	057	053	048
0,70	I29	I32	I34	I35	I36	I36	I36	I35	I34	I33	II9	I04	092	08I	073	067	06I	056	052
0,75	I29	I34	I36	I38	I39	I40	I40	I40	I39	I38	I25	II0	097	086	078	07I	064	060	055
0,80	I27	I32	I36	I39	I4I	I42	I43	I43	I43	I42	I25	II5	I02	09I	082	075	069	064	059
0,85	I2I	I28	I33	I37	I40	I42	I43	I44	I44	I44	I35	I20	I07	096	086	079	072	067	062
0,90	I09	II8	I25	I3I	I35	I38	I40	I42	I43	I43	I37	I24	III	099	090	083	056	070	065
0,95	089	I0I	II0	II7	I23	I28	I32	I35	I37	I38	I38	I26	II4	I03	093	086	079	073	068

Таблица 4

Величина отношения напряжений $\sigma_y : \sigma_x = \frac{\sqrt{1-U_x^2}\left(\sqrt{1-U_x^2}+z\right)}{U_x^2}$.

U_x \ z	0,I	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
0,05	439	479	5I9	559	599	639	679	7I9	759	799	II98	I600	I998	2397	2797	3I96	3596	3996	4395
0,I0	I09	II9	I29	I39	I49	I59	I69	I79	I89	I99	298	398	497	597	696	796	895	995	I049
0,I5	47,9	52,3	56,7	6I,I	65,5	69,8	74,2	78,6	83,0	87,4	I3I	I75	2I9	263	307	35I	395	439	483
0,20	26,5	28,9	3I,4	33,8	36,3	38,7	4I,2	43,6	46,I	48,5	73,0	97,5	I22	I47	I7I	I96	220	245	269
0,25	I6,5	I8,I	I9,6	2I,2	22,7	24,3	25,8	27,4	28,9	30,5	46,0	6I,5	76,9	92,4	I08	I23	I39	I54	I70
0,30	II,2	I2,2	I3,3	I4,4	I5,4	I6,5	I7,5	I8,6	I9,7	20,7	3I,3	4I,9	52,5	63,I	73,7	84,3	94,9	I06	II6
0,35	7,93	8,70	9,46	I0,2	II,0	II,8	I2,5	I3,3	I4,I	I4,8	22,5	30,I	37,8	45,4	53,I	60,7	68,4	76,0	83,7
0,40	5,83	6,40	6,98	7,55	8,I2	8,69	9,27	9,84	I0,4	II,0	I6,7	22,4	28,2	33,9	39,6	45,4	5I,I	56,8	62,6
0,45	4,38	4,82	5,26	5,70	6,I4	6,58	7,03	7,47	7,9I	8,35	I2,8	I7,2	2I,6	26,0	30,3	34,8	39,2	43,6	48,0
0,50	4,I2	4,5I	4,89	5,28	5,67	6,05	6,44	6,82	7,2I	7,60	II,5	I5,3	I9,2	23,I	26,9	30,8	34,6	38,5	42,4
0,55	2,58	2,86	3,I3	3,4I	3,69	3,96	4,24	4,5I	4,79	5,07	7,83	I0,6	I3,3	I6,I	I8,9	2I,6	24,4	27,I	29,9
0,60	2,00	2,22	2,44	2,66	2,88	3,II	3,33	3,55	3,77	4,00	6,22	8,44	I0,7	I2,9	I5,I	I7,3	I9,6	2I,8	24,0
0,65	I,55	I,73	I,9I	2,09	2,27	2,45	2,63	2,8I	2,99	3,I7	4,97	6,76	8,56	I0,4	I2,2	I4,0	I5,8	I7,6	I9,4
0,70	I,I9	I,32	I,48	I,62	I,77	I,92	2,06	2,2I	2,35	2,50	4,00	5,4I	6,87	8,33	9,78	II,2	I2,7	I4,2	I5,6
0,75	0,89	I,0I	I,I3	I,25	I,36	I,48	I,60	I,72	I,83	I,95	3,I3	4,30	5,48	6,65	7,83	9,00	I0,2	II,4	I2,5
0,80	0,66	0,75	0,84	0,94	I,03	I,I3	I,22	I,3I	I,4I	I,50	2,44	3,38	4,3I	5,25	6,I9	7,I3	8,06	9,00	9,94
0,85	0,46	0,53	0,60	0,68	0,75	0,82	0,90	0,97	I,04	I,II	I,84	2,57	3,30	4,03	4,76	5,49	6,22	6,95	7,68
0,90	0,29	0,34	0,40	0,45	0,50	0,56	0,6I	0,67	0,72	0,77	I,3I	I,85	2,39	2,93	3,46	4,00	4,54	5,08	5,62
0,95	0,I4	0,I8	0,2I	0,25	0,28	0,32	0,35	0,38	0,42	0,45	0,80	I,I5	I,49	I,84	2,I8	2,53	2,87	3,22	3,57

Литература

Азволинский А.И., Андреев Н.Н., Яковлев А.А. О выборе посадочного коэффициента для кошельковых неводов. - "Рыбное хозяйство", 1975, № 5, с.46-49.

Андреев Н.Н. Об измерении вышины сетей. - "Рыбное хозяйство", 1949, № 12, с.28.

Андреев Н.Н. Проектирование кошельковых неводов. М., "Пищевая промышленность", 1970, 276 с.

Андреев Н.Н., Любимов В.Г. Геометрические свойства сетного полотна с ячеями шестиугольной формы. - "Рыбное хозяйство", 1975, № 9, с.52-55.

Баранов Ф.И. Техника промышленного рыболовства. М., Пищепромиздат, 1960, 696 с.

Зонов А.И. Геометрия рыболовной сети и ее равновесное состояние. - "Известия ГосНИОРХ", 1971, т.73, с.96-168.

Изнанкин Ю.А. Основы расчета оснастки и натяжения подборы, задающейся на сетном мешке, имеющем вид поверхности вращения. - "Труды КТИРП", 1973, вып. Ш, с.74-78.

Geometric features of the netting with hexagonal meshes

N.N.Andreev, V.G.Lubimov

S u m m a r y

The comparative analysis of geometric features of the netting with hexagonal meshes is made. The variability of forms of new nettings is characterized with hanging ratios the physical meaning of which is similar to that of conventional hanging ratios. Some relationships between the vertical and horizontal hanging ratios are ascertained. Optimum values of the ratios when the weight of the netting is minimum are found. The estimated formulae are tabulated.

It is noted that the geometric features of the netting with hexagonal meshes depend on the arrangement of meshes relative to external forces affected the fishing gear.

Differential equations allowing for determination of the form of the netting placed on the surface of revolution are developed. Ways of solving the equations are demonstrated on specific examples. It is concluded that in some cases it is advisable that nettings with hexagonal meshes should be used instead of conventional nets.

Том СXXП

Т р у д ы
Всесоюзного научно-исследовательского института
морского рыбного хозяйства и океанографии
(ВНИРО)

1977

УДК 639.2.081.117

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРАЛОВ

В.Н.Советов

Одна из возможностей повышения технико-эксплуатационных показателей и снижения себестоимости орудий промышленного рыболовства - усовершенствование и оптимизация технологии их изготовления. Совершенный технологический процесс, основанный на глубоком изучении особенностей отдельных операций, их взаимосвязи и влияния на промысловые качества - залог производства высокоэффективных орудий лова при минимуме затрат труда и сетематериалов.

Основу технологии изготовления большинства сетных орудий лова составляют раскрой и посадка сетного полотна. От этих операций зависят почти все технико-эксплуатационные и промысловые показатели орудий лова, поэтому теория и практика раскроя и посадки сетного полотна в настоящее время изучены достаточно хорошо.

Советские и зарубежные ученые и специалисты(Алексеев,1961, 1964, Баранов,1960, Андреев,1959,1960,1962;Войниканис-Мирский, 1952,1961;Зонов,1957, Попов,1955, Трещев,1959, Фридман,1958, Старовойтов,1964,1966; Tauti, 1925; Kondo, 1959, 1960; Schlieker, 1963; Schmidt, 1961 и др.) исследовали влияние раскроя и посадки на уловистость и селективность орудий лова,на гидродинамическое качество и сопротивление сетного полотна,на его форму,натяжение нитей и т.п., а также проблемы,связанные с теорией,расчетом и техникой раскроя и посадки сетных орудий лова.

Лабораторией рыболовных материалов и промысловой гидродинамики ВНИРО проводились исследования взаимосвязи коэффициентов посадки и циклов раскроя сетного полотна и их влияния на так называемые построечные и рабочие углы атаки сетных частей орудий лова.

Угол резания и построечный угол атаки

Раскрой и посадка как технологические операции тесно связаны между собой требованием практики в части сохранения ромбической формы ячей и равнонапряженности нитей сетного полотна, так как невыполнение этого требования вызывает при эксплуатации орудия лова необратимые деформации и в конечном итоге разрывы сетного полотна.

Для установления аналитической зависимости параметров этих операций рассмотрим сетной треугольник - клин АВС(рис.I), гипотенуза которого является линией раскроя сетного полотна по циклу

$$C_r = \frac{m-n}{2n} = \frac{1}{2}\left(\frac{m}{n} - 1\right), \qquad (I)$$

где C_r - цикл кройки;

m, n - размеры катетов клина (в ячеях или метрах).

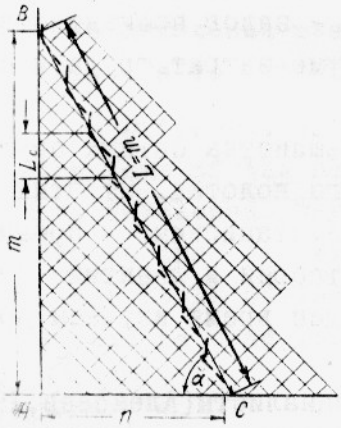


Рис.I. Раскрой сетного полотна по циклу $C_r = \frac{m-n}{2n}$

Если в формуле (I) отношение $\frac{m}{n}$ принять равным $tg\,\alpha$, где α - угол резания(т.е.угол уклона линии разреза ВС к горизонтали сетного полотна АС при равных коэффициентах посадки $U_1 = U_2 = 0,71$),то

$$C_r = \frac{1}{2}\left(tg\alpha - 1\right), \quad \text{или}$$

$$tg\alpha = 2C_r + 1 \quad \text{откуда}$$

$$\alpha = arctg(2C_r + 1). \qquad (2)$$

Следовательно, каждому циклу раскроя соответствует свой угол резания и наоборот,каждому углу резания - свой цикл раскроя(табл.I). Уклон линии разреза сетного полотна в посадке с коэффициентами U_1 и U_2 равен

$$tg\alpha' = \frac{2amU_2}{2anU_1} = \frac{m}{n}\cdot\frac{U_2}{U_1} = tg\alpha\cdot\frac{U_2}{U_1}.$$

Обозначив $\frac{U_2}{U_1}$ через J - коэффициент уклона,- получим

$$tg\alpha' = J\cdot tg\alpha, \qquad (3)$$

а угол уклона

$$\alpha' = arctg(J\cdot tg\alpha) \qquad (3')$$

Таблица I

Углы резания и простейшие циклы кройки, наиболее часто применяемые при постройке орудий лова

Уклон клина $i = m/n$ (при $U_1 = U_2$)	Угол резания α	Цикл кройки $C_r = \frac{m-n}{2n}$	Уклон клина $i = m/n$ (при $U_1 = U_2$)	Угол резания α	Цикл кройки $C_r = \frac{m-n}{2n}$
I,00	45°00′	По диагонали	3,00	7I°34′	$\frac{I}{I}$
I,20	50°00′	$\frac{I}{I0}$	3,50	74°03′	$3\frac{I}{I} + \frac{2}{I}$
I,22	50°42′	$\frac{I}{9}$	4,33	77°00′	$2\frac{2}{I} + \frac{I}{I}$
I,24	5I°07′	$2\frac{I}{8} + \frac{I}{9}$	5,00	78°4I′	$\frac{2}{I}$
I,25	5I°20′	$\frac{I}{8}$	6,00	80°32′	$\frac{2}{I} + \frac{3}{I}$
I,29	52°08′	$\frac{I}{7}$	7,00	80°52′	$\frac{3}{I}$
I,30	52°30′	$2\frac{I}{7} + \frac{I}{6}$	9,00	83°40′	$\frac{4}{I}$
I,33	53°07′	$\frac{I}{6}$	9,33	83°53′	$5\frac{4}{I} + \frac{5}{I}$
I,40	54°30′	$\frac{I}{5}$	II,00	84°48′	$\frac{5}{I}$
I,50	56°I9′	$\frac{I}{4}$	I3,00	85°36′	$\frac{6}{I}$
I,60	58°00′	$2\frac{I}{3} + \frac{I}{4}$	I5,00	86°II′	$\frac{7}{I}$
I,67	59°02′	$\frac{I}{3}$	I6,I6	86°27′	$\frac{7}{I} + \frac{8}{I}$
I,75	60°I5′	$2\frac{I}{3} + \frac{I}{2}$	I7,00	86°38′	$\frac{8}{I}$
I,80	6I°00′	$\frac{I}{3} + \frac{I}{2}$	I9,00	86°59′	$\frac{9}{I}$
2,00	63°30′	$\frac{I}{2}$	2I,00	87°I6′	$\frac{I0}{I}$
2,33	66°47′	$\frac{I}{I} + \frac{I}{2}$			

Соответствующий углу уклона α' угол $\beta = 90^0 - \alpha'$ условно можно назвать построечным углом атаки, так как он представляет собой угол между продольной (сшивной, топенантной) кромкой сетного полотна в посадке и продольной осью тралирующего орудия лова.

Подставив значение $tg\alpha = 2C_r + 1$ в уравнение (3), после некоторых преобразований получим

$$C_r = \frac{1}{2}\left(\frac{tg\alpha'}{J} - 1\right), \tag{4}$$

учитывая, что $tg\alpha' = ctg\beta$; $\beta = arcctg\left[(2C_r + 1)J\right]$. (4′)

Уравнение (4′) аналитически связывает между собой построечный угол атаки β, цикл кройки C_r и коэффициент уклона, равный отношению коэффициентов посадки по вертикали и горизонтали $J = \frac{U_2}{U_1}$ (табл.2)

Таблица 2

Коэффициент уклона J в зависимости от коэффициента посадки U_2.

U_2	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,101	0,111	0,121	0,132	0,142	0,152	0,162	0,174	0,184	0,194
0,2	0,220	0,215	0,225	0,237	0,248	0,258	0,268	0,282	0,292	0,302
0,3	0,316	0,326	0,338	0,350	0,362	0,376	0,388	0,398	0,413	0,423
0,4	0,435	0,450	0,461	0,478	0,488	0,505	0,517	0,533	0,546	0,563
0,5	0,575	0,593	0,612	0,623	0,643	0,655	0,674	0,696	0,716	0,729
0,6	0,750	0,772	0,795	0,820	0,842	0,855	0,881	0,905	0,932	0,958
0,7	0,988	0,010	1,040	1,071	1,105	1,135	1,168	1,201	1,235	1,292
0,8	1,331	1,371	1,435	1,480	1,554	1,605	1,682	1,775	1,870	1,933
0,9	2,030	2,161	2,360	2,505	2,760	3,061	3,421	4,030	4,900	7,070

Посадка косых кромок сетного полотна

Для расчета коэффициента посадки U_3 наклонной кромки – гипотенузы клина из треугольника АВС (рис.1) – находим

$$BC^2 = AB^2 + AC^2 = (2amU_2)^2 + (2anU_1)^2 = (2amU_3)^2$$

Разделив обе части равенства на $(2am)^2$, получим

$$U_3^2 = U_2^2 + \left(\frac{n}{m}\cdot U_1\right)^2 = U_2^2 + (U_1 \cdot ctg\alpha)^2;$$

$$U_3^2 = U_2^2 + U_1^2 \cdot ctg^2\alpha, \tag{5}$$

или $$U_3 = \sqrt{U_2^2 + \left(\frac{U_1}{2C_r + 1}\right)^2}. \qquad (5')$$

Зависимость коэффициента посадки по наклонной кромке U_3 от угла резания α при различных значениях двух других коэффициентов U_2 и U_1 показана на рис.2, из которого следует, что при $m > n$ чем меньше угол резания $\alpha = arctg\,(2C_r + 1)$, тем меньше усадка дели на наклонной кромке ($U_3 \to 1$). При $\alpha = 45^0$, когда стороны клина равны, т.е. $m = n$ и срезаются только диагональные нити, коэффициент U_3 равен единице независимо от коэффициентов U_2 и U_1.

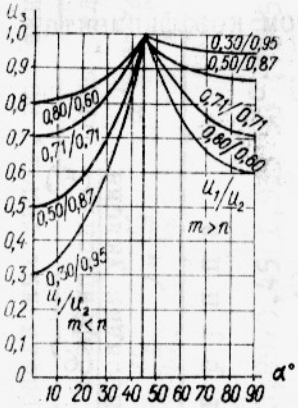


Рис.2. График зависимости коэффициента посадки наклонной сетной кромки U_3 от угла резания

Зависимость коэффициента посадки U_3 от цикла кройки C_r при заданных коэффициентах U_2 и U_1 изображена на рис.3.

Кривая $U_3 = f(C_r)$ асимптотически приближается к прямой

$$y = U_2 = const.$$

Максимальное значение U_3, равное единице, имеет место при $C_r = 0$, т.е. когда две стороны выкраиваемого клина равны и клин кроится по диагонали.

Наибольший перепад значений U_3 наблюдается при циклах кройки в пределах от 0 до I/2, причем с увеличением отношения U_1/U_2 этот перепад также увеличивается.

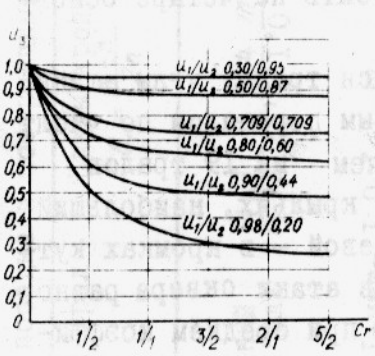


Рис.3. График зависимости коэффициента посадки наклонной сетной кромки U_3 от цикла раскроя

Приведенные формулы (5) и (5') и графики 2, 3 позволяют находить требуемый коэффициент посадки по наклонной кромке сетного полотна орудия лова, когда заданы горизонтальный и вертикальный коэффициенты посадки и известен цикл кройки, и определять цикл кройки сетного полотна, когда известны коэффициенты посадки его кромок.

Например, зная коэффициент посадки по гужу и циклы раскроя

крыльев и мотни трала, по формуле (5') нетрудно определить требующиеся коэффициенты посадки по подборам, топенантам или пожилинам.

Так как из уравнения (5') следует, что

$$2C_r+1=\frac{U_1}{\sqrt{U_3^2-U_2^2}}, \quad a \quad U_2=\frac{\sqrt{U_3^2(2C_r+1)^2-U_1^2}}{2C_r+1}$$

$$и \quad ctg\,\beta=(2C_r+1)J=\frac{U_2}{\sqrt{U_3^2-U_2^2}}=\frac{\sqrt{U_3^2(2C_r+1)-U_1^2}}{U_1},$$

построечный угол атаки сетного полотна с учетом коэффициента посадки по наклонной кромке U_3 будет равен

$$\beta=arc\,tg\,\frac{\sqrt{U_3^2-U_2^2}}{U_2}, \qquad (6)$$

или

$$\beta=arctg\,\frac{U_1}{\sqrt{U_3^2(2C_r+1)-U_1^2}}. \qquad (6')$$

Построечные углы атаки тралов, применяемые промышленностью

В практике изготовления тралирующих орудий лова диапазон колебания построечных углов атаки довольно значителен.

Данные анализа 40 тралов, используемых промышленностью, приведены в табл.3.

Выбранные для анализа тралы по характеру сочетаний и изменений построечных углов атаки можно разбить на четыре основные группы.

К первой, наибольшей группе относятся тралы, углы атаки которых постепенно уменьшаются (с различным перепадом по числу градусов) от крыльев до кутка трала. Причем из 19 тралов этой группы 12 имеют нулевой угол атаки в крыльях, наибольший – в сквере или в первой части мотни и нулевой – в кромках кутка. Среднеарифметическое построечных углов атаки сквера равно $15^{\circ}20'$, а в последней части мотни – $6^{\circ}30'$ при среднем коэффициенте уклона

$$J_{ср.}=\frac{U_2}{U_1}=2,053.$$

Таблица 3

Раскрой, посадка и построечные углы атаки тралов различных типов, применяемых промышленностью

Исследуемый трал	Циклы кройки $C_r = \frac{m-n}{2n}$	Углы резания $\alpha = arctg\,\frac{m}{n}$	Коэффициенты посадки $\frac{U_2}{U_1}$	Коэффициенты уклона $J = \frac{U_2}{U_1}$	Углы уклона $\alpha' = arctg\left(\frac{m}{n}\cdot J\right)$	Построечные углы атаки $\beta = 90^\circ - \alpha'$
		Первая группа				
Разноглубинный 36-метровый для СРТР-540	$\frac{m}{0};\frac{1}{4},\frac{1}{1},\frac{3}{1},\frac{4}{1},\frac{m}{0}$	90°;56°19;71°;34;80°52;83°40;90°	0,89/0,45	1,933	90°;70°53;80°30;85°46;86°42;90°	0°;19°07;9°30;4°14;3°18;0°
Сардинный 31-метровый для БМРТ	$\frac{1}{2},\frac{0}{n},\frac{1}{2},\frac{1}{1},\frac{m}{0}$	63°30;45°;63°30,71°,34,90°	0,8/0,60	1,331	69°26;45°;69°26;75°58;90°	20°34;45°;20°34;14°02;0°
Придонный 19-метровый для РБ-80	$\frac{m}{0},\frac{1}{8},\frac{1}{4},\frac{1}{3},\frac{1}{2},\frac{1}{1},\frac{5}{1},\frac{m}{0}$	90°;51°20;56°19;59°02;63°30;71°34;84°48;90°	0,87/0,49	1,775	90°,65°44;69°26;71°20;74°19;79°24;87°04;90°	0°;24°16;20°20;18°40;15°41;10°36;2°56;0°
Польский 22-метровый	$\frac{27}{1},\frac{1}{4},\frac{1}{2},\frac{5}{4},\frac{m}{0}$	88°57;56°19;63°30;74°03;90°	0,88/0,47	1,870	89°27;70°27;75°06;81°20;90°	0°33;19°33;14°54;8°40;0°
Симметричный 43,6-метровый для двух логгеров	$\frac{m}{0},\frac{1}{2},\frac{1}{4},\frac{1}{2},\frac{1}{5},\frac{m}{0}$	90°;63°30;85°16;90°;56°19;90°	0,94/0,35	2,760	90°,75°40;76°25;79°40;88°07;90°	0°,10°20;13°35;10°20;13°35;10°20;1°53;0°
		Вторая группа				
Разноглубинный 91-метровый для БМРТ	$\frac{m}{0},\frac{1}{4},\frac{3}{2},\frac{m}{0},\frac{1}{4},\frac{1}{1},\frac{1}{2},\frac{1}{1},\frac{m}{0}$	90°,56°19;75°58;90°,56°19;71°34;63°30;71°34;90°	0,87/0,50	1,775	90°,69°26;81°59;90°;69°26;79°24;74°19;79°24;90°	0°,20°34;8°01;0°;20°34;10°36;15°41;10°36;0°

Продолжение табл.3

Исследуемый трал	Циклы кройки $C_p = \frac{m-n}{2n}$	Углы резания $\alpha = arctg\frac{m}{n}$	Коэффициенты посадки U_2/U_1	Коэффициенты уклона $J = \frac{U_2}{U_1}$	Углы уклона $\alpha' = arctg\left(\frac{m}{n}\cdot J\right)$	Построечные углы атаки $\beta = 90^\circ - \alpha'$
		Вторая группа				
Придонный 24,2-метровый для СРТР-540	$\frac{m}{0}, \frac{I}{2}, \frac{I}{4}, 3\frac{I}{4}+2\frac{I}{5}, \frac{I}{2}, \frac{I}{3}, \frac{m}{0}, \frac{4}{I}+\frac{5}{I}$	$63^\circ30; 56^\circ I9; 55^\circ24; 63^\circ30; 59^\circ02; 90^\circ, 84^\circ I7$	0,87/0,50	I,775	$74^\circ I9; 69^\circ26; 68^\circ4I; 74^\circ I9; 7I^\circ20; 90^\circ, 86^\circ47$	$I5^\circ4I; 20^\circ34; 2I^\circ I9; I5^\circ4I; I8^\circ40; 0^\circ, 3^\circ I3$
Польский 24-метровый	$\frac{I}{3}+\frac{I}{2}, \frac{I}{4}, \frac{I}{2}, \frac{I}{I}, \frac{I}{2}, \frac{m}{0}$	$6I^\circ, 56^\circ, I9; 63^\circ30; 7I^\circ34; 63^\circ30; 90^\circ$	0,88/0,47	I,870	$73^\circ29; 70^\circ27; 75^\circ06; 80^\circ52; 75^\circ, 90^\circ$	$I6^\circ3I; I9^\circ33; I4^\circ54; 9^\circ58; I4^\circ54; 0^\circ$
		Третья группа				
Придонный 2I-метровый для РБ-80	$\frac{m}{0}, \frac{I}{2}, \frac{m}{0}$	$90^\circ, 63^\circ30; 90^\circ$	0,92/0,40	2,36	$90^\circ, 78^\circ, 90^\circ$	$0^\circ; I2^\circ; 0^\circ$
Польский 3I/27-метровый	$\frac{I}{I}+\frac{I}{2}, \frac{m}{0}$	$7I^\circ34; 63^\circ30; 90^\circ$	0,32/0,40	2,36	$82^\circ54; 78^\circ05; 90^\circ$	$8^\circ06; II^\circ55; 0^\circ$
Немецкий для куттера I40 л.с.	$\frac{m}{0}, \frac{I}{2}, \frac{m}{0}$	$90^\circ, 63^\circ30; 90^\circ$	0,9I/0,42	2,I6I	$90^\circ; 77^\circ; 90^\circ$	$0^\circ; I3^\circ; 0^\circ$
		Четвертая группа				
Английский донный 24-метровый грэнтона	$\frac{m}{0}, \frac{I}{2}, \frac{I}{4}, \frac{m}{0}$	$90^\circ, 63^\circ30, 56^\circ I9, 90^\circ$	0,83/0,56	I,48	$90^\circ, 7I^\circ20; 65^\circ44; 90^\circ$	$0^\circ; I8^\circ40; 24^\circ I6; 0^\circ$
Донный сельдяной 80-футовый для РТ	$\frac{I}{2}, \frac{I}{3}, \frac{I}{4}, \frac{I}{5}, \frac{m}{0}$	$63^\circ30, 59^\circ02, 56^\circ I9, 54^\circ30, 90^\circ$	0,9I/0,4I	2,I6I	$77^\circ, 74^\circ I3; 72^\circ5I, 7I^\circ48, 0^\circ$	$0^\circ; I3^\circ; I5^\circ47; I7^\circ09; I8^\circ I2; 0^\circ$

Во вторую группу входят I2 тралов, у которых при общей тенденции уменьшения построечных углов атаки к кутку имеются так называемые скачки, дающие не соответствующие общей тенденции увеличения углов атаки в отдельных частях мотни.

К третьей группе относятся 7 тралов, имеющих нулевой или близкий к нему построечный угол атаки крыльев, угол атаки $\beta = 12^0 \div 15^0$ (при цикле раскроя $C_r = \frac{1}{2}$ и коэффициенте уклона $J = 3{,}0 \div 2{,}0$) на протяжении всей длины трала по скверу и мотне и нулевой угол в кутке трала.

К четвертой, самой малочисленной группе относятся тралы, у которых построечный угол атаки по всей длине от крыльев до кутка увеличивается.

Результаты анализа дают возможность заключить, что в практике изготовления тралов имеются два основных направления: I) постепенное уменьшение построечных углов атаки от максимального в сквере ($\beta = 15^0$) до минимального при входе в куток ($\beta = 6^0$); 2) сохранение постоянного построечного угла атаки и соответствующих ему цикла раскроя и коэффициента уклона вдоль всей длины трала от крыльев до прямой части кутка ($\beta = 12^0 \div 15^0$).

Чтобы определить, какое из этих двух направлений в технологии изготовления сетных частей трала более рационально, необходимо сопоставить данные анализа с имеющимися теоретическими и экспериментальными данными. Если допустить, что у тралирующих орудий топенантная кромка представляет собой прямую, а не ломаную линию, во избежание образования сетных мешков в местах излома необходимо сохранять постоянный построечный угол атаки β по всей длине продольной кромки, что возможно лишь при стабильных цикле раскроя и коэффициентах посадки.

Рациональный способ формирования сетной поверхности

Образующаяся в процессе лова пространственная (рабочая) форма сетного орудия зависит от многих взаимосвязанных факторов: гидродинамического давления, скорости буксировки (или течения), оснастки, грунта, вылова рыбы и т.п., сводящихся к соотношению гидродинамических и статических сил, действующих на орудия лова.

При свободной фильтрации воды под действием в основном гидродинамического давления сетное полотно орудия лова стремится принять форму с минимальной поверхностью, т.е. форму

тела вращения, а его кромки приобретают криволинейные контуры.

Исходная форма сетного полотна, например, траловых орудий близка к прямому круговому конусу, который затем под влиянием оснастки и распорных досок трансформируется в эллиптический. Это подтверждается подводными наблюдениями, испытаниями орудий лова и их моделей в бассейнах, гидроканалах, в аэродинамических трубах и т.д., а также аналитическими исследованиями (Попов, 1955, Сучков,1971).

Исходная форма сетного полотна орудия лова в процессе его изготовления зависит от способа раскроя и посадки.Чаще всего применяют два способа:

1) постоянные цикл кройки и коэффициент посадки

$$C_r = const;\ U_1,\ U_2 = const;$$

2) постоянный цикл кройки и переменный коэффициент посадки $C_r = const;\ U_1, U_2 \neq const.$

Первым способом изготовляют тралы,ставные и закидные невода, ловушки, дрифтерные сети и т.п. Постоянным циклом выкраивают прямоугольные,трапециевидные, треугольные сетные фигуры, которые с постоянным коэффициентом сажают на подборы и пожилины.

Вторым способом изготовляют конусные мешки или кутки неводов, тралирующих орудий лова, ловушек и т.п. При этом обычно выкраивают (из одного или нескольких полос дели) прямоугольное сетное полотно нужных размеров, одну сторону полотна сажают на подбору или присоединяют к другой части орудия с заданным коэффициентом посадки U_1, а противоположную - с другими коэффициентами U_1' $(U_1' \neq U_1)$ или собирают в жгут (рис.4).

Однако оба эти способа имеют существенные недостатки.Они не обеспечивают, во-первых, требуемый сетной поверхности орудия с заданными размерами и формой ячей (второй способ часто дает сетную поверхность с так называемой слепой ячеей,вследствие чего снижается уловистость орудия лова, увеличивается расход сетематериалов и повышается сопротивление движению в воде), а во-вторых,- соответствия фактической формы изготовленного орудия лова его проектной форме (особенно в тех случаях, когда поверхность орудия лова близка к сетной поверхности вращения, как это имеет место у тралирующих орудий). А от фор-

мы орудия лова, его параметров в той или иной степени зависят все технико-эксплуатационные показатели.

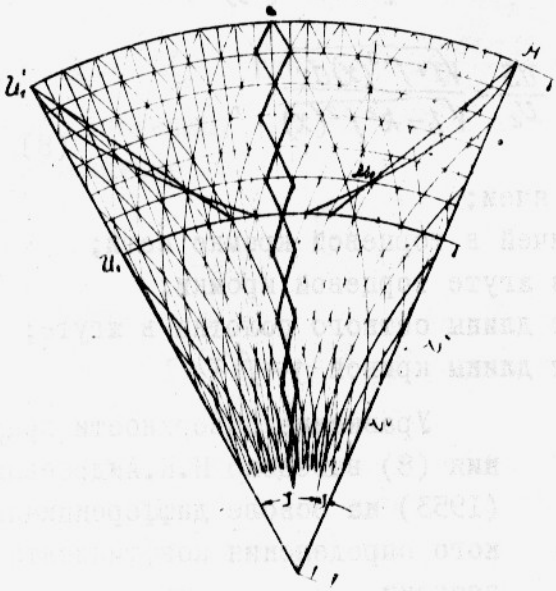


Рис.4. Сетное полотно орудия лова с дифференциально изменяющимся коэффициентом посадки

Как свидетельствуют результаты аналитических исследований и их экспериментальная проверка, единственным рациональным путем формирования поверхности тралирующих орудий лова является дифференциальное увеличение размера ячей сетного полотна от кутка до крыльев пропорционально длине образующей (топенанту) и уменьшение размера ячей крыльев от гужа до сборочной в соответствии с их длиной при сохранении постоянными коэффициентов посадки по всему тралу и числа ячей в поперечных рядах (рис.5).

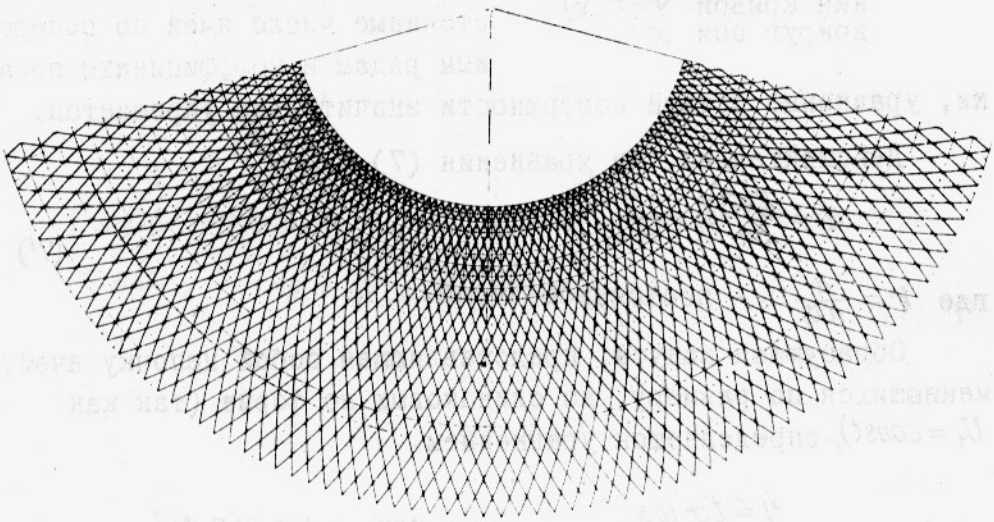


Рис.5. Развертка мотни цельновязанного трала

Допустим, сетная поверхность образована вращением кривой $y=f(x)$ вокруг оси X (рис.6). Тогда сечение, нормальное к оси x, в какой-либо произвольно взятой точке будет иметь периметр, равный

$$2\pi y = 2an U_1. \qquad (7)$$

Откуда

$$U_1 = \frac{2\pi y}{2an} = \frac{2\pi y}{L_o} = k \cdot y; \quad U_2 = \sqrt{1-(ky)^2};$$

$$U_2 = \frac{dS}{dL}; \qquad dL = \frac{dS}{U_2} = \frac{\sqrt{1+f'^2(x)dx}}{\sqrt{1-k^2 f^2(x)}}, \tag{8}$$

где a – размер ячеи;

n – число ячей в торцевой кромке сети;

$k = \frac{2\pi}{L_o}$, L_o – длина в жгуте торцевой кромки;

dL – элемент длины сетного полотна в жгуте;

dS – элемент длины кривой $y=f(x)$.

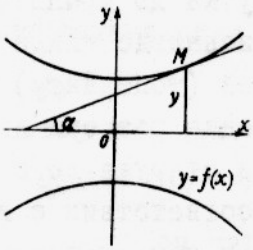


Рис.6. Образование сетевой поверхности вращения кривой $y=f(x)$ вокруг оси x

Уравнение поверхности вращения (8) выведено Н.Н.Андреевым (1953) на основе дифференциального определения коэффициента посадки.

Если за исходную форму тралирующих орудий принять прямой конус, у которого сетное полотно имеет дифференциально изменяющийся размер ячей и постоянные число ячей по поперечным рядам и коэффициенты посадки, уравнение сетной поверхности значительно упрощается.

Действительно, из уравнения (7) имеем

$$a = \frac{2\pi \cdot y}{2n \cdot U_1} = \frac{\pi}{n \cdot U_1} \cdot y = k' y \tag{7'}$$

где $k' = \frac{\pi}{n U_1}$ – постоянное число.

Образующая конуса, представляющая собой цепочку ячей, изменяющихся по размеру, но одинаковых по форме (так как $U_1 = const$), определяется уравнением

$$y = tg\,\varphi x, \qquad \text{или} \qquad y = \sin\varphi \cdot L,$$

где φ – половина угла конусности, или так называемый исходный угол атаки сетного полотна трала;

L – длина образующей конуса (сумма продольных диагоналей цепочки ячей).

Подставив значение $y = \sin\varphi \cdot L$ в уравнение (7'), получим

$$a = \frac{\pi \cdot \sin\varphi}{n U_1} \cdot L \qquad (9)$$

или $a_i = k'' L_i$ где $k'' = \frac{\pi \cdot \sin\varphi}{n U_1} = const$.

Измененный размер ячей в каждом последующем ряду будет определяться как

$$\Delta a_i = k'' \Delta L_i ,$$

где $\Delta L_i = 2 a_i \cdot U_2$

или $\Delta a_i = k'' \cdot 2 a_i \cdot U_2 = \eta a_i$ (10)

где $\eta = 2 k'' \cdot U_2 = \frac{2\pi \cdot \sin\varphi}{n} \cdot \frac{U_2}{U_1} = \frac{2\pi \sin\varphi}{n} \cdot J$.

Поскольку боковая поверхность тралирующего орудия, имеющего исходную форму прямого кругового конуса, развертывается на плоскость в виде кругового сектора с углом, определяемым по формуле $\beta' = \frac{R}{L} \cdot 360°$

его построечный угол атаки

$$\beta = \frac{\beta'}{2} = \frac{R}{L} \cdot 180° = \sin\varphi \cdot 180°$$

или $\beta_{рад.} = \pi \cdot \sin\varphi$, (11)

где R – радиус окружности основания конуса;

L – образующая конуса;

φ – $\frac{1}{2}$ угла конусности, или исходный угол атаки сетного полотна;

β – построечный угол атаки;

$\beta' = 2\beta$ – угол развертки конуса – кругового сектора.

Отсюда $\varphi = \arcsin\left(\frac{\beta_{рад}}{\pi}\right)$. (11)

Так как $\Delta a_i = a_i - a_{i-1} = \eta \cdot a_i$,

$$a_{i-1} = a_i (1 - \eta) = \eta' \cdot a_i \qquad (12)$$

где $\eta' = 1 - 2\beta_{рад} \frac{J}{n} = 1 - \frac{2\pi \cdot \sin\varphi}{n} \cdot J = const$;

a_i – размер ячеи данного ряда конусной сетной поверхности;

a_{i-1} – размер ячеи следующего ряда.

Изготовленные этим способом разноглубинные цельновязан-

ные тралы для РТМС во время промысловых испытаний в Центральной и Юго-Восточной Атлантике в 1974/75 г. показали хорошие технико-эксплуатационные качества.

Выводы

1. Каждому циклу раскроя соответствует определенный угол резания (вязания) и, наоборот, каждому углу резания - свой цикл раскроя, т.е.

$$C_r = \frac{1}{2}(tg\alpha - 1), \quad \alpha^\circ = arctg(2Cr + 1).$$

2. Построечный угол атаки сетного полотна орудия лова является функцией цикла кройки и коэффициентов посадки и находится из уравнения

$$\beta^\circ = arcctg[(2C_r + 1)\cdot J] \quad \text{, где } J = \frac{U_2}{U_1}.$$

3. Коэффициент посадки по любой наклонной кромке сетного полотна орудия лова рассчитывается по формуле

$$U_3 = \sqrt{U_2^2 + \left(\frac{U_1}{2Cr+1}\right)^2}.$$

4. В практике изготовления тралирующих орудий лова наиболее часто применяются построечные углы атаки $\beta = 12^\circ \div 15^\circ$. Во избежание образования сетных мешков необходимо сохранить постоянным угол атаки β на всем протяжении продольной (сшивной) кромки трала, т.е. сохранить постоянными цикл раскроя и коэффициенты посадки в соответствии с формулой

$$\beta^\circ = arctg\frac{U_1}{\sqrt{U_3^2(2C_r+1) - U_1^2}}.$$

5. Если допустить, что исходная форма тралирующих орудий представляет собой прямой круговой конус, у которого сетное полотно имеет дифференциально изменяющийся размер ячей, постоянное их число по поперечным рядам и постоянный коэффициент посадки, то поверхность сетного полотна $a = \frac{\pi \sin\varphi}{nU_1}\cdot L$ построечный угол атаки $\beta = \frac{R}{L}\cdot 180^\circ$, исходный угол атаки $\varphi^\circ = arcsin\left(\frac{\beta рад}{\pi}\right)$

6. Полное соответствие фактической формы сетного полотна его проектной форме обеспечивается дифференциальным изменением размера ячеи как в мотенной, так и в крыловой части. Размер ячеи в каждом поперечном ряду сетной поверхности трала рассчитывается по формуле

$$a_i = \frac{\pi \cdot \sin\varphi}{n \cdot U_1} \cdot L, \quad \text{или} \quad a_{i-1} = \eta' \cdot a_i,$$

где $\eta' = 1 - \frac{2\beta_{рад} \cdot J}{n}$.

Этот способ изготовления тралирующих орудий лова наиболее рационален.

Литература

Алексеев Н.И. О кройке сети на поверхности вращения. - "Бюллетень ПИНРО",1961, №4/18, с.12-14.

Алексеев Н.И. Формула для определения циклов резки сетного полотна при кройке на криволинейные контуры. - "Рыбное хозяйство", 1964, № 8, с.44-46.

Андреев Н.Н. Дифференциальное определение посадочного коэффициента. - "Труды Мосрыбвтуза", 1953, вып.5, с.69-77.

Андреев Н.Н. Расчет фигурной кройки подъемных дорог ставных неводов. - "Труды ВНИРО", 1959, т.XXXУП, с.148-160.

Андреев Н.Н. Уравнение поверхности сетного полотна, прикрепленного к двум обручам. - "Труды Калининградского рыбвтуза", 1960, вып.XI, с.15-28.

Андреев Н.Н. Выбор величины посадочного коэффициента. - "Труды Калининградского рыбвтуза", 1962, вып.XIУ, с.25-90.

Андреев Н.Н. Три задачи из теории посадки сетного полотна. - "Труды ВНИРО", 1962, т.XLУП, с.137-143.

Баранов Ф.И. Техника промышленного рыболовства. М., Пищепромиздат, 1960, 695 с.

Войниканис-Мирский В.Н. Техника промышленного рыболовства. М., Гизлегпищепром, 1953, 386 с.

Войниканис-Мирский В.Н. Учет посадки при определении сопротивления сетей движению в воде. - "Рыбное хозяйство", 1952, № 9, с.55-56.

Зонов А.И. К расчету формы рыболовных сетей. - "Научно-технический бюллетень ВНИОРХ", 1957,с.70-76.

Попов Б.А. О подъемной силе сети, помещенной в поток. - "Труды ВНИРО", 1955, с.146-154.

С т а р о в о й т о в П.А. Посадка сетей в тралах. - "Материалы сессии Ученого совета ПИНРО по результатам исследований в 1962-1964 гг." М., Пищепромиздат, 1964, с.209-217.

С у ч к о в А.И. Аналитическое исследование взаимосвязи оптимальной (естественной) формы и гидромеханических свойств тралообразных сетей и их влияние на эксплуатационные качества орудий лова. М., изд. ВНИРО, 1971, 31 с.

Т р е щ е в А.И. Теоретические основы лова рыбы разноглубинным тралом. - "Труды ВНИРО", 1957, т.XXXУШ,с.24-36.

Ф р и д м а н А.Л. Об особенностях сопротивления рыболовных сетей. - "Рыбное хозяйство", 1967, №6, с.38-40.

T a u t i, M.; M i u r a, T.; S u g u, K. Resistance of plane net in water. J.Imper.Fish.Inst. Vol.XXI, No.2, 1925.

S c h l i e k e r, E. Gesichtspunkte zur Frage der Anwendung randparalleler Maschen. Dt.Fischerei-Zeitung, Bd.X, Mai No.5, 1963, Berlin, 62-68.

S c h m i d t, K. Die Anwendung von Randparallelen im modernen Reusenbau. Dt. Fischerei-Zeitung, Bd.8, 1961, Berlin 73-79.

K o n d o, I., M.S u z u k i. The distribution of stress on a fishing net-II on the impact load. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. Vol. 26, No.6, 12-17, 1960.

K o n d o,I. The distribution of stress on a fishing net-III. A study on the fishing net, a certain bar broken. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. vol. 27, No.1, 17-21, 1961.

Some technological problems of making trawls

V.N.Sovetov

S u m m a r y

One of the possibilities of increasing engineering and economic characteristics and decreasing the primary cost of fishing gear is perfection and optimization of manufacturing technology. The interrelation of hanging ratios and cycles of cutting sheets of netting and their influence on the so-called designed and working angles of attack of netting parts of the gear and rational ways of formation of the net surface are investigated.

Some formulae are suggested to estimate hanging ratios on any inclined selvedges of netting and angles of cutting with respect to cutting cycles. The relationship of the designed angle of attack and these values is ascertained. In practice, it is found that the designed angles of attack of 12-15° are frequently used at making fishing gear.

If it is assumed that the initial form of the trawl is a right taper with a constant hanging ratio the most efficient way is to plan the whole sheet of netting with diffirentially - varying mesh sizes and constant number of meshes in transversal rows. The operational and engineering properties of mid-water trawls made of a sheet of netting have proved to be good under fishing conditions.

Том СXXП

Т р у д ы
Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)

1977

УДК 639.2.081.117

К ТЕОРИИ ЛОВА РЫБЫ ТРАЛИРУЮЩИМИ ОРУДИЯМИ

Н.Н.Андреев

Тралирующие орудия

По классификации, впервые предложенной Ф.И.Барановым (1933), тралирующими называют орудия, которые во время лова буксируют, облавливая таким образом огромные объемы воды при сравнительно небольших размерах невода. Отличительная конструктивная особенность тралирующих орудий - наличие большого глубокого конусообразного сетного мешка и отсутствие крыльев. Захват рыбы орудиями этого типа обеспечивается большими размерами устьевой части сетного конуса и соответствующей скоростью буксировки.

К тралирующим орудиям относятся всевозможные тралы для лова с одного или двух судов. Отнесение к орудиям этого типа донных неводов, на наш взгляд, не совсем верно, поскольку принцип их действия основан на окружении рыбы длинными урезами с последующей концентрацией ее перед устьем мотни невода. У этих неводов урезы выполняют роль крыльев. Поэтому донные невода относятся скорее к обкидным, чем к тралирующим орудиям лова.

По-видимому, прав И.В.Никоноров (1968), который тралирующие орудия делит на горизонтальные и вертикальные, относя к последним подхваты,поддоны и подъемные невода.В частности,по этой классификации к тралирующим орудиям следует относить и конусные сети,применяемые для лова каспийской кильки на электросвет. Эти орудия безусловно подходят под то определение, которое дал тралирующим орудиям Ф.И.Баранов (1933).

Уловистость тралирующих орудий

Существует два понятия уловистости трала: абсолютная и относительная. Под первой Ф.И.Баранов понимал отношение улова

трала ко всему количеству рыбы, находившейся в протраленном объеме воды. Если сравнить уловистость двух тралов, приняв при этом уловистость одного из них за единицу, получим относительную уловистость второго трала. Легко видеть, что эта величина может быть больше I, поэтому ее физическая сущность совершенно иная, чем физическая сущность абсолютной уловистости.

В дальнейшем были сделаны многочисленные попытки не только определить величину абсолютной и относительной уловистоти трала, но и видоизменить эти понятия с тем, чтобы наилучшим образом характеризовать эффективность работы трала. Подробная библиография по этому вопросу приведена в книге А.Л.Фридмана, М.М.Розенштейна и В.Н.Лукашева (1973).

Сравнительная уловистость трала важна только при оценке преимуществ новых конструкций перед существующими. Для решения теоретических вопросов тралового промысла необходимо пользоваться понятием "абсолютная уловистость", которую в дальнейшем мы будем называть просто уловистостью и обозначать буквой φ .

Так как абсолютная уловистость трала является объективным показателем достоинств той или иной конструкции трала, ее определение имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение.

Несмотря на то что уловы современных тралов достигают большой величины, их уловистость, безусловно, заметно меньше единицы, т.е. часть рыбы, находящаяся в зоне облова, в процессе лова уходит от трала. Часть рыб, попав в траловый мешок, в дальнейшем проходит сквозь сетное полотно (отсеивается), а часть уходит из зоны облова, совсем не попадая в трал. Некоторые специалисты даже считают, что абсолютная уловистость тралов при лове таких рыб, как тресковые, имеет малую величину (Дубровский,1964).

Было сделано много попыток определить уловистость трала экспериментально или путем расчета. Первый метод расчета уловистости трала был предложен Ф.И.Барановым в 1918 г. Тогда же он установил, что уловистость тралов для лова камбалы - выше 0,25, как до этого считал Гейнке (Баранов,1971). Значительно позднее Ф.И.Баранов (1969) предложил другой, более простой метод оценки уловистости трала.

В дальнейшем определением уловистости трала занимались

многие исследователи. Так, по данным В.Н.Честного (1961), уловистость камбального трала составляет 0,5. Ю.С.Сергеев (1969) нашел, что уловистость 31-метрового трала для лова сельди и хека при скорости буксировки 4 узла равна 0,46, а при 4,5 узла - 0,57. В целом для лова подвижных и малоподвижных рыб, по данным В.А.Ионас (1966), уловистость колеблется от 0,2 до 0,5.

Таким образом, можно считать экспериментально установленным, что при лове тралами некоторая часть рыб, иногда значительная, уходит из зоны облова.

Теоретические исследования уловистости тралов

Несмотря на то что в современном мировом рыболовстве лов тралами является основным и что вопросам проектирования тралов посвящено очень много работ, до сих пор нет единой, всеми признаваемой теории лова рыбы тралами. Между тем невозможно создать теорию уловистости трала, если нет ясного представления о том, как рыба попадает в трал. На первый взгляд кажется, что легче понять, почему дальневосточная треска не ловится тралами, чем объяснить, почему этот сильный хищник попадает в тралы в Баренцевом море.

Первый и, пожалуй, наиболее обстоятельной работой по созданию теории уловистости трала были исследования С.Б.Гюльбадамова (1958). В этих исследованиях подробно рассмотрены все факторы, определяющие конструктивные особенности трала, и на этой основе даны конкретные рекомендации по выбору основных параметров трала. При проектировании тралов должны быть учтены следующие биологические факторы: " ... характер распределения рыб; наиболее часто встречающиеся размеры рыб; размеры стай (косяков) рыб; скорость перемещения косяков в воде при обычных условиях и в момент испуга, т.е. "скорость бросков рыбы"; величина "бросков" или же продолжительность этого процесса; зрительная способность объекта лова, т.е. дальность видения рыбы в воде; реакция рыбы на звуковые раздражители и дальность восприятия ею звуков; реакция рыбы на сетное полотно, движущееся в воде с некоторой скоростью; некоторые специфические особенности в поведении рыбы при встрече с препятствиями"(Гюльбадамов, 1958).

По С.Б.Гюльбадамову, площадь устья трала

$$S_y = C_k'' + \pi\left[\left(\frac{h_k}{2} + \eta_p\right)^2 - \left(\frac{h_k}{2}\right)^2\right],$$

или $S_y = C_k'' + \pi(h_k b_p + b_p^2)$;

площадь входного отвертсия в кутке трала

$$S_b = \pi(b_p + l^k)^2$$

вертикальное раскрытие трала

$$B^o_{тр.} = h_k + 2b_p$$

горизонтальное раскрытие трала

$$A^o_{тр.} = B^o_{тр.} + 2b_{p.} = h_k + 4b_p;$$

где C_k'' – площадь поперечного сечения косяка вертикальной плоскостью;

h_k – размер косяка по вертикали;

b_p – дальность видения рыбы;

l^k – расстояние объекта лова от осевой линии кутка.

Эта интересная работа С.Б.Гюльбадамова вызвала оживленную дискуссию и привлекла к проблеме теории тралового лова многих специалистов.

А.И.Зонов (1964), а затем Ю.С.Сергеев (1969) сделали попытку использовать теорию лова ловушками, разработанную М.Таути для построения по этой схеме теории тралового лова. Исходя из этого, путем простых рассуждений А.И.Зонов пришел к уравнению

$$q = \frac{a_k S V}{b}(1 - e^{-bt}),$$

где q – количество рыбы, пойманной тралом за время траления;

k – концентрация рыбы в облавливаемом объеме;

S – площадь устья трала;

V – скорость траления;

a – безразмерный коэффициент пропорциональности, показывающий, какая часть рыбы, находящейся перед тралом, попадает в трал, т.е. уловистость трала;

b – коэффициент, показывающий, какая часть рыбы, попавшая в трал, уходит из него за единицу времени.

Коэффициент b, по мнению А.И.Зонова, зависит от подвижности рыбы и скорости траления. Величина коэффициента b определяется скоростью траления, подвижностью рыб, их размером и величиной ячей в трале. По утверждению автора, этот коэффициент имеет размерность $\left[\frac{1}{t}\right]$.

Не вдаваясь в обсуждение правомерности использования теории лова ловушками для построения теории тралового лова, а такие сомнения, безусловно, есть, так как принципы лова этими

орудиями и поведение рыб при встрече с ними совершенно различны, хотелось бы только отметить совершенно различный подход к решению задачи у С.Б.Гюльбадамова, с одной стороны, и у А.И.Зонова и Ю.С.Сергеева - с другой. Первый искал такие параметры траловой системы, при которых данный объект будет пойман обязательно; вторые попытались описать процесс накопления рыбы в трале с течением времени траления.

Для построения правильной теории лова тралами необходимо исходить из особенностей поведения рыб при встрече с тралом. К настоящему времени в результате многочисленных подводных наблюдений за ловом рыбы тралом накоплен обширный материал, подтверждающий высказанную Ф.И.Барановым (1971) мысль, о том, что некоторая часть рыб, находящаяся на пути движения трала, уходит, т.е. не попадает в трал.

Наиболее обстоятельные наблюдения за процессом поимки рыбы тралом провели В.К.Коротков и А.С.Кузьмина (1972). По этим наблюдениям,рыба, находящаяся в устье трала, не стремится уйти из зоны облова, а держится на расстоянии нескольких метров от сетного полотна; только попадая в более узкую, предкутковую часть сетного мешка, рыба начинает метаться и искать выход из трала. "Перед входом в траловый мешок, когда периметр поперечного сечения сетного конуса уменьшается примерно до 7-8 м,комплекс оптических и акустических раздражителей и давление за счет уменьшения фильтрации воды ..., очевидно, становятся настолько сильными, что у рыб нарушается равновесие между отдельными анализаторами, стайные контакты теряются, движения становятся беспорядочными, и рыба стремится выйти из трала через ячею сетного полотна. Если размер ячеи подобран без учета реакции облавливаемой рыбы, то она сильно объячеивается" (Коротков, Кузьмина,1972).

Из этого следует, что при встрече с тралом рыба ведет себя совершенно иначе, чем при встрече с ловушками. Конечно, поведение рыбы, которое наблюдали В.К.Коротков и А.С.Кузьмина, видимо, является частным случаем. Из литературы известно, что одни рыбы при встрече с тралом пытаются уйти через его верхнюю подбору, а другие прижимаются ко дну водоема. Однако еще никто не наблюдал, чтобы рыба при встрече с тралом вела себя так же, как при встрече с крылом и входным устройством ловушки.

Совершенно новую и очень интересную идею развил в своих работах В.А.Ионас (1966,1967). Используя анализ размерностей,

он установил, что уловистость трала можно представить в следующем виде:

$$\varphi = 1 - \frac{r^2 v_p}{S v},$$

где r – расстояние, на котором рыба ощущает трал как опасность;
v_p – скорость ухода рыбы из зоны облова;
S – площадь устья трала;
v – скорость траления.

Путем весьма остроумных рассуждений эту формулу автор преобразовал следующим образом:

$$\varphi = 1 - \frac{v_0}{v}$$

где v_0 – скорость, при которой трал не ловит рыбу.

Используя данные А.В.Лестева по лову сельди и трески в Беринговом море, В.А.Ионас и получил приведенные выше цифры уловистости тралов.

Из всех биологических факторов, которые необходимо учитывать при определении уловистости трала, самым трудным для количественного выражения является p_p – дальность видения рыбы (по терминалогии С.Б.Гюльбадамова), или r – расстояние, на котором рыба ощущает трал как опасность (по терминалогии В.А.Ионаса).

Ю.С.Сергеев правильно замечает, что конкретную реакцию рыбы на движущийся трал (скорость ухода рыбы, скорость броска, дальность видения и т.д.) очень трудно выразить количественно К тому же не совсем ясно, по каким причинам одни рыбы спокойно заходят в трал (дают себя поймать), а другие уходят из облавливаемого пространства. Например, прямыми наблюдениями установлено, что во многих случаях рыба и видит, и слышет трал, но на него не реагирует. По-видимому, реакция рыбы на попытки поймать ее определяется более "тонкими" факторами (физиологическим состоянием, "настроением", состоянием физических полей и т.д.), чем видимость сети в воде, звуки, которые издает движущийся трал и т.д. Выбирать наугад эти факторы и на основании их учета строить модель лова – малоэффективный путь. Когда не знаешь, что ищешь, легко можно пройти мимо того, что надо искать.

С другой стороны, правильная теория лова (и не только тралами) может быть построена только путем учета всех конкретных факторов поведения рыб. На первый взгляд, возникает тупик, так как изучением конкретных факторов поведения рыб никто до сих пор не занимался и не занимается. Но на самом

деле из этого тупика есть выход. Теорию тралового лова можно построить, вводя в расчет обобщенные биологические характеристики поведения рыб, которые учитывают все возможные виды внешних воздействий на рецепторы рыбы и ее реакцию на эти раздражители. По такому принципу в свое время была построена теория лова рыбы кошельковыми неводами, которая вполне удовлетворительно объясняет многие закономерности, наблюдающиеся на практике.

Теория лова тралом, имеющим круговое устье

При построении теории лова тралом будем исходить из того, что в процессе лова часть рыбы уходит из облавливаемого пространства, при этом интенсивность ухода определяется биологическими особенностями объекта лова и внешними условиями и она тем больше, чем ближе к сетной поверхности трала находится рыба.

Пусть устье трала имеет в сечении, перпендикулярном к линии движения, форму круга, описанного радиусом R (рис.I). Пусть, далее, вся рыба, находящаяся на площади кругового кольца, имеющего ширину h_1 и примыкающего к подборам, уходит из трала. Кроме того, предположим, что часть рыб, находящихся в плоскости следующего кольца, имеющего ширину h_2, уходит из трала лишь частично. Для расчета положим, что интенсивность ухода с площади этого кольца уменьшается по линейному закону от внешней части, становясь равной нулю на внутренней границе кольца. Вся рыба, находящаяся внутри круга, образованного этим кольцом, попадает в трал.

Если рыба распределена по всему объему воды равномерно с плотностью n шт./м^3, при перемещении трала на I м будет поймано с площади внутреннего круга

$$q_1 = \pi n (R - h_0)^2$$

где q_1 - число пойманных рыб, $h_0 = h_1 + h_2$.

Количество рыб, которое будет поймано с внутреннего кольца, можно вычислить следующим путем. На расстоянии r от центра круга вырежем кольцо бесконечно малой толщины.

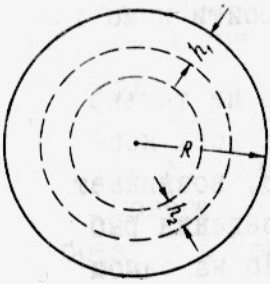


Рис.I. Расчетная схема к теории лова тралами, имеющими круговое устье

Площадь этого кольца будет равна $dS = 2\pi r dr$, где dr – толщина (по радиусу) кольца. Предположим теперь, что, начиная с расстояния $R - h_o$ от центра, часть рыб уходит из облавливаемого пространства, при этом интенсивность ухода прямо пропорциональна расстоянию от центра круга, т.е. на расстоянии $R - h_o$ интенсивность ухода равна 0, а на расстоянии $R - h_1$ она равна n.

Тогда плотность пойманной рыбы n_i на расстоянии r от центра круга $[(R-h_o) < r < (R-h_1)]$ будет равна

$$n_i = n\left[1 - \frac{r-(R-h_o)}{h_2}\right] = \frac{n}{h_2}(R-h_1-r).$$

Улов с площади элементарного кольца равен

$$dq = n_i dS = 2\pi n \frac{R-h_1-r}{h_2} r dr = \frac{2\pi n}{h_2}\left[(R-h_1)r - r^2\right] dr.$$

Интегрируя это уравнение в пределах от $R-h_o$ до $R-h_1$ получим

$$q_2 = \frac{2\pi n}{h_2}\int_{R-h_o}^{R-h_1}\left[(R-h_1)r - r^2\right] dr = \frac{2\pi n}{h_2}\left|\frac{1}{2}(R-h_1)r^2 - \frac{r^3}{3}\right|_{R-h_o}^{R-h_1}$$

Подставляя пределы интегрирования и преобразовывая, получим

$$q_2 = \frac{2\pi n}{h_2}\left\{\frac{1}{6}(R-h_1)^3 - (R-h_o)^2\left[\frac{1}{2}(R-h_1) - \frac{1}{3}(R-h_o)\right]\right\}.$$

Общий улов Q равен $q_1 + q_2$ т.е.

$$Q = \pi n\left\{(R-h_o)^2 + \frac{2}{h_2}\left[\frac{1}{6}(R-h_1)^3 - (R-h_o)^2\left[\frac{1}{2}(R-h_1) - \frac{1}{3}(R-h_o)\right]\right]\right\}$$

Преобразовывая и упрощая, находим

$$Q = \frac{\pi n}{3h_2}\left[(R-h_1)^3 - (R-h_o)^3\right] \qquad (I)$$

В этой формуле неизвестны три величины, зависящие от биологических особенностей объекта лова и внешних условий (состояние физических полей, температура воды, прозрачность, конструкция траловой системы и т.д.). Эти параметры могут быть легко определены экспериментальным путем, если иметь в виду, что при лове однотипными тралами (различающимися лишь площадью входного устья) величины h_1 и h_2 (следовательно и h_o) зависят главным образом от поведения объекта лова. Поэтому при одновременном лове тремя тралами разных размеров получим три уравнения с тремя неизвестными величинами n, h_1 и h_2, которые не зависят от размеров трала.

Уловистость трала

$$\varphi = \frac{Q}{\pi R^2 n} = \frac{1}{3h_2 R^2}\left[(R-h_1)^3-(R-h_0)^3\right] \qquad (2)$$

может быть определена делением улова на площадь устья трала, так как рассматривается перемещение трала на I м.

Простой анализ показывает, что $\varphi = 1$, когда $R=\infty$

В самом деле, уравнение (I) можно представить в следующем виде:

$$Q = \pi n\left[R^2 - R(h_1+h_0) + \frac{1}{3h_2}(h_0^3-h_1^3)\right].$$

Следовательно,

$$\varphi = 1 - \frac{h_1+h_0}{R} + \frac{h_0^3-h_1^3}{3h_2R^2} \qquad (2')$$

При увеличении R два последних члена этого уравнения убывают, так как h_1 и h_2, а следовательно, h_0 остаются постоянными.

При уменьшении величины R уменьшается площадь центральной зоны, в пределах которой рыба, находящаяся там, полностью улавливается тралом. Когда $R \leq (h_1+h_2)$ эта зона исчезает, и со всех точек облавливаемого пространства часть рыбы уходит. В случае, когда $R = h_1 + h_2 = h_0$ улов равен

$$Q = \frac{\pi n}{3h_2}(R-h_1)^3 \qquad (I')$$

С другой стороны, $\varphi = 0$, когда $h_1 = R$ а $h_2 = 0$.

Так как вся рыба не может уходить из процеживаемого объема (мы не рассматриваем случай, когда $Q=0$), при дальнейших расчетах всегда надо считать, что $h_2 > 0$. С другой стороны, возможен случай, когда поведение рыбы и параметры рыболовной системы таковы (поведение объекта лова, размеры орудия, скорость буксировки и т.д.), что $R < h_0$ и даже $R < h_2$ В этом случае улов можно определить следующим путем.

Положим, что $h_2 > R$ Тогда плотность пойманных рыб в центре устьевого круга будет меньше, чем n, т.е. $n_0 < n$ Определим n_0, предположив, что

$$\frac{n}{h_2} = \frac{n_0}{R-h_1},$$

т.е. что рыба уходит с такой интенсивностью, при которой количество пойманных рыб (плотность пойманных рыб) в центре

круга меньше, чем n , и убывает по линейному закону в зависимости от расстояния от центра круга.

Плотность пойманных рыб в центре круга равна

$$n_o = n\frac{R-h_1}{h_2}.$$

Если теперь повторить предыдущие расчеты, считая, что плотность улавливаемых рыб в центре круга равна n_o , то

$$\frac{n_o}{R-h_1} = \frac{n_i}{R-h_1-r},$$

или $$n_i = \frac{n}{h_2}(R-h_1-r),$$

т.е. выражение для n_i имеет тот же вид, что и в первом случае.

Улов с элементарного кольца, отстоящего на расстояние r от центра круга, будет равен

$$dq = \frac{2\pi n}{h_2}(R-h_1-r)rdr.$$

Общий улов получим, интегрируя это выражение от 0 до $R-h_1$, так как при $r=0$ $n_i = \frac{n}{h_2}(R-h_1) = n_o$.

Имеем

$$Q = \frac{2\pi n}{h_2}\int_0^{R-h_1}(R-h_1-r)rdr = \frac{2\pi n}{h_2}\left[(R-h_1)\frac{1}{2}(R-h_1)^2 - \frac{1}{3}(R-h_1)^3\right],$$

или $$Q = \frac{\pi n}{3h_2}(R-h_1)^3. \qquad (3)$$

Таким образом, в случае, когда $R < h_o$ зависимость улова от параметров рыболовной системы имеет тот же вид, что и в случае, когда $R = h_o$.

Вычисления показывают, что величина Q , определяемая по формуле (I), совпадает с величиной Q , определяемой по формуле (3), только при $R = h_o$. Во всех других случаях эти формулы дают различные результаты. С этим необходимо считаться при определении уловистости трала.

Решение уравнения (I) громоздко. Его можно упростить:

$$Q = \pi n\left[R^2 - R(2h_1+h_2) + h_1^2 + h_1h_2 + \frac{1}{3}h_2^2\right].$$

Если $h_1 = 0$, то

$$Q=\pi n\left(R^2-h_2R+\frac{1}{3}h_2^2\right). \qquad (I'')$$

Если при этом $h_2>R$, из формулы (3) получим

$$Q=\frac{\pi n R^3}{3h_2}. \qquad (I''')$$

Наличие зависимостей (I''), (I''') и (3) может существенно упростить анализ экспериментальных данных. Обработку опытного материала следует начинать с выяснения принципиальной стороны проблемы: имеется ли внешняя зона, с площади которой вся находящаяся на ней рыба уходит из процеживаемого объема, т.е. имеет ли место неравенство $h_1>0$. Затем следует выяснить, существует ли внутреннее кольцо, с которого вся рыба улавливается тралом. Если $h_0<R$, то это кольцо существует.

Из рис.2, на котором изображена зависимость φ от R для двух конкретных случаев, видно, что уловистость трала при увеличении его размеров вначале быстро возрастает. В дальнейшем, по мере увеличения R, уловистость изменяется мало и улов трала возрастает примерно пропорционально площади устья. На рис.3 показан характер изменения улова в зависимости от размеров трала (верхняя линия - изменение площади устья).

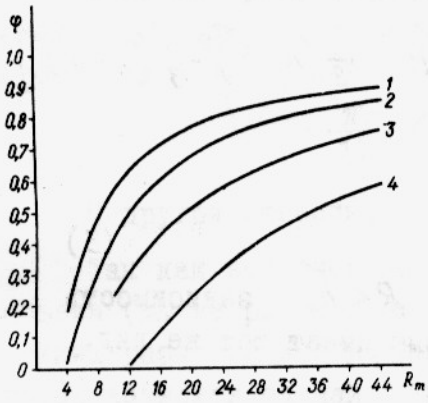


Рис.2.График зависимости уловистости трала от размера его устья:

I- h_1=Iм, h_2=3м;
2- h_1=3м, h_2=Iм;
3- h_1=Iм, h_2=IOм;
4- h_1=IOм, h_2=Iм

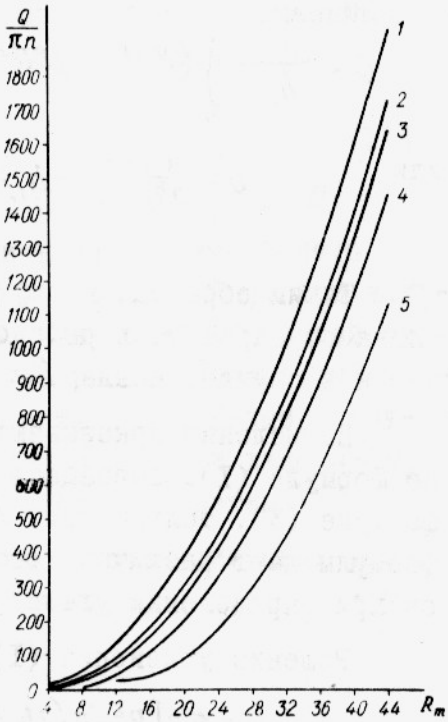


Рис.3.График зависимости улова от размеров устья трала:

I- $\frac{3}{\pi}=R^2$; 2- h_1=Iм; h_2=3м; 3- h_1=3м, h_2=Iм;
4- h_1=Iм, h_2=IOм; 5- h_1=IOм, h_2=Iм

Как видно из рис.3, при больших размерах трала кривые улова идут примерно параллельно друг другу и кривой изменения площади устья.

Теория лова тралом, имеющим прямоугольное устье

Предлагаемая модель пригодна не только для тралов, имеющих устье в виде кругового кольца. Предположим, например, что сечение устья вертикальной плоскостью, перпендикулярной к линии движения трала, имеет форму прямоугольника со сторонами L и H (рис.4). Пусть рыба, находящаяся в полосе шириной h_1 от подбора и боковых кромок, уходит из процеживаемого объема воды полностью, а из следующей полосы шириной h_2 – частично. Улов такого трала при продвижении вперед на I м можно определить следующим путем.

Улов с внутреннего прямоугольника равен

$$q_1 = n(L-2h_0)(H-2h_0) = n\left[LH-2h_0(H+L)+4h_0^2\right].$$

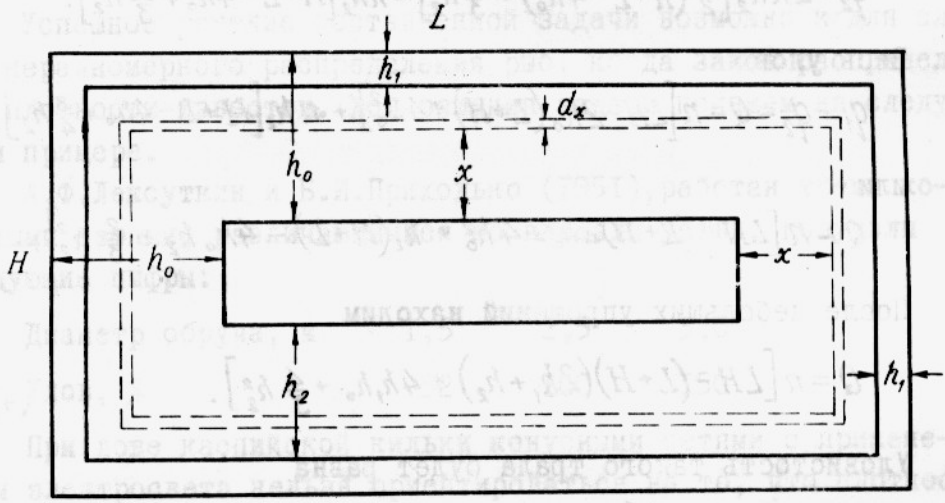


Рис.4. Расчетная схема к теории лова тралами, имеющими прямоугольное устье

Для определения улова с внутренней полосы вырежем полоску шириной dx, отстоящую от внутреннего прямоугольника на расстояние x. Ее площадь с точностью до бесконечно малых второго порядка равна

$$dS = 2\left[H+L-4h_0+4x\right]dx.$$

Плотность распределения пойманных рыб n_i на площади этой полоски можно найти из пропорции

$$\frac{n}{h_2} = \frac{n_i}{h_2-x}$$

Следовательно,

$$n_i = n\left(1-\frac{x}{h_2}\right).$$

Улов с площади рассматриваемой полосы равен произведению $n_i\,dS$, т.е.

$$dq_2 = 2n\left(H+L-4h_0+4x\right)\left(1-\frac{x}{h_2}\right)dx.$$

Очевидно, весь улов равен

$$q_2 = \int_0^{h_2} 2n\left(H+L-4h_0+4x\right)\left(1-\frac{x}{h_2}\right)dx,$$

или

$$q_2 = 2n\int_0^{h_2}\left(H+L-4h_0\right)dx - 2n\int_0^{h_2} x\left(4-\frac{H+L-4h_0}{h_2}\right)dx - 2n\int_0^{h_2}\frac{4}{h_2}x^2dx.$$

После интегрирования и упрощения получим

$$q_2 = 2nh_2\left[\frac{1}{2}\left(H+L-4h_0\right)+\frac{2}{3}h_2\right] = nh_2\left[H+L-4h_0+\frac{4}{3}h_2\right].$$

Весь улов

$$q_1+q_2 = Q = n\left[LH-2h_0\left(L+H\right)+4h_0^2\right]+nh_2\left[H+L-4h_0+\frac{3}{4}h_2\right],$$

или

$$Q = n\left[LH-(L+H)2h_0+4h_0^2+h_2(H+L)-4h_0h_2+\frac{2}{3}h_2^2\right].$$

После небольших упрощений находим

$$Q = n\left[LH-(L+H)(2h_1+h_2)+4h_1h_0+\frac{4}{3}h_2^2\right]. \qquad (4)$$

Уловистость такого трала будет равна

$$\varphi = 1-\frac{(L+H)(2h_1+h_2)+4h_1h_0}{LH}+\frac{4h_2^3}{3LH}. \qquad (5)$$

Сравнивая формулы (I) и (4), а также (2) и (5), можно убедиться в том, что характер зависимостей Q и φ от размеров устья трала остался таким же, как и в первом случае.

Следуя изложенному методу, можно рассмотреть случай, когда вдоль одной из сторон ширина полос h_1 и h_2 будет иной, чем вдоль трех других сторон (такая ситуация имеет место при лове рыбы донными тралами). Для этого случая вычисления окажутся лишь более громоздкими, но принципиальная возможность решений и методы их нахождения не изменятся.

Сопротивление трала движению в воде пропорционально примерно площади его устья. Поэтому интересно сравнить уловы и уловистость тралов, равных по площади устья, но разных по его форме. Решение этой задачи в общем виде очень громоздко. Конкретные вычисления показывают, что уловы тралов с круговым сечением устья значительно больше, чем с прямоугольным и даже квадратным. Следовательно, тралы с круговым сечением обладают и большей уловистостью. Этот вывод имеет большое практическое значение, так как показывает путь повышения уловистости тралов.

Естественно, этот вывол справедлив только для случаев равномерного распределения рыбы (не только в горизонтальном, но в вертикальном направлениях), одинакового поведения рыбы во всех направлениях, одинаковой реакции рыбы на тралы различных размеров и т.д.

Теория лова тралом при переменной плотности рыбы

Успешное решение поставленной задачи возможно и для случев неравномерного распределения рыб, когда закон распределения плотности известен. Ход решения задачи покажем на следующем примере.

А.Ф.Лексуткин и Б.И.Приходько (1951), работая тремя конусными сетями, различающимися по площади устья, получили следующие цифры:

Диаметр обруча, м	1,5	2,5	3,0
Улов, %	52	100	150

При лове каспийской кильки конусными сетями с применением электросвета нельзя ориентироваться на то, что плотность рыбы в скоплении постоянна. Действительно, при концентрировании каспийской кильки одиночным источником подводного света плотность скопления рыб, по данным подводных наблюдений, меняется, уменьшаясь с удалением от центра.

Методически не очень строгими опытами А.Ф.Лексуткин и Б.И.Приходько определили плотность скопления кильки на различных расстояниях от источника света. Обрабатывая их данные, В.В.Решетняк (1969) пришел к следующему закону распределения плотности:

$$n = n_0 e^{-0,5r}, \qquad (6)$$

где n – плотность в точке, находящейся на расстоянии r от источника света,

n_0 – плотность у источника света.

При подъеме конусной сети она "вырезает" из сферы, которую образует косяк рыбы, цилиндр диаметром, равным диаметру обруча сети и высотой, равной глубине горизонта лова.

Введем обозначения по рис.5, считая, что источник света находится в начале координат. Тогда

$$n = n_0 e^{-kr} = n_0 e^{-k\sqrt{x^2+y^2}}.$$

Вследствии симметрии в качестве элементарного объема dv можно взять

$$dv = 2\pi x\,dx\,dy.$$

Количество рыбы в этом объеме

$$dQ = 2\pi n_0 x e^{-k\sqrt{x^2+y^2}}\,dx\,dy.$$

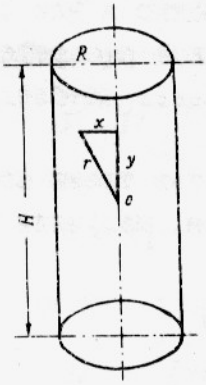


Рис.5. Расчетная схема к теории лова конусными сетями на электросвет

Следовательно, количество рыб в объеме цилиндра радиусом R и высотой H можно найти двойным интегрированием:

$$Q_0 = n_0 \int_0^H dy \int_0^R 2\pi x\,dx\,e^{-k\sqrt{x^2+y^2}}. \qquad (7)$$

Этот интеграл можно взять только численно. Для вычислений на ЭВМ его полезно преобразовать. Положим, что

$$y = H\xi; \quad \frac{1}{k^2} Z = x^2 + y^2.$$

Отсюда

$$dy = H d\xi, \quad 2x\,dx = \frac{dz}{k^2}.$$

Подставляя эти значения в подинтегральное выражение, будем иметь

$$Q_0 = \frac{\pi n_0 H}{k^2} \int_0^1 d\xi \int_{y^2}^{(R^2+y^2)k^2} e^{-\sqrt{z}}\,dz$$

или

$$Q_0 = \frac{\pi n_0 H}{k^2} \int_0^1 d\xi \int_{k^2H^2\xi^2}^{k^2(R^2+H^2\xi^2)} e^{-\sqrt{z}}\, dz = \frac{\pi n_0 H}{k^2} J(kH, kR). \qquad (7')$$

Таким образом, решение задачи об определении количества рыб, находящихся в объеме цилиндра радиусом R и высотой H, сводится к вычислению интеграла, зависящего от двух переменных величин и параметра k.

Если считать, что существуют три зоны, как это предполагалось ранее, улов с первой зоны (внутренней), с которой улавливается вся находящаяся в ней рыба, будет равен интегралу (7'), когда пределы интегрирования переменной x взяты от 0 до $R-h_0$. С учетом сделанных выше преобразований нижний предел будет равен $H^2\xi^2k^2$ а верхний – $k^2[(R-h_0)^2+H^2\xi^2]$

Сложнее определить улов с зоны, с которой рыба уходит лишь частично. Интенсивность ухода рыбы определяется только переменной x. Рассуждая так же, как и в первом случае, можно найти следующую пропорцию (рис.6):

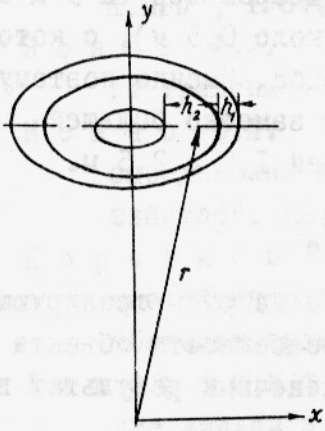


Рис.6. Схема к расчету плотности распределения рыб

$$\frac{n}{h_2} = \frac{n_i}{R-h_1-x}.$$

Отсюда

$$n_i = \frac{n}{h_2}(R-h_1-x)$$

С учетом формулы (6)

$$n_i = \frac{n_0}{h_2} e^{-k\sqrt{x^2+y^2}} \cdot (R-h_1-x)$$

Таким образом, улов с элементарного объема в пределах рассматриваемой области равен

$$dQ = n_i\, dv = \frac{n_0}{h_2} e^{-k\sqrt{x^2+y^2}} \cdot (R-h_1-x)\, dx\, dy.$$

Учитывая сделанные выше преобразования переменных, получим

$$Q_2 = \frac{\pi n_0 H}{h_2 k^2} \int_0^1 d\xi \int_{[(R-h_0)^2+H^2\xi^2]k^2}^{[(R-h_1)^2+H^2\xi^2]k^2} e^{-\sqrt{z}} \left(R - h_1 - \sqrt{\frac{z}{k^2} - H^2\xi^2}\right) dz \quad (8)$$

Сумма интегралов (7') и (8) даст улов. При вычислении этих интегралов величину H следует брать кратной R. При увеличении H плотность рыбы убывает по закону (6). Поэтому плотность на оси ординат, когда $y = H$, равна $n = n_0 e^{-kH}$. В нашем случае, когда $H = 1м$, $n : n_0 = 0{,}61$, а когда $H = 4м$, $n : n_0 = 0{,}05$. Учитывая сравнительно небольшую точность, которой можно довольствоваться в такого рода расчетах, можно принять, что $H \leqslant (3-4)R$.

Вычисления интегралов (7') и (8) на ЭВМ "Минск 32" показали, что при сделанных предположениях величина h_1 близка к $0\ (h_1 \leqslant 0{,}1м)$, а величина $h_2 \approx 1{,}25м$. Таким образом, при лове конусными сетями каспийской кильки на электросвет сетями с диаметром обруча I,5 и 2,5 м внутренней области не существует и некоторая часть рыб уходит со всех точек облавливаемого пространства. При лове сетями с диаметром обруча 3 м существует небольшая внутренняя область (около 0,5 м), с которой улавливается вся находящаяся в ней рыба. Именно поэтому сети с таким диаметром обруча и обладают заметно большей уловистостью, чем сети с диамтером обручей I,5 и 2,5 м.

З а к л ю ч е н и е

Предложенная математическая модель лова рыбы тралирующими орудиями опирается на биологические особенности объекта лова, при этом в расчет принимаются лишь конечный результат взаимодействия рыбы и орудия.

Для получения конкретных характеристик объекта лова (плотность распределения, величины h_1 и h_2), величин улова и уловистости трала достаточно экспериментальных данных по уловам трех тралов с различными размерами устья, но однотипных по своей конструкции.

Анализ показывает, что при равномерном распределении рыбы и одинаковом ее поведении во всех направлениях тралы с круговым сечением устья обладают заметно большей уловистостью, чем с устьем прямоугольной формы.

Предлагаемая модель не учитывает влияния конструктивных элементов трала на его уловистость (на поведение рыбы при встрече с тралом). Они могут быть учтены введением в полученные формулы экспериментальных коэффициентов. Поэтому выполненный анализ следует рассматривать лишь как первое приближение, лишь в общих чертах описывающий процесс лова рыбы тралами. Он, конечно, нуждается в дальнейшем совершенствовании и корректировке.

Литература

Баранов Ф.И. Техника промышленного рыболовства. Калининград, КОИЗ. 1933, 472 с.

Баранов Ф.И. Избранные Труды, т.I, 1969, М., "Пищевая промышленность", 716 с.

Баранов Ф,И. Избранные Труды, т.Ш, М., "Пищевая промышленность", 1971, 300 с.

Гюльбадамов С.Б. Промыслово-биологические основы проектирования пелагических тралов. "Труды ВНИРО", 1958, т.XXXУI, с.192-235.

Дубровский А.Д. Об уловистости трала. - "Труды КТИРП", 1964, вып.ХУП, 166-183 с.

Зонов А.И. Оптимальная продолжительность времени одного траления. - "Известия ГосНИОРХ", 1964, т.УI,с.211-219.

Ионас В.А. Применение метода анализа размерностей при определении абсолютной уловистости трала. "Рыбное хозяйство", №2, 1966, 46-48 с.

Коротков В.К., Кузьмина А.С. Трал, поведение объекта лова и подводные наблюдения за ним. М., "Пищевая промышленность", 1972, 267 с.

Лексуткин А.Ф., Приходько Б.И. Поведение кильки в освещенной зоне при лове на электросвет. "Рыбное хозяйство", 1951, № 12, с.11-13.

Никоноров И.В. Непрерывные способы лова рыбы. М., "Пищевая промышленность", 1968, 103 с.

Решетняк В.В. О затенении света рыбой и сетным полотном при лове на свет, "Рыбное хозяйство", 1969, № 9, 44-45 с.

Сергеев Ю.С. Теоретические основы промысловой работы и испытаний тралов. М., "Пищевая промышленность",1969, 50 с.

Фридман А.Л., Лукашев В.Н., Розенштейн М.М. Проектирование и испытание тралов. М., "Пищевая промышленность", 1973, 260 с.
Честной В.Н. Об оптимальных скоростях траления. - "Рыбное хозяйство", 1961, № 7, с.43-49.

To the theory of trawling

N.N.Andreev

Summary

As is known the catchability of trawls is noticeably less than 1. A method of determination of catchability on the basis of summarized biological features of the species fished is suggested, which is similar to the theory of purse seine fishing worked out earlier. Obtained by simple reasoning the final formulae include three unknown quantities. So it is agreeable if catches would be taken with three trawls with different dimensions of the mounths.

The analysis of the formulae indicates that at even distribution of fish and similar behavioural patterns the catchability of trawls with round sections of mouths is much higher than that of trawls with rectangular sections.

The calculation suggested is applicable not only to cases with even distribution of fish in the area, but also to other cases when the low of density variation is known. The model does not take into account effects of designed elements of trawls on the behavioural pattern when fish are encountered with the trawl, thus the analysis is to be considered as a first approximation describing the catching process only in general terms.

Том CXXII

Труды
Всесоюзного научно-исследовательского института
морского рыбного хозяйства и океанографии
(ВНИРО)

1977

УДК 639.2.081.II

ОБ ОДНОМ СЛУЧАЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕТНОГО ПОЛОТНА

Н.Н.Андреев

Большинство орудий рыболовства состоит из разнообразно расположенных прямоугольных кусков сетного полотна. Обычно все четыре кромки каждого сетного прямоугольника прикрепляют к веревкам - подборам или пожилинам - с постоянным посадочным коэффициентом. Посадочные коэффициенты на противоположных кромках бывают, как правило, равны, а между горизонтальным и вертикальным коэффициентами существует известное соотношение (Баранов,1933), обеспечивающее плоскую форму сетного полотна.

При монтаже орудий лова одна, две, а иногда и все четыре кромки такого сетного полотна остаются свободными, не связанными с другими частями орудия по всей длине кромок. У большинства орудий лова горизонтальные кромки (верхняя и нижняя подборы) нагружаются силами, растягивающими сетное полотно в вертикальном направлении, в то время как к боковым кромкам таких сил не прилагается. Вследствие этого боковые кромки такого сетного полотна изгибаются, нарушая прямоугольную форму детали и правильную (проектную) форму орудия лова.

На примере трех орудий легко показать нежелательный характер этой деформации. Например, у дрифтерных сетей,представляющих собой, как известно, прямоугольные куски сетного полотна больших размеров, скрепленные между собой для соединения в дрифтерный порядок только концами подбор, расходящиеся боковые кромки создают возможность для ухода рыбы между сетями (рис.I). Учитывая большую высоту этих сетей (до I5 м) и сравнительно небольшую длину (около 30 м), легко представить относительно большие потери полезной площади сетей и размеры получающегося отверстия, через которое может уходить

рыба. В литературе есть указание на то, что некоторые рыбаки для уменьшения величины отверстия скрепляют в двух-трех местах боковые кромки соседних сетей.

Рис.I. Общий вид дрифтерного порядка

Рассматриваемое свойство сетного полотна отрицательно сказывается на работе ловушек. Указанный изгиб боковых кромок ведет к деформации ловушек, уловистость и удерживающая способность которых определяются при прочих равных условиях точным соблюдением в натуре заданных проектом геометрических форм. Особенно большое значение это имеет у открылков садка, которые часто при большой высоте (до 3-5 м) ставятся на расстоянии всего 30-40 см друг от друга. Выгибание боковых кромок открылков ведет к тому, что в действительности это расстояние получается значительно больше, что существенно снижает удерживающую способность ловушки. Для борьбы с этим явлением иногда открылки скрепляют в двух местах тонкими веревками - перемычками (Н.Н.Андреев,1962), что значительно сокращает расхождение открылков (рис.2).

В качестве третьего примера можно привести кошельковые невода, которые хотя и выметываются по окружности, но ввиду больших размеров (до 1200-1500 м) клячевые части их можно рассматривать как плоские. При большой высоте кошельковых неводов (до 250 м) и больших посадочных коэффициентах,применяемых при их постройке, расхождение клячевых пожилин("ворота" невода) бывает настолько значительно (рис.3), что рыба часто уходит из обметанного неводом пространства именно через "ворота". В последние годы для отпугивания рыбы от "ворот" в створе их устанавливают гидроакустическую аппаратуру, имитирующую звуки, которые издают питающиеся хищники.

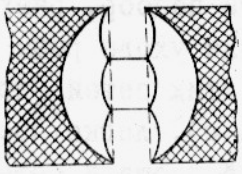


Рис.2. Крепление открылков ставного невода

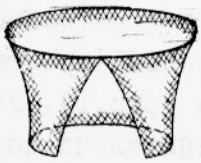


Рис.3. Общий вид кошелькового невода после замета

Указанные примеры свидетельствуют о большом значении рассматриваемой задачи для правильного расчета многих орудий рыболовства. Тем не менее до сих пор нет теоретического анализа этого вопроса. Профессор Ф.И.Баранов (1960) исследовал изгиб боковой кромки дрифтерной сети при дрейфе под действием сопротивления воды и дал графический способ построения этой кривой. Однако, как замечает он сам, "изложенные построения схематичны уже потому, что все силы рассматриваются непосредственно приложенными к пожилине и не учитываются те осложнения, которые вносят диагональное направление сетных нитей". Кроме того, как это показано в выше приведенных примерах, изгиб боковых кромок получается и при отсутствии сил сопротивления воды. Любые силы (в том числе и силы веса), приложенные к нитям сетного полотна, вызывают искривление боковых кромок, так как часть нитей обязательно оканчивается на боковых пожилинах.

Точное решение рассматриваемой задачи требует применения сложного математического аппарата и является очень громоздким. Учитывая сравнительно небольшую точность, которой можно довольствоваться при расчете орудий рыболовства, целесообразно поставленную задачу упростить и найти приближенное решение.

Рассмотрим следующий случай деформации прямоугольного сетного полотна[x)].

Если к горизонтальным кромкам прямоугольного сетного полотна приложить равномерно распределенную нагрузку, перпендикулярную подборам, подборы начнут изгибаться: верхняя - вверх, а нижняя - вниз. В нашем случае примем, что при такой деформации силы остаются перпендикулярными к подборам.

Так как направление боковых пожилин совпадает с направлением крайних вертикальных диагоналей ячей, по условию ортогональности (Андреев,1970), чтобы сеть не имела складок или разрывов, ее боковые кромки при этой деформации должны выгибаться внутрь. Таким образом, первоначально плоский прямоугольный кусок сети под влиянием сил, перпендикулярных подборам, может деформироваться только так, как это изображено на рис.4 (примерное первоначальное положение куска сети показано пунктиром АБВГ). Но вертикальные диагонали ячей пересекают горизонтальные под прямым углом. Поэтому изменение натяжений первых не может оказать влияние на натяжение вторых.Сле-

x) Прямоугольным мы называем такое сетное полотно,высота и ширина (в ячеях) которого постоянны.

довательно, в рассматриваемом случае деформация сетного полотна не зависит от величины сил, приложенных к подборам, и определяется лишь величиной посадочного коэффициента. Важно только, чтобы при этой деформации силы оставались перпендикулярными подборам и были равномерно распределены вдоль подбор.

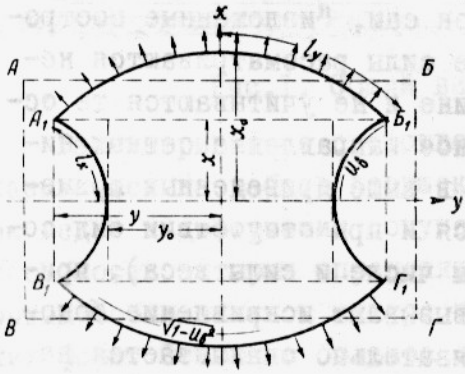


Рис.4. Общий вид и обозначения деформированного сетного полотна

Здесь необходимо оговорить следующее. Вертикальные силы, приложенные к подборам, передаются на боковые кромки сети через нити сетного полотна. Заменяя в дальнейшем реальную сеть двумя семействами ортогональных кривых, необходимо рассматривать силы, действующие вдоль этих кривых.

Очень важной особенностью рассматриваемой деформации является стабильность величины посадочных коэффициентов вдоль подбор и боковых кромок. Но поскольку средние части сетного полотна при деформации изменяют длину, следовательно, здесь изменяются и посадочные коэффициенты. В частности, если оси координат расположены так, как показано на рис.4, средняя величина посадочного коэффициента вдоль оси y будет меньше, чем $\sqrt{1-U_в^2}$, а вдоль оси x – больше, чем $U_в$, где $U_в$ – вертикальный посадочный коэффициент (постоянный) вдоль боковых пожилин.

Итак, пусть имеется сетное полотно с постоянной фиксированной посадкой по всем четырем кромкам, при этом между вертикальным и горизонтальным посадочными коэффициентами существует обычное соотношение, обеспечивающее плоскую форму сетного полотна.

Если обозначить бесконечно малый отрезок боковой кромки через dS (рис.5), а длину сетного полотна, посаженного на этот отрезок через dS_x, вертикальный посадочный коэффициент (вдоль боковой кромки сетного полотна) будет равен

$$U_в = \frac{dS}{dS_x}.$$

В какой-либо точке M рассматриваемой кривой фактический

посадочный коэффициент вдоль оси x будет

$$U_x = \frac{dS}{dS_x} = \frac{dS\cos\alpha}{dS_x} = U_в \cos\alpha \qquad (I)$$

или

$$dx = U_x dS \qquad (I')$$

где α – угол между касательной к боковой кромке в точке M и осью x (см.рис.5).

Из дифференциального исчисления известно, что

$$\cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2\alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1+y'^2}}.$$

Поэтому из уравнения (I) следует, что

$$\frac{U_x^2}{U_в^2} = \frac{1}{1+y'^2}.$$

Выражая отсюда первую производную, находим

$$y' = \sqrt{\frac{U_в^2}{U_x^2} - 1},$$

или

$$dy = \sqrt{\frac{U_в^2}{U_x^2} - 1}\, dx \qquad (I'')$$

где U_x – фактический (с учетом деформации) вертикальный посадочный коэффициент в рассматриваемой точке кривой. Но

$$y' = tg\alpha$$

Следовательно, если $U_x = U_в$, то $tg\alpha = 0$ и $\alpha = 0$, что совершенно очевидно из рис.5 (это равенство имеет место в точке пересечения рассматриваемой кривой с осью У). Таким образом, чем больше продольный посадочный коэффициент, т.е. чем больше посадка сети, тем больше наклон концов вертикальных пожилин и деформация боковой кромки сети.

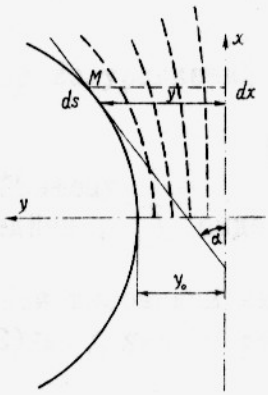


Рис.5. Расположение координатных осей и обозначения, принятые при выводе уравнений

Чтобы составить дифференциальное уравнение, связывающее координаты рассматриваемой кривой, необходимо установить соответствие между фактическим посадочным коэффициентом U_x и ординатой кривой y. Это соответствие будет определяться уравнением семейства вертикальных диагоналей.

Рассматривая рис.5, легко заметить, что если из точки M на боковой кромке провести прямую,

параллельную оси абцисс, прямая будет пересекать различные вертикальные диагонали под различными углами. При этом угол между касательной и кривой в точке пересечения и осью абцисс будет уменьшаться от α° до 0^{0}, так как средней диагональю сетного полотна служит ось ординат.

По определению посадочного коэффициента

$$U_y = \frac{y}{S_y},$$

где U_y – величина фактического посадочного коэффициента вдоль сети (вдоль линии, параллельной оси абцисс).

Так как S_y является величиной постоянной, это равенство идентично равенству

$$dU_y = \frac{dy}{S_y}.$$

Такое же равенство можно получить исходя из предельной теоремы.

Предположим, длина сети в жгуте равна $2S_y$, а ширина (высота) $-2S_x$

Тогда для рассматриваемого случая справедливо равенство

$$\frac{y_2 - y_1}{S_y} = \frac{\Delta y}{S_y} = \frac{y_2}{S_y} - \frac{y_1}{S_y} = U_{y_1} - U_{y_2} = \Delta U_y,$$

где y_2 и y_1 – ординаты двух точек на боковой пожилине, близко расположенные друг к другу.

Если теперь сближать точки с ординатами y_2 и y_1, в пределе получим

$$\frac{dy}{S_y} = dU_y.$$

Имеем

$$U_y = \frac{y}{S_y} = \sqrt{1 - U_x^2},$$

или

$$y = S_y\sqrt{1 - U_x^2}, \qquad (2)$$

следовательно

$$U_x = \sqrt{1 - \frac{y^2}{S_y^2}}. \qquad (2')$$

Подставляя это значение U_x в уравнение I, найдем

$$dy = \sqrt{\frac{U_в^2}{1 - \left(\frac{y}{S_y}\right)^2} - 1}\, dx, \qquad (2'')$$

или

$$dx = \frac{dy}{\sqrt{\frac{U_в^2}{1 - \left(\frac{y}{S_y}\right)^2} - 1}}.$$

Введем новую переменную φ, так чтобы $\frac{y}{S_y}=\cos\varphi$.

Тогда

$$dy=-S_y\sin\varphi\, d\varphi.$$

Подставив новую переменную в уравнение (2''), найдем следующее выражение для dx:

$$dx=-\frac{S_y\sin^2\varphi\, d\varphi}{\sqrt{U_в^2-\sin^2\varphi}}.$$

Заменим переменную еще раз по соотношению

$$\sin\varphi=U_в\sin t.$$

Дифференцируя, находим

$$d\varphi=\frac{\cos\varphi\, d\varphi}{\sqrt{\frac{1}{U_в^2}-\sin^2 t}}.$$

После подстановки имеем

$$dx=-\frac{S_y U_в^2\sin^2 t}{\sqrt{1-U_в^2\sin^2 t}}\,dt. \qquad (2''')$$

Если левую часть этого уравнения интегрировать в пределах от $x=0$ до $x=x$, при выбранном расположении координатных осей правую часть надо интегрировать от $t=\frac{\pi}{2}$ до $t=t$

Это можно доказать следующим путем.

Рассматривая замену переменных в обратном порядке, имеем

$$\sin\varphi=U_в\sin t=\sqrt{1-\left(\frac{y}{S_y}\right)^2},$$

так как

$$\frac{y}{S_y}=\cos\varphi$$

Следовательно,

$$\sin t=\frac{1}{U_в}\sqrt{1-\left(\frac{y}{S_y}\right)^2}.$$

Но из уравнений (I) и (2) следует, что

$$\left(\frac{y}{S_y}\right)^2=1-U_в^2\cos^2\alpha.$$

Поэтому

$$\sin t=\cos\alpha.$$

При выбранной системе координат, когда $x=0$, $\alpha=0$, а $\cos\alpha=1$, $\sin t=1$, откуда $t=\frac{\pi}{2}$.

С учетом этих значений пределов интегрирования

$$x = -\int_{\frac{\pi}{2}}^{t} \frac{S_y U_в^2 \sin^2 t\, dt}{\sqrt{1 - U_в^2 \sin^2 t}} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{S_y U_в^2 \sin^2 t\, dt}{\sqrt{1 - U_в^2 \sin^2 t}} - \int_0^{t} \frac{S_y U_в^2 \sin^2 t\, dt}{\sqrt{1 - U_в^2 \sin^2 t}}. \qquad (3)$$

Правую часть этого уравнения можно записать в общепринятых условных обозначениях:

$$x = S_y \left[k - E + E(t, U_в) - F(t, U_в) \right], \qquad (3')$$

где k и E – полные эллиптические интегралы первого и второго рода;

$F(t, U_в)$ и $E(t, U_в)$ – неполные эллиптические интегралы первого и второго рода;

Первые два интеграла зависят только от величины посадочного коэффициента $U_в$ и легко могут быть определены по соответствующим таблицам. Несколько сложнее вычисление двух других интегралов, стоящих в первой части полученного уравнения, так как эти интегралы зависят от двух параметров: от $U_в$ и верхнего предела t. Верхний предел зависит в конечном счете от отношения $\frac{y}{S_y}$, которое представляет собой среднюю величину горизонтального посадочного коэффициента, равную $\sqrt{1 - U_в^2 \sin\alpha}$. Таким образом, чтобы найти эту величину, надо знать величину угла α в точке, для которой берется верхний предел.

Для отыскания уравнения семейства кривых, по которым располагаются подборы и другие продольные диагонали, в формулу (2") вместо y' подставим $-\frac{1}{y}$, (Андреев,1970):

$$-\frac{1}{y'} = \sqrt{\frac{U_в^2}{1 - \frac{y^2}{S_y^2}} - 1} \qquad (4)$$

После преобразований получим дифференциальное уравнение искомого семейства кривых:

$$y' = -\frac{1}{\sqrt{\frac{U_в^2}{1 - \frac{y^2}{S_y^2}} - 1}}. \qquad (5)$$

В правой части этого уравнения в соответствие с переменой диагоналей необходимо заменить y на x, S_y на S_x

$1-U_в^2$ на $U_в^2$, $\cos\alpha$ на $\sin\alpha$, где S_x – половина ширины сети в жгуте.

Тогда уравнение (5) примет вид

$$-\frac{dx}{dy}=\sqrt{\frac{1-\frac{x^2}{S_x^2}}{\frac{x^2}{S_x^2}-U_в^2}}. \qquad (5')$$

Это же уравнение можно получить и другим путем, рассматривая деформацию подборы (продольных диагоналей) так, как анализировалась деформация боковых кромок.

Аналогично можно написать равенства, эквивалентные (I) и (2):

$$U_y=\sqrt{1-U_в^2}\,\sin\alpha$$

и

$$U_x=\frac{x}{S_x}.$$

Отсюда

$$x=S_x\sqrt{1-(1-U_в^2)\sin^2\alpha}.$$

Заменив в этой формуле $\sin^2\alpha$ через

$$\frac{y'^2}{1+y'^2}=\frac{tg^2\alpha}{1+tg^2\alpha}$$

и выполнив элементарные упрощающие преобразования, придем к формуле (5').

Вводя в эту формулу переменную по соотношению

$$\frac{x}{S_x}=\sqrt{1-(1-U_в^2)\sin^2 t},$$

получим

$$dy=\frac{S_x(1-U_в^2)\sin^2 t}{\sqrt{1-(1-U_в^2)\sin^2 t}}\cdot dt.$$

При интегрировании левой части в пределах от $y=y$ до $y=0$ правую часть надо интегрировать от $t=t$ до $t=1/2\pi$ поскольку $\sin t=\sin\alpha$, или $t=\alpha$, а при $y=0$ $\alpha=1/2\pi$

Таким образом,

$$y=\int_t^{\frac{\pi}{2}}\frac{S_x(1-U_в^2)\sin^2 t\,dt}{\sqrt{1-(1-U_в^2)\sin^2 t}}=\int_0^{\pi/2}\frac{S_x(1-U_в^2)\sin^2 t\,dt}{\sqrt{1-(1-U_в^2)\sin^2 t}}-\int_0^{t}\frac{S_x(1-U_в^2)\sin^2 t\,dt}{\sqrt{1-(1-U_в^2)\sin^2 t}}. \qquad (6)$$

Это уравнение аналогично уравнению (3). Поэтому

$$y = S_x \left[k - E + E\left(t, \sqrt{1-U_в^2}\right) - F\left(t, \sqrt{1-U_в^2}\right) \right]. \qquad (6')$$

Отличие этого уравнения от уравнения (3) состоит в том, что здесь модуль интегралов равен $\sqrt{1-U_в^2}$, а в уравнении (3) он равен $U_в$. В соответствие с этим изменяется и амплитуда этих интегралов.

Полное сходство рассматриваемых кривых является следствием общего закона, согласно которому инварианты кривой, изображающей подборы, если сетное полотно посажено с постоянным посадочным коэффициентом, получаются из инвариантов пожилин путем умножения на положительные множители (М.И.Гуревич, А.Н.Григорьянц,1957). В нашем случае постоянный посадочный коэффициент имеют не только подборы, но и пожилины, поэтому форма кривых, по которым они располагаются, должна быть одинаковой, как и форма кривых, по которым располагаются нити сетного полотна, посаженного на эти подборы и пожилины.

Решение поставленной задачи следует считать законченным, если в добавление к ранее полученным уравнениям (3) и (6) на основании уравнений (2) и (5) будет составлено четвертое. Характерно, что тангенсы углов между касательными к подборам и к боковым пожилинам и положительным направлением оси обратны по величине и знаку (в силу ортогональности этих кривых: подбор и пожилин), Поэтому, сравнивая правые части уравнений (2) и (5), находим

$$\sqrt{\frac{U_в^2}{1-\frac{y^2}{S_y^2}} - 1} = -\sqrt{\frac{\frac{x^2}{S_x^2} - U_в^2}{1-\frac{x^2}{S_x^2}}},$$

или

$$\frac{\frac{y^2}{S_y^2} - (1-U_в^2)}{1-\frac{y^2}{S_y^2}} = \frac{\frac{x^2}{S_x^2} - U_в^2}{1-\frac{x^2}{S_x^2}}.$$

После приведения и упрощения получим уравнение гиперболического характера:

$$\frac{y^2}{S_y^2}(1-U_в^2) - \frac{x^2}{S_x^2}U_в^2 = 1 - 2U_в^2. \qquad (7)$$

Если, например, сетное квадратное полотно с посадкой 0,707 (на квадрат), то

$$\frac{y^2}{S^2}0{,}5 - \frac{x^2}{S^2}0{,}5 = 1 - 2\cdot 0{,}5 = 0,$$

откуда получаем очевидное равенство $y = x$.

Из уравнения (7) следует, что когда $U_в \to 1$, то $x \to S_x$, а когда $U_в \to 0$, то $y \to S_y$.

При посадке этого квадрата с коэффициентом $U_в < 0{,}707$ будем иметь уравнение

$$y^2(1-U_в^2) = x^2 U_в^2 + (1-2U_в^2)S^2,$$

или

$$y^2 = x^2 \frac{U_в^2}{1-U_в^2} + \frac{1-2U_в^2}{1-U_в^2} S_y^2.$$

Так как $\frac{U_в^2}{1-U_в^2} < 1{,}0$ и $\frac{1-2U_в^2}{1-U_в^2} < 1{,}0$,

то угол деформированной сети A_1 будет располагаться ниже (левее) линии $y = x$ (эта линия проходит через начало координат и точку A – угол недеформированной сети). При посадках с коэффициентами $U_в < 0{,}707$ угол A_1 окажется выше этой линии.

Решение рассматриваемой задачи не представляет большого труда, если предварительно составлены таблицы значений эллиптических интегралов $E(t, U_в)$ и $F(t, U_в)$. Такие таблицы были составлены при решении задачи о форме поверхности вентереобразных орудий лова и кошельковых неводов (Андреев,1970). Оказывается, уравнение деформированной боковой кромки прямоугольного сетного полотна идентично уравнению кривой, вращением которой вокруг оси абцисс образуется поверхность кошелькового невода (или вентеря).

Это обстоятельство значительно упрощает весь расчет параметров деформированного сетного полотна. Прямоугольное сетное полотно, посаженное на два обруча одинакового диаметра, в среднем сечении имеет посадочный коэффициент U_0. Длина дуги, вращением которой вокруг оси x образуется сетная поверхность S, определяется по формуле (Андреев,1970)

$$S = \frac{\sqrt{1-U_0^2}}{2\pi} S_y \, arch \frac{U}{U_0}, \tag{8}$$

где U – посадочный коэффициент по подборам (обручам).

При наложении этой поверхности на плоскость так, чтобы $x_0 = S$, подборы и боковые пожилины искривляются по рассматриваемой здесь схеме. При такой деформации посадочный коэффициент вдоль оси y изменяется от $\sqrt{1-U_в^2}$ (в точке пересечения оси боковой кромкой) до U_0 (в начале координат),а

вдоль оси x – от $\sqrt{1-U_o^2}$ (в начале координат) до $\sqrt{1-U_в^2}$ (в точке пересечения оси подборой).

Полагая, что среднее значение величины посадочного коэффициента вдоль оси y равно $\frac{1}{2}\left(U_o+\sqrt{1-U_в^2}\right)$, получим

$$2y_o=\frac{1}{2}S_y\left(U_в+\sqrt{1-U_в^2}\right). \qquad (9)$$

Применение предлагаемого метода расчета деформации сетного полотна рассмотрим на примере.

Пусть требуется определить деформацию под действием вертикальных сил дрифтерной сети, имеющей в посадке с коэффициентом 0,6 размеры l_y = 30 м, l_x = 15 м.

Имеем

$$S_y=\frac{30}{2.06}=25\text{ м};\quad S_x=\frac{15}{2.0,8}=9,375\text{ м}.$$

Используя таблицы, составленные А.И.Азволинским и др. (1975), надо иметь в виду, что принятая в них длина сетного полотна равна $2S_y$, что с учетом этого

$$n_2=\frac{S_x}{S_y}=\frac{9,375}{225}=0,188$$

и что этому значению n_2 при U = 0,6 соответствует U_o =0,35.

Таким образом,

$$x_o=S=\frac{\sqrt{1-0,35^2}}{2\pi}\cdot 50\,\mathrm{arc\,h}\,\frac{0,6}{0,35}=7,45\,\mathrm{arch}\,1,715$$

Отсюда

$$x_o=7,45.1,135\cong 8.4\text{ м}.$$

Следовательно, высота средней части сети станет равна $2x_o$ = 16,8 м, что только на 1,8 м больше высоты до деформации. Ширина сети в среднем сечении будет равна

$$2y_o=\frac{50}{2}\left(0,35+\sqrt{1-0,8^2}\right)=23,75\text{ м}.$$

Из этого следует, что ширина наибольшего просвета между двумя соседними дрифтерными сетями составляет в рассматриваемом случае 6,25 м (сети крепятся между собой только углами). Как видно из этого расчета, боковая деформация дрифтерной сети примерно втрое больше вертикальной. Это хорошо заметно и во время лова дрифтерными сетями.

Заключение

Из полученных формул видно, что изгиб кромок не зависит от величины сил, приложенных к подборам. Это, конечно, справедливо только для рассматриваемой модели, у которой посадочный коэффициент и силы постоянны вдоль подбор, при этом силы направлены по касательным к вертикальным диагоналям ячеи.

Анализ формул показывает, что основным параметром, определяющим величину деформации, является посадочный коэффициент. С увеличением горизонтального посадочного коэффициента деформация боковой кромки увеличивается. Поэтому во всех случаях, когда деформация нежелательна (например, у кошельковых неводов, дрифтерных сетей, ловушек и т.д.), следует применять небольшое значения посадочных коэффициентов. Это правило необходимо неукоснительно соблюдать при постройке кошелькового невода(для лова рыб, стремящихся уйти из обметанного пространства между клячами) и высокостенных неводов.

Примерно к таким же выводам пришел и Чан Ле Тхе (1972), исследуя модели кошельковых неводов. При возрастании посадочных коэффициентов увеличивается и ширина "ворот" невода, т.е. разность $y-y_0$. Эта величина зависит от габаритов невода (высоты и длины),но главным образом - от посадки и отношения $H:L$. Увеличение интенсивности загрузки вопреки установившемуся мнению мало способствует уменьшению "ворот".

Литература

Азволинский А.И., Андреев Н.Н., Яковлев А.А. О выборе посадочного коэффициента для кошельковых неводов. - "Рыбное хозяйство", 1975, № 5, с.46-49.

Андреев Н.Н. Справочник по орудиям лова, сетеснасным материалам и промысловому снаряжению. М., Пищепромиздат, 1962, 214 с.

Андреев Н.Н. Проектирование кошельковых неводов. М., "Пищевая промышленность", 1970, 276 с.

Баранов Ф.И. Техника промышленного рыболовства. Калининград, КОИЗ. 1933, 472 с.

Баранов Ф.И. Техника промышленного рыболовства. М., Пищепромиздат, 1960, 696 с.

Г у р е в и ч М.И., Г р и г о р ь я н ц А.И. Определение формы элементарного криволинейного треугольника сетного полотна.-"Труды Мосрыбвтуза", 1957, вып.8, с.72-75.

Ч а н Л е Т х е Применение метода механической имитации к исследованию некоторых параметров кошелькового лова. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 1972, 30 с.

On certain instance of deformation of rectangular netting

N.N.Andreev

S u m m a r y

Most fishing gear consist of various rectangular sheets of netting. When a fishing gear is manufactured one or two or even all four selwedges of the netting are left free and deformed in the fishing process. Such a type of deformation is particularly undesirable in drift nets, purse seines and pound nets.

A case when the netting is stretched with vertical forces which remain perpendicular to ropes with deformation is discussed. The analysis indicates that the curvature of ropes and side selwedges looks like elliptic curves similar to the curve which if it revolves on the abscisa axis forms the surface of fyke - like fishing gear. The solution of the equations indicates that the main parameter affecting the extent of deformation is a hanging ratio: the higher the hanging ratio on ropes the heavier deformation of side selwedges.

Том CXXII

Труды
Всесоюзного научно-исследовательского института
морского рыбного хозяйства и океанографии
(ВНИРО)

1977

УДК 639.2.081.16

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЫБОЛОВНЫХ ЛОВУШЕК

Н.Н.Андреев

Принцип действия. Крыло

Принцип действия стационарных орудий лова заключается в том, что на пути движения рыбы помещают перегородку (сетную или из другого материала) - крыло, направляющее рыбу в специальное устройство - ловушку, выход из которого рыбе затруднен.

Таким образом, для успешного лова рыбы ловушками необходимо прежде всего, чтобы рыба, двигаясь вперед под влиянием биологических инстинктов, встретившись с крылом, изменила направление своего первоначального пути. Ловушка может поймать только ту рыбу, которую задержало и направило к ней крыло.

Поэтому промышленный лов ловушками рассчитан на рыб, которые под влиянием тех или иных биологических инстинктов большими массами перемещаются в одном направлении. Особенно мощными бывают нерестовые миграции. Например, отечественный промысел лососевых и сельдевых в морях Дальнего Востока ведется почти исключительно ловушками во время подхода рыбы к берегам для нереста. На путях миграций к местам нереста сельдевых и частиковых рыб был основан промысел стационарными орудиями на Северном Каспии.

Помимо нерестовых, известны миграции рыб к местам нагула, миграции, связанные с изменением климатических условий. Например, основной лов азовской хамсы ведется осенью, когда она направляется из Азовского моря через Керченский пролив на зимовку в Черное море. В это время ее успешно ловят и ставными неводами. Именно по этим причинам основной промысел ловушками приходится на весну и осень. Лов этими орудиями летом или зимой бывает, как правило, малоэффективен.

Во всех случаях в промысле ловушками используется стремление рыбы перемещаться в определенном направлении. Лов немигрирующей рыбы, как правило, ведется орудиями других типов (неводами, сетями, тралами).

Несмотря на это в литературе встречаются работы, где рассматривается лов ловушками таких рыб, движения которых носят хаотический характер. Это противоречит практике рыболовства и элементарной логике; если рыба движется хаотически, а обычно она так себя ведет на местах откорма, непонятно, под влиянием каких биологических инстинктов она, встретив крыло, будет двигаться к ловушке.

Так как рыба совершает миграции по определенным путям, для успеха промысла ловушками надо хорошо знать эти пути и время прохождения по ним рыбы. В практике рыболовства известны многочисленные случаи, когда в одном районе устанавливали два одинаковых ставных невода, но в одном из них был хороший улов, а в другом - плохой, потому что второй невод оказывался не на пути миграции основной массы рыбы. Время прохода рыбы часто бывает очень коротким, и даже небольшие опоздания с установкой ловушки ведут к большим проловам. В практике рыболовства и таких случаев довольно много.

Поскольку ловушка улавливает только ту рыбу, которую направляет к ней крыло, успех лова в значительной степени определяется правильным выбором материалов для постройки крыла и его устройством. Для правильного решения этих вопросов необходимо иметь в виду следующее. Отход рыбы назад при встрече с крылом маловероятен и на практике почти никогда не наблюдается. Под влиянием биологических инстинктов, заставляющих рыбу передвигаться большими массами в одном направлении, она старается обойти препятствие, а не отходить назад. Практика рыболовства показывает, что рыба при встрече с крылом лишь в редких случаях пытается пройти сквозь сетное полотно даже тогда, когда размер ячеи позволяет ей это сделать. В большинстве случаев рыба при встрече с крылом некоторое время двигается вдоль него. Известны случаи, когда часть косяка, пройдя сквозь сетное полотно крыла, движется вдоль крыла к ловушке параллельно тем рыбам, которые остались перед крылом.

Для стимулирования движения рыбы вдоль крыла оно не должно производить на рыбу впечатления безнадежно непроходимой преграды: "ячея его не должна быть чрезмерно мелкой, а нить

чрезмерно толстой" (Баранов, 1969).

Поэтому на практике для постройки крыла обыкновенно применяют сетное полотно с шагом ячеи большим, чем шаг ячеи жаберной сети, предназначенной для лова той же рыбы, но с отношением $d : a$ = 0,02-0,03, при этом чем больше видимость крыла в воде и чем осторожнее рыба, тем больший размер ячеи можно брать, и наоборот.

Например, проведенные в Приморье опыты с крыльями ставных неводов (Калиновский, 1951) показали, что в условиях хорошей прозрачности воды размер ячеи в сетном полотне крыла может быть в два - три раза больше, чем в жаберной сети, предназначенной для лова той же рыбы (60 мм для лова сардины и 180-200 мм для лова лососевых).

Ставные хамсово-тюлечные невода, применяемые в Азовском море, имеют в крыле размер ячеи от 12 до 24 мм в зависимости от района и места установки, т.е. значительно больше, чем в жаберных сетях, хотя крылья ставных неводов, применявшиеся на Северном Каспии, имели размер ячеи примерно тот же, что и жаберные сети.

При этом в Азовском бассейне четко выражена тенденция увеличения размера ячеи в крыле ставных неводов, устанавливаемых на участках моря с большей прозрачностью воды. Таким образом, ячея крыла стационарных орудий лова в зависимости от прозрачности воды и поведения рыбы должна быть вдвое или втрое больше ячеи жаберной сети для лова той же рыбы.

По мере продвижения вдоль крыла стремление рыбы пройти сквозь сетное полотно увеличивается. Когда рыба, двигаясь вдоль крыла, подходит к ловушке и встречает здесь препятствие, она настойчиво стермиться пройти сквозь крыло. Поэтому размер ячеи сетного полотна крыла следует уменьшать от дальнего конца к ловушке. Во многих случаях так и поступают. Например, на Черном море крыло частикового невода имеет ячею сетного полотна 22-26 мм, а хамсового - 14-18 мм; крыло частикового невода на Ладожском озере - 35-45 мм, салачного невода на Балтийском море - 18-30 мм и т.д. В одних случаях ограничиваются уменьшением размера ячеи только в небольшой части крыла, примыкающей к ловушке, в других - в нескольких местах. Например, сельдяные ставные невода, применяемые у побережья Крыма, имеют крыло длиной до 300 м, при этом 150 м - из дели с ячеей 26 мм,

100 м - из дели с ячеей 24 мм и 5 см - из дели с ячеей 20 мм. Крыло салачного невода, применяемого в Финском заливе, состоит из ячей пяти размеров: 14; 16; 18; 20 и 24 мм.

В некоторых случаях, особенно в водоемах с большой прозрачностью воды, возможно устройство комбинированных крыльев, составленных из сетных полотен с различным размером ячеи по высоте. Например, крыло невода для лова лососевых на Дальнем Востоке иногда делают из двух половин: верхние две трети крыла - из дели с ячеей 90 мм, а нижнюю треть - из дели с ячеей 180 мм. При лове сельди поступают наоборот: нижнюю половину делают более мелкоячейной, чем верхнюю.

В.С.Калиновский (1951) считает, что направляющее действие крыла определяется не размером ячеи, а величиной ее вертикальной диагонали. Поэтому, изменяя величину посадочного коэффициента так, чтобы выражение $a\sqrt{1-U^2}$ сохраняло постоянную величину, можно в известных пределах сохранить и направляющее действие крыла. В частности, для лососевых неводов это выражение должно быть равно 67,5. Расчет показывает, что при посадке на 0,67 необходим размер ячеи 90 мм, а при посадке на 0,87 - 135 мм. Однако этой рекомендацией надо пользоваться очень осторожно, так как большой практической проверки она не получила. Во всяком случае для водоемов с малопрозрачной водой она не годится.

Окраска сетного полотна крыла должна выбираться в соответствии с его назначением - направлять рыбу в ловушку. Крыло, по-видимому, должно быть окрашено так, чтобы рыба хорошо видела его только в непосредственной близости, но не издали. Следовательно, с одной стороны, может быть невыгодна яркая, бросающаяся в глаза окраска, в частности белая, а с другой,- маскирующая (Баранов, 1969). Окраска крыла и окраска жаберных сетей должна удовлетворять совершенно различным требованиям. Во всяком случае крыло должно быть окрашено ярче, чем жаберная сеть, находящейся в тех же условиях.

Удлиняя крыло до определенного размера, мы будем увеличивать улов на единицу длины крыла. При дальнейшем увеличении длины крыла улов на единицу длины будет оставаться постоянным, но общий улов будет расти. Наконец, при некоторой длине дальнейшее увеличение крыла приведет к уменьшению улова на единицу длины крыла, так что общий улов не будет расти, как бы мы в

дальнейшем не удлиняли крыло. В условиях Северного Каспия, в частности, расстояние между ловушками на крыле не следует делать более 400 м при лове частиковых рыб и более 270 м при лове сельдевых.

Оптимальная длина крыла зависит от прозрачности воды.Так, оптимальная длина крыла ставного невода для лова частиковых рыб в Азовском море равна 250-260 м при прозрачной воде и только 120-160 м - при мутной.

В.С.Калиновский (1955) считает, что "для различных объектов лова и даже для одних и тех же, но облавливаемых в различное время года, оптимальная длина крыльев ставных неводов должна устанавливаться разной. Так, например, в зависимости от района лова и очертаний береговой линии при промысле горбуши оптимальная длина крыльев ставных неводов может колебаться в пределах 250-300 м, кеты - 350-800 м, красной 800-1500 м, нерестовой сельди - 250-400 м, жирующей сельди - 500-700 м, разнорыбицы (терпуг, навага, корюшка, мойва) - 100-300 м, кижуча - 100-350 м".

В общих чертах можно наметить следующее правило: чем крупнее рыба, тем длинее может быть крыло. Это связано с тем, что более крупные рыбы движутся, как правило, быстрее и могут, не изменяя направления своего движения, проходить вдоль крыла большие расстояния, чем рыбы мелкие.

Иногда, учитывая широкую поперечную протяженность пути миграции рыбы, приходится ставить крыло очень большой длины и на нем - несколько ловушек (2-3-4 при лове ставными неводами и до 5-6 при лове вентереобразными ловушками).

Для направляющего действия крыла большое значение имеет прямолинейность его установки. Если крыло натянуто слабо и в местах крепления имеет резкие изгибы, рыба, двигаясь в непосредственной близости от сетного полотна, в этих местах отходит от крыла. Это обстоятельство особенно строго надо учитывать в тех случаях, когда лов ведут в малопрозрачной воде, так как тогда даже в светлое время суток, не видя крыла, рыба движется в непосредственной близости от него.

Для обеспечения длительного движения рыбы вдоль крыла в нужном направлении его иногда устанавливают под острым углом к предполагаемому направлению движения рыбы. По мнению некоторых специалистов этого вида лова, если крыло стоит перпендику-

лярно к направлению движения рыбы, 50% подошедших к крылу рыб может пойти вправо, а 50% - влево. Однако в большинстве случаев рыба старается обходить крыло преимущественно с одной стороны. Поэтому, если на крыле имеется несколько ловушек, все они имеют вход с одной стороны и только крайняя повернута на 180° (рис.I). В первые годы применения ставных неводов на Каспии,когда эта особенность поведения рыб еще не была известна, пытались ставить ловушки, имеющие вход с двух сторон (рис.2), но впоследствии, убедившись в бесполезности второго входа, от применения этих ловушек (бурунчукский ставной невод) отказались. По наблюдениям А.Ф.Лексуткина (1953), в ловушку, установленную по направлению преимущественного движения рыбы, ее попадает более 75%.

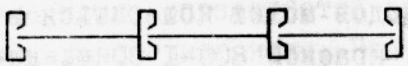


Рис.I. Установка ловушек на крыле

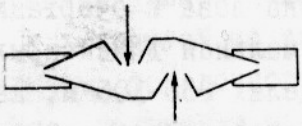


Рис.2. Двухзаходовая ловушка

Если угол между крылом и направлением движения рыбы не равен 90°, в одном направлении пойдет еще больше рыбы, чем в случае перпендикулярного расположения крыла. По мере уменьшения этого угла все больший процент подошедших рыб будет поворачивать в направлении тупого угла, все лучше будет направляющее действие крыла, но тем меньше окажется перегораживаемое крылом пространство, по которому движется рыба. С этой точки зрения существует какой-то оптимальный угол установки крыла, при котором получается наибольшая для данной длины крыла величина улова.

Однако такой подход, не учитывающий биологических особенностей поведения объекта лова, может повести к существенным ошибкам. Здесь имеет место не "привлекающее и отпугивающее действие различных биологических факторов..." (Гуревич, 1964), а инстинкт рыб, заставляющий их в определенное время года совершать миграции на огромные расстояния по одним и тем же путям. Поведение рыб при этом при встрече с препятствиями, в том числе и с крылом ставного невода, носит вполне определенный характер, который, зная биологические особенности поведения объекта лова, всегда можно предусмотреть. При встрече с крылом, поставленным под острым углом к направлению

движения рыбы, она может двигаться и в сторону острого угла. Но в этом случае крыло плохо направляет рыбу в ловушку. Поэтому рыбаки и стараются поставить крыло перпендикулярно к направлению движения рыбы, а если иногда им приходится его ставить под острым углом, тупой угол они располагают по направлению предполагаемого хода рыбы.

На практике обычно поступают следующим образом. В большинстве случаев стационарные орудия ставят вблизи берегов. Иногда крыло начинают прямо от уреза воды, иногда - отступя от берега на несколько десятков и даже сотен метров. Практика лова показывает, что такое направление крыла обеспечивает наибольшие уловы независимо от того, движется ли рыба вдоль берега, т.е. перпендикулярно к крылу, или подходит к берегу под некоторым углом, не равным 90°, как это, например, бывает у восточного побережья Азовского моря.

Наличие свободного пространства между началом крыла и береговой линией в большинстве случаев не ведет к уменьшению уловистости ловушки. Это говорит о том, что при встрече с крылом рыба старается обходить его морской стороной. Все это подтверждает высказанную выше мысль относительно того, что рыба имеет строго направленное движение даже при встрече с препятствием.

При установке стационарного орудия вдали от берегов крыло ставят, как правило, поперек господствующего течения. Однако на практике, учитывая особенности поведения рыбы, этому правилу иногда приходится изменять. Например, при осеннем лове стационарными орудиями на Северном Каспии, когда в уловах преобладают частиковые рыбы, рыба движется вдоль крыла преимущественно к мелководью, а не вглубь моря. Весною в уловах преобладают сельдевые, которые стараются обходить крыло мористее, со стороны больших глубин. В соответствии с этим и надо располагать входы в ловушки.

Входное устройство

Всякая ловушка, куда, двигаясь вдоль крыла, в конце концов попадает рыба, имеет так называемое входное устройство.

Назначение входного устройства состоит в том, чтобы, не мешая по возможности заходу рыб в ловушку, максимально препятствовать ее выходу. По принципу действия входного устройства орудия этого типа и получили общее название "рыболовные ловушки".

Принцип действия входного устройства современных рыболовных ловушек проще всего уяснить на следующем примере. Представим себе перегороженный пополам сетной стенкой садок прямоугольной формы, в котором находится рыба. Если в перегородке сделать отверстие, рыба получит возможность переходить из одной половины в другую. Положим, что до образования отверстия количество рыб в обеих половинах садка было одинаковым. Естественно предположить, что при прочих равных условиях количество рыб в обеих половинах садка будет в среднем оставаться постоянным: сколько их перейдет справа налево, столько же, по-видимому, перейдет и слева направо.

Представим теперь себе садок с двойной перегородкой, разорванной таким образом, что с одной стороны отверстие больше, а с другой - меньше, т.е. в плане проход между двумя половинами садка имеет форму усеченного конуса (рис.3а). В этом случае переход рыбы слева направо будет, очевидно, интенсивнее, чем справо налево, и через некоторое время в левой половине садка окажется рыб больше, чем в правой. Если все прочие условия будут одинаковыми, количественное соотношение рыб в обеих половинах, вероятно, будет пропорционально соотношению площадей отверстий.

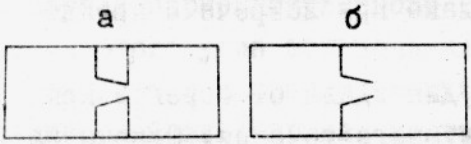


Рис.3. Схема устройства садка рыболовной ловушки:

а - условная;
б - практическая

Рассмотрим теперь конструкцию садка, показанного на рис.3б. В этом случае интенсивность перехода рыбы из левой половины в правую останется такой же, как она была в предыдущем случае, а интенсивность перехода в обратном направлении резко уменьшится. Это объясняется тем, что рыбы хорошо приспособлены только к прямолинейному движению вперед. Поэтому при достаточно больших размерах садка рыба, двигаясь вдоль перегородки и дойдя до стенки конуса, должна будет повернуть и двигаться вдоль стенки. Когда рыба дойдет до конца конуса, ей, чтобы выйти из садка, нужно будет изменить направление движения на прямо противоположное. Поэтому здесь на количественное соотношение рыб, находящихся в правой и левой половинах садка, будет влиять не только отношение площадей отверстий, но и длина сетного конуса, соединяющего эти отверстия.

Рассматривая рис.3б, можно прийти к выводу, хорошо подтверждаемому практикой рыболовства и специальными опытами, что длина конуса не может оказать заметного влияния на интенсивность захода рыбы во входное устройство. Что же касается выхода обратно, то здесь длина конуса имеет большое значение: с ее увеличением интенсивность выхода рыбы уменьшается. Поэтому длину конуса (открылков) надо увеличивать настолько, насколько позволяют размеры садка и условия сохранения ими расчетной формы на течении.

Обычно длина открылков бывает равна половине длины садка, так что узкая сторона конуса приходится примерно на середину садка. Только в случаях массовых уловов, когда в ловушку заходят сразу большие косяки рыб, расстояние от концов открылков до задней стенки садка делают в полтора - два раза больше, так как в этом случае в садке до очередной переборки скапливается много рыбы, стремящейся найти выход.

Процесс накапливания рыбы в садке идет до определенного момента, так как при возрастании количества рыб в садке они усиленно ищут выход и в конце концов находят его. Следовательно, каждым конкретным условиям (соотношение величины отверстий, длина конуса, размеры садка, объект лова) будет соответствовать определенное соотношение между количеством рыб в правой и левой половинах садка.

Помимо площади отверстия, на интенсивность захода рыбы в садок и ее выхода большое влияние оказывает и форма отверстия. Опыты показывают, что отверстие квадратной формы (или близкой к ней) лучше пропускает рыбу, чем отверстие в виде вытянутых прямоугольников той же площади. При этом чем уже прямоугольник, тем труднее рыбе пройти через него.

Большое значение имеет и расположение прямоугольника: через вертикально расположенный прямоугольник рыба проходит менее интенсивно, чем через горизонтальный. А.Ф.Лексуткин (1953) установил, что входное отверстия в виде лейки обладает лучшей удерживающей способностью, чем вертикальная щель. Однако вопрос о влиянии формы и типа входного устройства изучен мало и при постройке ловушек необходимо исходить из существующей практики.

На заход рыбы во входное устройство и удерживающую способность его большое влияние оказывает угол между открылками. Если этот угол больше 90°, при выходе из конуса рыба может

повернуть вдоль другой стороны и выйти обратно, если меньше 90^0, для ухода вдоль второй стенки рыба должна повернуть назад. Чаще всего угол берут от 50^0 до $70-80^0$.

Ловушки часто имеют несколько пар входных устройств (усынков). Это делается для увеличения удерживающей способности ловушки и обосновывается следующими соображениями, высказанными Ф.И.Барановым (1969).

"Под влиянием тех или иных факторов рыба стремится двигаться в определенном направлении. Стремление это может быть больше или меньше и может быть измерено условными единицами, обозначим его буквой x.

Подходя к входу в ловушку, рыба получает некоторый комплекс ощущений, создающий у нее впечатление препятствия; препятствие это может казаться большим или меньшим. Следовательно, препятствие - это величина и может быть также измерено; обозначим его чнрез y.

Если $x > y$, то рыба пойдет во входное отверстие. Чтобы обеспечить заход рыбы в ловушку, нужно увеличить x или уменьшить y. Однако рыба подходит к ловушке с величиной x, находящейся вне нашего воздействия; поэтому вход в ловушку должен обладать по возможности меньшей величиной y или, иначе говоря, большим отверстием. Но как бы ни было велико отверстие входного конуса, оно составит значительно большее препятствие для обратного выхода рыбы, чем y. Поэтому после прохода первого конуса стремление x превратиться в стремление отыскать выход из ловушки и увеличится в несколько (k) раз. Поэтому второй конус может обладать величиной ky, т.е. примерно в k раз меньшим входным отверстием. Такова основная идея построения ловушек: устройство двух или трех последовательных конусообразных входов с прогрессивно уменьшающимися входными отверстиями".

Вопрос о величине коэффициента k, т.е. о том, во сколько раз надо уменьшать последующее входное отверстие относительно предыдущего, совершенно не изучен.

Как уже говорилось, чтобы стимулировать заход рыбы в ловушку, ширину первого входа нужно делать достаточно большой. Замечено, что величина этого входа в основном зависит от характера поведения рыбы и глубины места установки ловушки.

Если рыба идет плотными густыми косяками, требуются большие первые входы. В этом отношении показательно, что мелкая, но идущая плотными косяками хамса стала успешно ловиться становыми неводами только после того, как первый вход был расширен до 25-30 м. В то же время подобной конструкции ставные невода, применяемые на Северном Каспии для лова частиковых рыб, имеют ширину первого входа всего 8 м.

С одной стороны, ширина первого входа определяет общие размеры ловушки, но с другой стороны, чем больше размеры ловушек, тем шире можно сделать первый вход. Поэтому для лова одних и тех же рыб в одном и том же районе ширину первого входа варьируют в зависимости от размеров ловушек. Например, в Кубанском районе (Азовское море) для лова частиковых рыб односадковыми неводами приняли следующие размеры входов:

Высота невода, м	I,5 м	3,0 м	6,0 м	I0,0 м
Ширина входа				
первого	0,8	2,0	4,0	6,0
второго	0,3	0,8	I,0	I,5
третьего		0,3	0,4	0,4

Общие принципы конструирования ловушек

Уловистость стационарных орудий зависит от двух групп факторов, влияющих на заход рыбы в ловушку и на удерживающую способность ловушки.

Подход рыбы к ловушке обеспечивается правильным выбором места установки, направлением и конструкцией крыла. Конструкция ловушки не может оказать существенного влияния на подход к ней рыбы. Когда рыба, двигаясь вдоль крыла, подойдет ко входу в ловушку, естественно предположить, что у рыбы создастся впечатление какого-то препятствия для движения вперед. Практика рыболовства свидетельствует, что на заход рыбы в ловушку в основном влияет ширина первого входа. Все остальные элементы конструкции определяют только способность ловушки удерживать зашедшую в нее рыбу.

Удерживающая способность ловушки определяется в первую очередь правильным выбором конструкции, размеров, числа и формы усынков. Конструкция ловушки должна способствовать скату рыбы в садок. На удерживающую способность ловушки большое влияние оказывает форма и размер садка. Размеры садка должны выбираться исходя из двух основных соображений: во-первых,

объем садка должен быть вполне достаточным для сохранения улова в живом виде в течение продолжительного времени (между переборками); во-вторых, садок должен быть достаточно просторным, чтобы рыба не стремилась найти выход из него.

Необходимо учитывать, что под действием течения стенки садка выдуваются, вход в садок деформируется и возможность ухода рыбы увеличивается. Из этих соображений размеры садка определяются главным образом единовременными уловами (между двумя переборками), глубиной места установки и поведением объекта лова: чем рыба пугливее, тем больше должен быть садок. По Ф.И.Баранову (1969), сардина сохраняется в садке в живом виде, если на I $м^3$ садка ее приходится не больше 30кг; азовские рыбаки считают, что на I $м^2$ площади дна садка должно приходиться 25 кг рыбы.

Садок обычно имеет вид параллелепипеда. У двухсадковых ловушек длинная ось садка всегда направлена вдоль длинной оси ловушки, а у односадковых ловушек она может быть перпендикулярна к оси ловушки.

Объем продольного садка, у которого длинная сторона параллельна длинной оси односадковой ловушки, меньше, чем поперечного для лова той же рыбы, так как расстояние от окончания открылков входа до задней стенки садка и в том, и в другом случае должно быть примерно одинаковым. Поэтому на постройку продольного садка сетеснастных материалов требуется меньше, чем на постройку садка поперечного. Однако деформация продольных садков на течении в большей степени отрицательно влияет на удерживающую способность ловушки, чем деформация поперечных садков. Поперечный садок одинакового объема с продольным будет испытывать значительно меньшее сопротивление, так как у него большая часть сетематериалов расположена параллельно течению. Поэтому на больших глубинах (свыше 10 м) и при наличии сильных течений используют поперечные садки.

При больших уловах продольные садки менее выгодны, чем поперечные. Поэтому, например, при лове лососевых и сельдевых в дальневосточных морях применяют ловушки только с поперечным садком, а при лове таких рыб, как навага,- с продольным. Этим объясняется и преимущественное распространение односадковых ловушек с продольным садком в наших южных морях - Каспийском и Азовском.

Размеры двора двухсадковой ловушки сильно влияют на заход рыбы в ловушку и скат ее в садок. Расстояние между окончанием первых усынков и задней стенкой двора должно быть достаточно велико, чтобы косяк рыбы, проходя первый вход (во двор), не пугался этой стенки. Естественно, большую роль здесь играет поведение рыбы и прозрачность воды. Считается, что в среднем это расстояние должно быть не меньше ширины первого входа (его широкой стороны). Нельзя однако делать ловушки очень большим, так как в этом случае рыба не будет стремиться пройти через более узкие вторые усынки, т.е. не будет скатываться в садок. Стенки двора целесообразно направлять так, чтобы следующие открылки (в садок) были продолжением этих стенок. При такой конструкции рыба, двигаясь вдоль стенки двора, попадает в следующее входное устройство, не меняя направления своего движения. Изменение направления движения может повести к возвращению рыбы во двор.

В соответствии с этим угол между стенками двора должен быть равен углу между усынками, ведущими в садок, и не должен превышать 90°; чаще всего его делают равным 50-60°.При такой конструкции двор ловушки будет иметь форму ромба, вдоль одной диагонали которого проходит канат от верхней подборы крыла (или канат, к которому крепится верхняя подбора крыла - становой канат), а вдоль другой располагается длинная ось ловушки. Так как крепление такого двора проще, чем двора любой другой конструкции, в этом случае заданная форма ловушки лучше сохраняется на течении.

Вход в садок должен удовлетворять тем же требованиям, что и вход во двор ловушки: он не должен быть затененным и рыба, проходя усынки, не должна видеть заднюю стенку садка. Поэтому часто противоположную (сливную) стенку садка у односадковых и двухсадковых ловушек делают не прямой, а с изломом посередине.

Поперечные садки односадковых ловушек иногда делают прямоугольной формы, однако совершенно очевидна невыгодность такой формы, особенно при больших габаритах. В большинстве случаев морскую сторону таких ловушек делают с изломом посредине, а береговую - либо прямой, либо тоже с изломом.

Если сетные полотна в ловушке поставлены под острым углом друг к другу, рыба в углу может запутываться. Во избежа-

ние этого острые углы следует закрывать различными заступами, заворотами и т.п.

Совершенствование ловушек не должно идти по пути усложнения их формы. Практика рыболовства показывает, что сложные ловушки (так называемые лабиринты), трудно устанавливаемые и неудобные в эксплуатации, обладают не большей уловистостью, чем ловушки простых геометрических форм.

Вопрос о выборе наилучшей формы и размеров ловушек изучен слабо. Размеры ловушки зависят от глубины места установки и величины единовременных уловов. При больших уловах в условиях большого волнения и переменных течений целесообразно применять двухсадковые ловушки. На Азовском море тюлечные двухсадковые становые невода при тихой погоде берут столько же рыбы, сколько односадковые, а при волнении - больше. На сильных течениях постоянного направления можно ставить односадковые ловушки с поперечным садком и двумя усынками, а также несимметричные односадковые ловушки.

Но все эти положения нуждаются в уточнении, поэтому при выборе типа ловушки надо ориентироваться на существующую практику.

Пример проектирования ловушки

В Балтийском море для лова салаки успешно применялась ловушка конструкции В.Ф.Канина (1950), у которой вход в садок сделан в виде подъемной дороги (рис.4). В Азовском море ловушки таких конструкций не применяются (и не применялись). Учитывая большую эффективность ловушек В.Ф.Канина при лове салаки, рассчитаем ее элементы для лова хамсы и тюльки в Азовском море при установке на глубине 8 м.

Выбор размеров ловушки надо начинать с установления размеров садка. Эти размеры определяются главным образом биологией объекта лова и глубиной места установки (для неводов типа "Полугигант"). Поэтому для проектируемой ловушки размер садка надо брать исходя из установившейся практики этого бассейна, а не из практики лова в Балтийском море. Таким образом, размеры садка должны быть такими же, как у хамсово-тюлечных ставных неводов типа "Полугигант".

Для глубин от 7,5 до 9,5 м Е.Е.Шапунов (цит.по Андрееву, 1962) рекомендует делать садки следующих размеров(рис.5):

А = 18,5 м; Б = 9,5 м; $К_2$ = 6,5 м. Интересно сравнить эти размеры с теми, которые рекомендует В.Ф.Канин (цит. по Андреев, 1962) для салачной ловушки своей конструкции: А = 16,0 м; Б = 8,0 м; $К_2$ = 4,5 м[x].

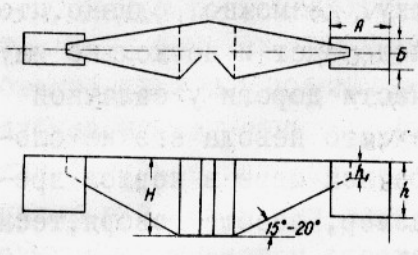


Рис.4. Ловушка конструкции В.Ф.Канина

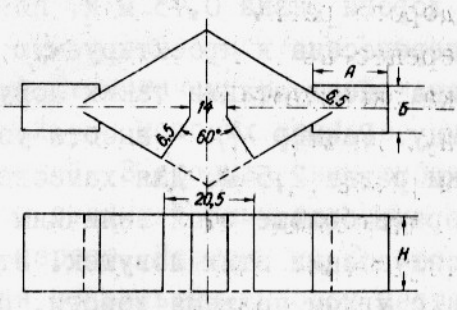


Рис.5. Ставной невод "Полугигант"

Таким образом, общие размеры садка, рекомендуемые для хамсово-тюлечных неводов типа "Полугигант" Е.Е.Шапуновым, немного больше размеров садков взятых за прототип салачных ловушек, применяемых в Балтийском море на глубинах примерно 10м. Эти небольшие различия легко объясняются большими средними уловами, которые берут в Азовском море.

Выбирать габариты двора ловушки следует с учетом особенностей ее конструкции. Но первый вход в ловушку, очевидно, следует делать точно таким же, как у хамсово-тюлечных ставных неводов "Полугигант", так как размеры этого входа определяются главным образом биологическими особенностями объекта лова. По Е.Е.Шапунову, узкая часть первого входа должна быть равна 14 м, а длина открылков – 6,5 м. Интересно отметить, что узкая часть входа в ловушку Канина равна всего 1,2Н = 1,2х8= 9,6 м. Такая разница в размерах объясняется различным характером хода этих видов рыб: салака идет более разрежено, чем хамса и тюлька. Тюлька и особенно хамса мигрируют косяками.

Угол между открылками следует брать таким же, как у неводов типа "Полугигант", т.е. равным 60°.

Размеры и углы стенок двора, которые в проектируемой ловушке одновременно служат и стенами подъемной дороги, надо брать такими же, как у салачной ловушки, т.е. от 15 до 20°.

Размеры узкой части входа в ловушку мало связаны с осо-

---

x) В книге Н.Н.Андреева, цитируемой здесь, применены несколько иные обозначения элементов садка и ловушки.

бенностями объекта лова и условиями среды. Так, невода "Гигант", "Полугигант" и большинство односадковых ловушек, применяемых в различных районах и для лова различных рыб, имеют ширину этого входа 30-40 см. В ловушке Канина ширина узкой части дороги равна 0,75 м и, по-видимому, без изменений может быть перенесена в проектируемую ловушку. Возможно, однако,что практика эксплуатации таких ловушек подскажет и несколько иную величину. Размер h_1 - высота узкой части дороги у салачной ловушки равен 2,5 м. Для хамсово-тюлечного невода его не следует брать больше этой величины по крайней мере в первое время эксплуатации этих ловушек. Этот размер, вообще говоря,тесно связан с углом подъема дороги, объемом садка и биологией объекта лова. Если в садке накапливается очень много рыбы, которая держится поверхностных горизонтов воды, этот размер следует уменьшать. Естественно, для этого надо увеличить либо угол подъемной дороги, либо размер садка. Но с увеличением угла дороги может ухудшиться заход рыбы в садок, а с увеличением размеров садка возрастет расход сетематериалов, усложнятся крепления и повысится трудоемкость работ при переборке садка. Поэтому здесь надо рассчитать, что выгоднее с точки зрения экономии сетематериалов увеличивать: размер садка или длину дороги.

Длину садковой части подъемной дороги можно брать по Канину, т.е. равную 4,5 м, так как этот размер учитывает специфику этого типа входного устройства. Однако, как и в предыдущем случае, возможно, что в результате опытной эксплуатации проектируемой ловушки на лове хамсы и тюльки эта длина будет корректироваться.

Помимо перечисленных размеров, необходимо выбрать расстояние от конца входных открылков до задней стенки двора. У ловушки "Полугигант" вход во двор имеет ширину $14+2x6,5x60^0=$ 20,5 м. Следовательно, искомое расстояние должно быть менее 20,5 м. Чтобы определить точные размеры двора, необходимо иметь в виду, что он связан с длиной подъемной дороги и углом между ее стенками, который приблизительно равен углу подъема дороги. Так как длина дороги и этот угол уже определены, простым расчетом получим и этот размер. Если в результате расчета искомая величина окажется меньше 20,5 м, ее следует довести до эталонной, увеличив угол между стенками подъемной дороги.

Определив расстояние между задней стенкой двора и концами открылков, можно считать расчет оконченным, так как теперь все размеры, необходимые для постройки ловушки, известны.

Заключение

Конструкция стационарных орудий рыболовства и размеры их отдельных элементов определяются биологическими особенностями объекта лова и внешними условиями, из которых наиболее важна глубина места установки этих орудий. В промышленном рыболовстве основное значение имеет лов стационарными орудиями мигрирующих рыб, особенно идущих на нерест. Поэтому успех промысла ловушками во многом определяется правильным выбором места их установки. Поведение рыбы при встрече с крылом и при подходе к ловушке целиком зависит от вида миграции. Пользуясь изложенными принципами расчета и зная биологические особенности объекта лова, можно построить высокоэффективную ловушку по аналогии с существующей конструкцией, но предназначенной для лова другого объекта.

Литература

Андреев Н.Н. Справочник по орудиям лова, сетеснастным материалам и промысловому снаряжению. М., Пищепромиздат, 1962, 504 с.

Баранов Ф.И. Избранные Труды, т.I. Техника промышленного рыболовства. М., "Пищевая промышленность", 1969, 716 с.

Гуревич М.И. О косом набегании рыбы на сетную перегородку. "Труды КТИРП", 1964, вып.ХУП, с.79-82.

Калиновский В.С. Инструкция по постройке, установке и эксплуатации штормоустойчивых ставных неводов. Владивосток, 1951, 15 с.

Канин В.Ф. Ставной неводной лов. М., Пищепромиздат, 1950, 85 с.

Лексуткин А.Ф. Ставной невод улучшеной конструкции. - "Рыбное хозяйство", 1953, № 4, с.11-14.

General principles of designing traps

N.N.Andreev

S u m m a r y

The method of designing stationary fishing gear is based on the analysis of biological peculiarities of the species fished and environmental conditions. Traps are used mainly for migratory species of fish. So it is very important to select appropriate places and time of setting traps. The dimensions of certain elements of the trap and the length of seine wing are selected proceeding from the practice in use.

Р Е Ф Е Р А Т Ы

УДК 639.2.081.11

Геометрические свойства сетного полотна с шестиугольной ячеей. Н.Н.Андреев, В.Г.Любимов. Труды ВНИРО, 1977, т.СХХП, с.5-40.

Для проектирования орудий лова, построенных из сетного полотна с ячеями шестиугольной формы, необходимо знать их основные геометрические свойства. В работе анализ этих свойств дан в сравнении со свойствами обычных рыболовных сетей.

Формоизменяемость новых сетных полотен характеризуется посадочными коэффициентами, физический смысл которых аналогичен физическому смыслу обычных посадочных коэффициентов. Получены соотношения между вертикальным и горизонтальным посадочными коэффициентами, найдены их оптимальные величины, при которых сетное полотно имеет минимальный вес. Некоторые расчетные формулы стабулированы.

Отмечено, что геометрические свойства сетного полотна с шестиугольными ячеями зависят от расположения ячеи относительно внешних сил, действующих на орудие лова.

Составлены дифференциальные уравнения, позволяющие находить форму сетного полотна, расположенного на поверхности вращения. На конкретных примерах показаны способы решения этих уравнений.

Установлено, что в некоторых случаях применять сетные полотна с шестиугольной ячеей выгоднее, чем обычные сети.

Табл.5, илл.5, библ.7

УДК 639.2.081.117

Некоторые вопросы технологии изготовления тралов. В.Н.Советов. Труды ВНИРО, 1977, т.СХХП, с.41-57.

Одной из возможностей повышения технико-экономических показателей и снижения себестоимости орудий промышленного рыболовства является усовершенствование и оптимизация технологии их изготовления. Лабораторией рыболовных материалов и промысловой гидродинамики ВНИРО исследовалась взаимосвязь коэффициентов посадки и циклов раскроя сетного полотна и их

влияние на так называемые построечные и рабочие углы атаки сетных частей орудий лова, а также рациональные способы формирования сетной поверхности.

Предложены формулы для определения коэффициента посадки по любой наклонной кромке сетного полотна и для определения угла резания в зависимости от цикла раскроя. Найдена зависимость построечного угла атаки от этих величин, установлено, что на практике при изготовлении орудий лова наиболее часто применяются построечные углы атаки I2 - I5^{0}.

Если допустить, что исходная форма тралирующих орудий представляет собой прямой конус с постоянным коэффициентом посадки, то наиболее рациональным способом изготовления трала является вывязывание их сетного полотна с дифференциально изменяющимся размером ячей при постоянном их числе по поперечным рядам. Изготовленные этим способом разноглубинные цельновязанные тралы для судов РТМС показали хорошие технико-эксплуатационные качества в промысловых условиях.

Табл.3, илл.6, библ.2I.

УДК 639.2.08I.II7

К теории лова рыбы тралирующими орудиями. Н.Н.Андреев. Труды ВНИРО, 1977, т.СХХП, с.58-76.

Известно,что уловистость тралов заметно меньше единицы. В работе предложен метод определения уловистости на основании учета обобщенных биологических характеристик объекта лова,подобно тому, как это ранее было сделано при построении теории лова рыбы кошельковыми неводами.В конечные формулы уловистости,полученные путем простых рассуждений,входят три неизвестные величины.Поэтому для определения уловистости экспериментальным путем достаточно получить уловы трех тралов с различными размерами устья.

Анализ формул показывает,что при равномерном распределении рыбы и одинаковом ее поведении во всех направлениях тралы с круговым сечением устья обладают заметно большей уловистостью, чем с устьем прямоугольной формы.

Предлагаемый расчет уловистости трала применим не только для случая равномерного распределения рыбы в пространстве, но и для всех случаев,когда закон изменения плотности известен.

Предложенная модель не учитывает влияния конструктивных элементов трала на поведение рыбы при встрече с тралом, поэтому выполненный анализ следует рассматривать как первое приближение, лишь в общих чертах описывающий процесс поимки рыбы тралами.

Илл.6, библ.14.

УДК 639.2.081.11

Об одном случае деформации прямоугольного сетного полотна. Н.Н.Андреев. Труды ВНИРО, 1977, т.СХХП, с.77-90.

Большинство орудий лова состоит из разнообразно расположенных прямоугольных кусков сетного полотна. При изготовлении орудий лова одна, две, а иногда и все четыре кромки такого сетного полотна остаются свободными, деформируясь в процессе лова. Особенно нежелательный характер эта деформация имеет у дрифтерных сетей, ставных и кошельковых неводов.

В работе рассматривается случай, когда сетное полотно растягивают вертикальными силами, которые во время деформации остаются перпендикулярными к подборам. Анализ показал, что подборы и боковые кромки изгибаются по кривым эллиптического характера, аналогичным кривой, вращением которой вокруг оси абсцисс образуется поверхность вентереобразных орудий рыболовства. Решение уравнений показывает, что основным параметром, определяющим величину деформации, является посадочный коэффициент: чем больше посадочный коэффициент по подборам, тем больше деформация боковых кромок.

Илл.5, библ.7.

УДК 639.2.081.16.

Общие принципы проектирования рыболовных ловушек. Н.Н.Андреев. Труды ВНИРО, 1977, т.СХХП, с.91-108.

Предложенный в статье метод проектирования стационарных орудий рыболовства построен на основе анализа биологических особенностей объекта лова и внешних условий. В работе показано, что ловушками ловят главным образом мигрирующих рыб. Поэтому на успех лова ловушками большое влияние оказывает пра-

вильный выбор места и времени установки. Величину отдельных элементов ловушки и длину крыла невода надо выбирать исходя из существующей практики работы ловушек аналогичных конструкций и практики лова той же рыбы ловушками других конструкций. Пользуясь изложенными принципами расчета и зная биологические особенности объекта лова, можно построить высокоэффективную ловушку по аналогии с существующей конструкцией, но предназначенной для лова другой рыбы.

Илл.5, библ.6.

Редактор К.Д.Косова
Техн.редактор Т.Г.Таривердиева
Отдел научно-технической информации

Л - II4840 Подписано к печати 7/П-77 г.
Формат 70XI08/I6 Заказ № 33 Тираж 550 экз.
Объем 5,7 п.л. Цена 0 р. 60коп.

Ротапринт ВНИРО
Москва, I07I40, Верхняя Красносельская,I7