

УДК 639.2.081.11

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕТНОГО ПОЛОТНА  
С ШЕСТИУГОЛЬНОЙ ЯЧЕЙЕЙ

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 ячейками (Андреев, Любимов, 1975).

Наличие шести сторон позволяет широко видоизменять форму ячей не только применением различных посадочных коэффициентов, но и путем изменения отношения  $a_2:a_1$ . Кроме того, шестиугольная ячейка не обладает такой симметрией, какой обладает ромб. Поэтому расположение ячейки 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 ячейками перед обычными рыболовными сетями состоит в том, что шестиугольная ячейка дает возможность широко варьировать различными параметрами для наилучшего удовлетворения требованиям, предъявляемым к орудию лова (рис.1). На рис.1а отношение  $a_2:a_1$  равно 0,15, а на рис.1б - 3,5. Эти отношения и расположения ячеек соответствуют примерно тем, которые применяются при строительстве тралов.

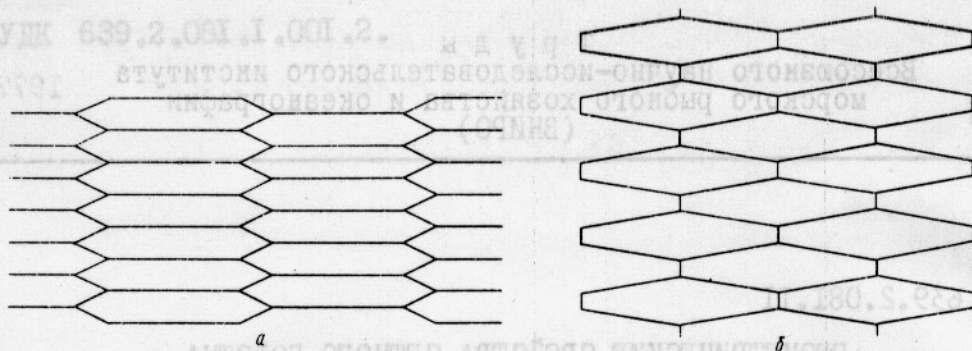


Рис.1. Форма и расположение шестиугольной ячеи с горизонтально (а) и вертикально (б) расположенной стороной  $a_2$

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

#### Посадочные коэффициенты

В обычной сети с ромбовидной ячейкой 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 ячейке 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 ячейка 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<sup>х</sup>) 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 ячеей (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 ячеей, 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 ячейках.

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 ячеей. Поэтому необходимо установить способ подсчета количества ячеей. На первый взгляд этот вопрос может показаться элементарным. Однако даже при подсчете ячеей более простой

х) В дальнейшем во избежание недоразумений вертикальным посадочным коэффициентом будем называть тот, который показывает меру сокращения против жгута диагонали ячеей, имеющей то же направление, что и параллельные стороны ячеей (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 ячеей по длине сети. Если рассматривать ячейку 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 ячеей 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  $(2a_1 + a_2)m$ , ни при  $m=3$ , ни при  $m=2$ .

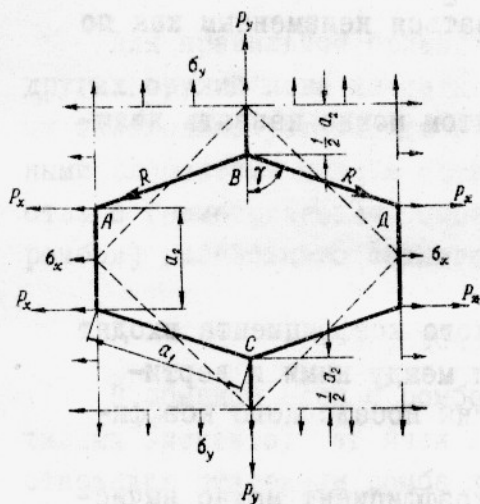


Рис.2. Шестиугольная ячейка сетного полотна

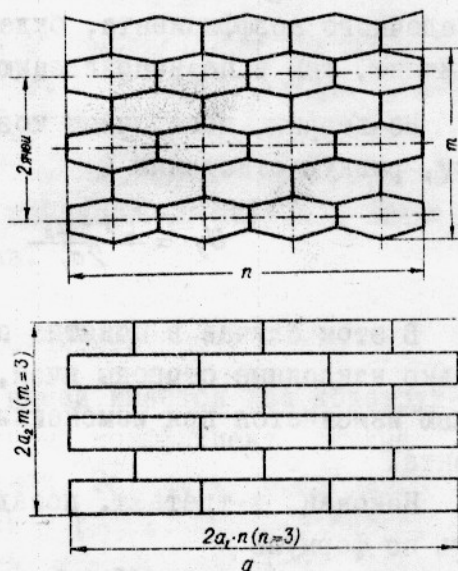
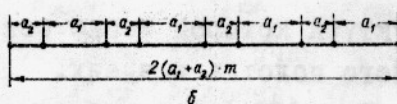


Рис.3. Сетное полотно с шестиугольной ячейкой, вытянутое в жгут по вертикали (а) и по горизонтали (б)



Вероятно, считать ячейки в таких сетях целесообразно в соответствии с формулой длины жгута  $S = 2m(a_1 + a_2)$ . Это означает, что вертикальные ряды ячеей лежат между вертикальными диагоналями, проходящими через середину горизонтальной стороны ячейки (см.рис.3). По этому счету ячейки следует называть фигурой, 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  $(\frac{1}{2}AD)^2 + \frac{1}{4}(CB - a_2)^2 = a_1^2$ .

Подставив в это выражение значения  $AD$  и  $CB$ , получим

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

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

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

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

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 ячей 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 ячейках.

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 ячей приб-

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

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

Отсюда можно заключить, что по геометрическим свойствам сетное полотно, состоящее из шестиугольных ячеек, 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 ячейки. 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 ячейками, 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:

$$\text{когда } U_y = 1, U_x = 0.$$

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

$$0 \leq U_x \leq 1. \quad 1 \geq U_y \geq \frac{Z}{1+Z}. \quad (2)$$

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 тралях) 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.

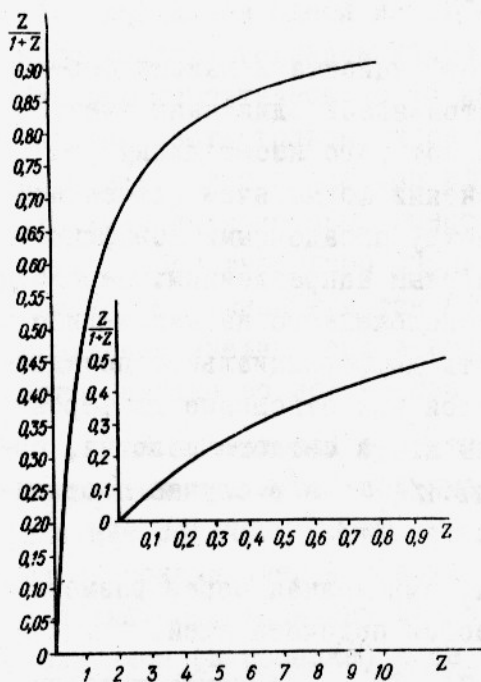


Рис.4. График наименьшего значения посадочного коэффициента

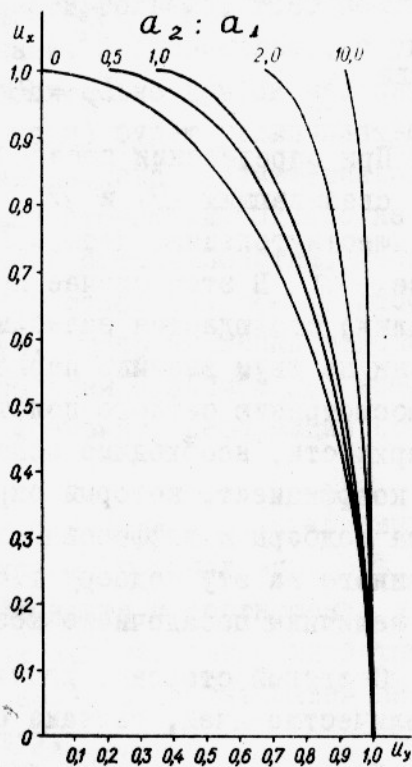


Рис.5. График зависимости  $U_x = \sqrt{1 - [U_y(1+z) - z]^2}$  для некоторых значений  $z$ .

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 ячейками нельзя пользоваться обычными формулами.

Из рис.5 видно, что сетное полотно с шестиугольной ячейкой 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 0,91 при  $U_x = 1,0$  до 1,0 при  $U_x = 0$  (см. рис.4). Поэтому при проектировании орудий лова из сетного полотна с шестиугольными ячейками необходимо более строго рассчитывать форму. Малая формоизменяемость требует обоснованного выбора посадочного коэффициента и отношения  $a_2:a_1$ .



Интересен случай, когда ячей 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 ячей, т.е. шестиугольник, четыре стороны которого имеют длину  $a_1$ , а две —  $a_2$ . В этом случае при изменении формы ячей (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 подбора 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 ячеей, связана со способом подсчета ячеей.

Длина жгута сетного полотна  $S_x = 2a_1 n$ , а длина подбора, 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

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

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

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 AD и CB, 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, полу-

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Эти формулы дают связь посадочных коэффициентов  $U_x$  и  $U_y$ , которые при данной величине  $Z$  обеспечивают максимальную площадь ячеек, а следовательно, и максимальную площадь сетного полотна. Таким образом, если по каким-либо конструктивным соображениям выбрано расположение ячеек 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:

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

При этих расчетах необходимо иметь в виду, что определяется не площадь самой ячейки, а площадь, которую она занимает в сетном полотне (поэтому периметр ячейки 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

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

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

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

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 ( $Z = 1$ ).

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	0,125	1,0	0,750	0,866	0,650	0,1444
0,1	0,711	0,731	0,520	0,130	2,0	0,789	0,930	0,734	0,138
0,2	0,716	0,752	0,538	0,133	3,0	0,820	0,959	0,787	0,126
0,3	0,720	0,771	0,556	0,137	4,0	0,845	0,975	0,823	0,114
0,4	0,724	0,787	0,571	0,139	5,0	0,864	0,981	0,849	0,104
0,5	0,729	0,804	0,587	0,141	6,0	0,880	0,986	0,869	0,095
0,6	0,733	0,819	0,601	0,142	7,0	0,892	0,990	0,884	0,087
0,7	0,737	0,836	0,614	0,143	8,0	0,902	0,991	0,896	0,081
0,8	0,742	0,845	0,627	0,144	9,0	0,911	0,993	0,905	0,075
0,9	0,746	0,854	0,639	0,144	10	0,918	0,995	0,914	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  $Z$ .

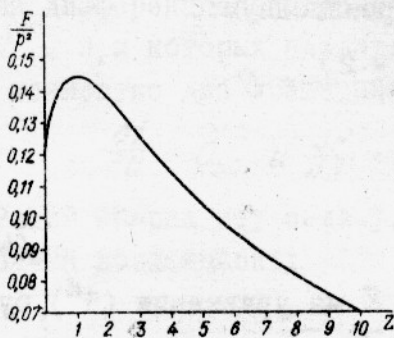


Рис. 6. График функции  $F:p^2$

и те преимущества в весе, которые дает использование значений  $U_x$  и  $z$  близких к оптимальным. Важно отметить, что сетные полотна с шестиугольной ячейей 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 ячейей требуется меньше веревочно-канатных изделий, чем для вывязки обычных рыболовных сетей.

Проиллюстрируем эти расчеты примером.

Пусть необходимо изготовить сетное полотно, имеющее в посадке площадь  $1000 \text{ м}^2$  и площадь ячейи  $5 \text{ м}^2$ . Рассчитаем длину веревки для вывязывания этого сетного полотна (без учета расхода веревки на завязывания узлов) для четырех случаев:

1)  $z = 0,2$ ;  $U_x = 0,4$ ;      2)  $z = 1,0$ ;  $U_x = 0,866$   
(оптимальный вариант); 3)  $z = 5$ ;  $U_x = 0,893$  и 4) обычное сетное полотно.

Случай I. Определим сперва периметр ячейи из формулы для площади ячейи

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

Отсюда найдем  $p^2 = 54 \text{ м}^2$ , или  $p = 7,35 \text{ м}$ .

Найдем теперь размеры сторон ячейи, 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 ячеек равно  $1000:5=200$ , общая длина веревки для вывязывания этой сети  $L = 200 \times 7,35 = 1470$  м.

Случай 2.  $\rho = 5,88$  м,  $a_1 = 0,98$  м,  $a_2 = 0,98$  м.

$$L = 1176 \text{ м.}$$

Случай 3.  $\rho = 8,78$  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

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

Отсюда  $\rho^2 = 40$ , а  $\rho = 6,32$  м. Периметр квадрата равен 4а, следовательно, шаг ячеек  $a = 6,32 : 4 = 1,58$  м. Длина веревки  $L = 6,32 \times 200 = 1264$  м.

Из этого примера видно, что во-первых, применение оптимальных величин  $z$  и  $U$  дает значительную экономию веревочно-канатных изделий, а во-вторых, применение шестиугольной ячейки 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.

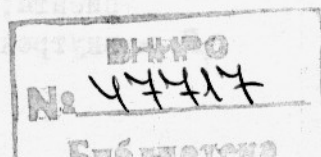
Так как периметр ячейки в сетном полотне равен  $4a_1 + 2a_2$ , меняя толщину одного из канатов, можно получить значительные изменения веса сетного полотна.

Пусть вес 1 пог.м каната, идущего на образование параллельных сторон ячейки, равен  $q_2$  а четырех других --  $q_1$ . Тогда вес канатов, идущих на изготовление одной ячейки, равен  $4a_1 q_1 + 2a_2 q_2$ . Если площадь сетного полотна в посадке на  $U_x$  и  $U_y$  равна  $F$ , количество ячеек, образующих эту сеть,

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

а вес сети

$$Q = \frac{(4a_1 q_1 + 2a_2 q_2) \cdot F}{4a_1(a_1 + a_2)U_x U_y} \quad (5)$$





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  $50 \times 20$  м. Стороны ячеей равны  $2,5$  м ( $a_1$ ) и  $1,5$  м ( $a_2$ ). Требуется определить вес этого сетевого 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

$$Q = \frac{(4 \times 2,5 \times 57 + 2 \times 1,5 \times 7,1)}{4 \times 2,5 (2,5 + 1,5) 0,733 \times 0,819} = 25 \text{ кг}$$

#### Отношение напряжений в сетном полотне с шестиугольными ячейками

Поскольку шестиугольное сетное полотно состоит из ячеей, 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 сетевого полотна. Ф.И. Баранов (1960) показал, что для обычной рыболовной сети, находящейся в равновесии под действием внутреннего давления, должны выполняться следующие соотношения:

$$\frac{\sigma_x}{r_x} + \frac{\sigma_y}{r_y} = \rho \quad \text{формула Лапласа;}$$

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

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;

$\rho$  - внутреннее давление.

Формула Лапласа справедлива и для сетного полотна с шестиугольной ячейей, 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 ячей (см. рис. 2) действует напряжение  $\sigma_y$ . Так как длина ячей в посадке на  $U_x$  равна  $AD = 2U_x \cdot a_1$ , суммарная сила, действующая на ячей  $P_y$  будет равна  $P_y = 2a_1 \sigma_y$ . Эта сила натяжения стороны  $a_2$  ячей вызовет натяжение сторон  $a_1$  ячей  $P_x$  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 ячей 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

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

Если это отношение выразить через величину  $U_y$ , получим

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

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 ячейками это отношение зависит также и от отношения  $a_2 : a_1$ , так как от этого отношения зависят посадочные коэффициенты. Когда  $a_1 \rightarrow 0$  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 ячеек.

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

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

для сетных полотен из шестиугольных ячеек выше, чем отношение

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

для обычного сетного полотна.

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

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

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  $\delta$  и  $\delta''$ , обозначив их  $\sigma_m$  и  $\sigma_p$  соответственно. Имеем

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

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 полотем 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 ячеей 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  $90^\circ$  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,

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

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

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

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 орудью 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.

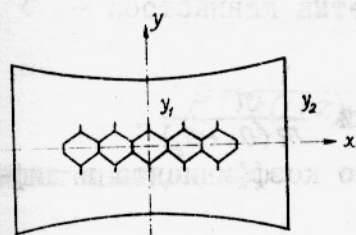


Рис.7. Секция вентереобразного орудия лова из сетевого полотна с шестиугольной ячейей

Как показывают опыты с моделями, сетное полотно с шестиугольной ячейей 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 ячеей ( $a_2$ ) 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 сетевого полотна в жгуте равна  $S_y = 2m(a_1 + a_2)$ , в посадке на  $U_y$  она составит  $2m U_y(a_1 + a_2)$ . 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,

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

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

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

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

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

Следовательно, окончательно имеем

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

Эллиптические интегралы, стоящие в правой части этого уравнения, зависят от пределов интегрирования  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  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  $\varphi$  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

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

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:

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

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

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

Переходя теперь к переменной  $\varphi$  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

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

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

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

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

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: 1) 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 ячеек.

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

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

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  $\infty$ . Когда сетное полотно является частью сети, посаженной на два обруча одинакового диаметра, у обычной сети  $c = 1 - U_0^2$ , где  $U_0$  — поперечный посадочный коэффициент в наиболее узком месте сети (Андреев, 1970), или  $c = U_{x0}^2$ , где  $U_{x0}$  — продольный посадочный коэффициент в наиболее узком месте.

Предположим, что и сетное полотно с шестиугольной ячейкой 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

$$c = 1 - [ky_0(1+z) - z]^2,$$

где  $y_0$  — величина ординаты в наиболее узком месте.

Но  $ky_0 = U_{y0}$ , где  $U_{y0}$  — поперечный посадочный коэффициент в этом сечении. Таким образом,  $c = 1 - [U_{y0}(1+z) - z]^2$ .

Учитывая соотношение (I), находим

$$c = U_{x0}^2.$$

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

Поскольку и пределы колебаний  $c$  остаются такими же, как у обыкновенного сетевого 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  $\varphi$  следует заменить переменной  $\psi$  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  $z$  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

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

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

$$U_{ур} = \frac{1 + Z}{\sqrt{(1 + Z)^2 + \frac{U_x^2}{U_y^2}}} = \frac{U_y \sqrt{1 + Z}}{\sqrt{1 - Z + 2Z U_y}},$$

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

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

т.е.  $U_{ур} > U_y$ .

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 ячейками, целесообразнее либо с помо-

Пример 2. Нужно найти расстояние между нижней и верхней шелью 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 ячейей в жгуте для постройки секции вентера, диаметр оброчей которого равен 1 м, посадочный коэффициент на оброчке - 0,5, а расстояние между оброчами - 1 м. Отношение  $z = 0,5$ .

Таким образом, имеем  $U_y = 0,5$ ,  $2x = 1,0$  м. Требуется найти  $S_x$ ,  $S_y$  и  $U_0$ .

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  $U_0$  известны.

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

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

Поэтому

$$0,5 \cdot \frac{2\pi \cdot 1,4}{6,28} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{c \sin^2 \varphi d\varphi}{\sqrt{1 - c \sin^2 \varphi}} \cdot \frac{1}{\arcsin \sqrt{\frac{1 - (1,4 \cdot 0,5 - 0,4)^2}{c}}}$$

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

$$n_1 = 0,112 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{c \sin^2 \varphi d\varphi}{\sqrt{1 - c \sin^2 \varphi}} \cdot \frac{1}{\arcsin \sqrt{\frac{0,91}{c}}}$$

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

$$k(1+z)S_x = \frac{2\pi}{6,28} 1,4 S_x = n_2 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{c} \cdot d\varphi}{\sqrt{1 - c \sin^2 \varphi}}$$

$$\text{arcsin} \sqrt{\frac{0,91}{0,946}}$$

Вычисления на ЭВМ показывают, что  $S_x = 0,525 \text{ м}$ . Так как  $S_x$  отсчитывается от центра секции, длина сетного полотна в жгуте, необходимая для постройки, равна  $1,05 \text{ м}$ .

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,

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

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 ячейей сужение в центральной части вентерной секции всегда меньше, чем у обычного сетного полотна.

Допустим, что эта секция вентера построена из обычного сетного полотна с эквивалентным размером ячеей и соответствующим посадочным коэффициентом. В этом случае  $U_{\text{пол.р}} = 0,625$ , 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 ячейей это отношение равно  $0,5 : 0,45 = 1,11$ . 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 ячейей оказывается весьма значительным.



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

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

$$\text{Следовательно, } S_x : S_y = 60 : 536 = 0,112.$$

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

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

или

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

где

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

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

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

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

### В ы в о д ы

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

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

2. Вертикальная и горизонтальная деформация сетного полотна с шестиугольной ячейей 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 ячейи (посадкой и отношением сторон), но и положением ячейи относительно сил, действующих на орудие лова.

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

4. Отношение напряжений у шестиугольной ячейи подчинено видоизмененному закону, установленному Ф.И. Барановым для обычного сетного полотна. При оптимальных величинах посадочных коэффициентов и  $Z$  это отношение равно 1, т.е. имеет ту же величину, что и у обычных сетей, независимо от величины  $Z$ . Так как шестиугольная ячейа обладает большей формоизменяемостью, чем ромбическая, при конструировании орудий лова из сетного полотна с шестиугольной ячейей всегда возможно избежать большой деформации под действием поперечных сил, возникающих в процессе лова.

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

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

Приложение

Таблица I

Вертикальный посадочный коэффициент

$$U_y = \frac{\sqrt{1 - U_x^2} + z}{1 + z}$$

$U_x \backslash z$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,10	995	996	996	996	997	997	997	997	997	997	998	999	999	999	999	999	999	999	999
0,15	990	991	991	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	971	974	976	977	979	980	981	982	983	984	989	992	994	995	995	996	996	997	997
0,30	958	962	965	967	969	971	973	974	976	977	985	988	991	992	993	994	995	995	996
0,35	942	947	951	955	958	960	963	965	967	968	979	984	987	989	991	992	993	994	994
0,40	924	930	936	940	944	948	951	954	956	958	972	979	983	986	988	989	991	992	992
0,45	903	911	918	924	929	933	937	941	944	947	964	973	979	982	985	987	988	989	990
0,50	878	888	897	904	911	916	921	926	929	933	955	967	973	978	981	983	985	987	988
0,55	850	863	873	882	890	897	903	908	913	918	945	959	967	973	976	979	982	984	985
0,60	818	833	846	857	867	875	882	889	895	900	933	950	960	967	971	975	978	980	982
0,65	782	800	815	829	840	850	859	867	874	880	920	940	952	960	966	970	973	976	978
0,70	740	762	780	796	809	821	832	841	850	857	905	929	943	952	959	964	968	971	974
0,75	692	718	740	758	774	788	801	812	822	831	887	915	932	944	952	958	962	966	969
0,80	636	667	692	714	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	751	763	842	882	905	921	932	941	947	953	957
0,90	487	530	566	597	624	647	668	687	703	718	812	859	887	906	919	929	937	944	949
0,95	375	427	471	509	541	570	595	618	638	656	771	828	862	885	902	914	924	931	937



Т а б л и ц а 2

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

$U_y$ \ $z$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0,15	998	-																		
0,20	993	999	-																	
0,25	985	995	1,0	-																
0,30	973	987	996	1,0	-															
0,35	959	975	988	996	-															
0,40	940	960	975	987	995	999	-													
0,45	919	942	959	973	985	993	998	1,0	-											
0,50	893	917	937	954	968	980	989	995	999	1,0	-									
0,55	863	888	910	929	946	960	972	982	989	995	-									
0,60	828	854	877	898	917	933	947	960	971	980	-									
0,65	789	815	838	860	880	898	914	929	942	954	1,0	-								
0,70	742	768	792	815	835	854	872	888	903	917	995	-								
0,75	689	714	738	760	781	800	818	835	851	866	968	1,0	-							
0,80	626	650	673	694	714	733	751	768	785	800	917	980	1,0	-						
0,85	550	572	593	613	632	650	678	694	709	714	835	917	968	995	1,0	-				
0,90	456	475	493	510	527	543	558	572	586	600	714	800	866	917	954	980	995	1,0	-	
0,95	327	341	355	368	380	392	403	415	425	436	527	600	661	714	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 ( $1,0 \geq U_x > 0,0$ ).

Величина  $F: \rho^2 = \frac{1+z}{(2+z)^2} U_x U_y.$

$U_x \backslash z$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	022	015	012	012	012	012	012	011	011	011	010	008	007	006	005	005	004	004	004
0,10	025	025	025	024	024	024	023	023	023	022	019	016	014	012	011	010	009	008	008
0,15	037	037	037	036	036	035	035	034	034	033	028	024	021	018	016	015	013	012	011
0,20	049	049	048	048	047	047	046	045	045	044	037	032	028	024	022	020	018	017	016
0,25	060	060	060	059	059	058	057	056	056	055	047	040	035	030	027	025	022	021	019
0,30	072	072	071	070	070	069	068	067	066	065	056	047	041	036	032	030	027	025	023
0,35	082	082	082	081	080	080	079	078	076	076	064	055	048	042	038	034	031	029	026
0,40	092	092	091	091	091	090	089	088	086	085	073	063	055	048	043	039	036	033	030
0,45	101	102	102	101	100	100	098	097	096	095	082	070	061	054	048	044	040	037	034
0,50	109	110	110	110	109	109	107	106	105	104	090	077	068	060	053	049	044	041	038
0,55	116	118	118	118	117	117	116	115	114	112	098	084	074	065	059	053	049	045	041
0,60	122	124	125	125	125	124	123	123	121	120	105	091	080	071	064	058	053	049	045
0,65	127	129	130	131	131	131	130	130	128	127	112	098	086	076	068	062	057	053	048
0,70	129	132	134	135	136	136	136	135	134	133	119	104	092	081	073	067	061	056	052
0,75	129	134	136	138	139	140	140	140	139	138	125	110	097	086	078	071	064	060	055
0,80	127	132	136	139	141	142	143	143	143	142	125	115	102	091	082	075	069	064	059
0,85	121	128	133	137	140	142	143	144	144	144	135	120	107	096	086	079	072	067	062
0,90	109	118	125	131	135	138	140	142	143	143	137	124	111	099	090	083	056	070	065
0,95	089	101	110	117	123	128	132	135	137	138	138	126	114	103	093	086	079	073	068

Величина отношения напряжений  $\sigma_y : \sigma_x = \frac{\sqrt{1-U_x^2} (\sqrt{1-U_x^2} + z)}{U_x^2}$  Таблица 4

$z/U_x$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	439	479	519	559	599	639	679	719	759	799	1198	1600	1998	2397	2797	3196	3596	3996	4395
0,10	109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	298	398	497	597	696	796	895	995	1049
0,15	47,9	52,3	56,7	61,1	65,5	69,8	74,2	78,6	83,0	87,4	131	175	219	263	307	351	395	439	483
0,20	26,5	28,9	31,4	33,8	36,3	38,7	41,2	43,6	46,1	48,5	73,0	97,5	122	147	171	196	220	245	269
0,25	16,5	18,1	19,6	21,2	22,7	24,3	25,8	27,4	28,9	30,5	46,0	61,5	76,9	92,4	108	123	139	154	170
0,30	11,2	12,2	13,3	14,4	15,4	16,5	17,5	18,6	19,7	20,7	31,3	41,9	52,5	63,1	73,7	84,3	94,9	106	116
0,35	7,93	8,70	9,46	10,2	11,0	11,8	12,5	13,3	14,1	14,8	22,5	30,1	37,8	45,4	53,1	60,7	68,4	76,0	83,7
0,40	5,83	6,40	6,98	7,55	8,12	8,69	9,27	9,84	10,4	11,0	16,7	22,4	28,2	33,9	39,6	45,4	51,1	56,8	62,6
0,45	4,38	4,82	5,26	5,70	6,14	6,58	7,03	7,47	7,91	8,35	12,8	17,2	21,6	26,0	30,3	34,8	39,2	43,6	48,0
0,50	4,12	4,51	4,89	5,28	5,67	6,05	6,44	6,82	7,21	7,60	11,5	15,3	19,2	23,1	26,9	30,8	34,6	38,5	42,4
0,55	2,58	2,86	3,13	3,41	3,69	3,96	4,24	4,51	4,79	5,07	7,83	10,6	13,3	16,1	18,9	21,6	24,4	27,1	29,9
0,60	2,00	2,22	2,44	2,66	2,88	3,11	3,33	3,55	3,77	4,00	6,22	8,44	10,7	12,9	15,1	17,3	19,6	21,8	24,0
0,65	1,55	1,73	1,91	2,09	2,27	2,45	2,63	2,81	2,99	3,17	4,97	6,76	8,56	10,4	12,2	14,0	15,8	17,6	19,4
0,70	1,19	1,32	1,48	1,62	1,77	1,92	2,06	2,21	2,35	2,50	4,00	5,41	6,87	8,33	9,78	11,2	12,7	14,2	15,6
0,75	0,89	1,01	1,13	1,25	1,36	1,48	1,60	1,72	1,83	1,95	3,13	4,30	5,48	6,65	7,83	9,00	10,2	11,4	12,5
0,80	0,66	0,75	0,84	0,94	1,03	1,13	1,22	1,31	1,41	1,50	2,44	3,38	4,31	5,25	6,19	7,13	8,06	9,00	9,94
0,85	0,46	0,53	0,60	0,68	0,75	0,82	0,90	0,97	1,04	1,11	1,84	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	0,61	0,67	0,72	0,77	1,31	1,85	2,39	2,93	3,46	4,00	4,54	5,08	5,62
0,95	0,14	0,18	0,21	0,25	0,28	0,32	0,35	0,38	0,42	0,45	0,80	1,15	1,49	1,84	2,18	2,53	2,87	3,22	3,57



## Л и т е р а т у р а

- А з в о л и н с к и й А.И., А н д р е е в Н.Н., Я к о в - л е в А.А. О выборе посадочного коэффициента для кошельковых неводов. - "Рыбное хозяйство", 1975, № 5, с.46-49.
- А н д р е е в Н.Н. Об измерении вышины сетей. - "Рыбное хозяйство", 1949, № 12, с.28.
- А н д р е е в Н.Н. Проектирование кошельковых неводов. М., "Пищевая промышленность", 1970, 276 с.
- А н д р е е в Н.Н., Л ю б и м о в В.Г. Геометрические свойства сетного полотна с ячейми шестиугольной формы. - "Рыбное хозяйство", 1975, № 9, с.52-55.
- Б а р а н о в Ф.И. Техника промышленного рыболовства. М., Пищепромиздат, 1960, 696 с.
- З о н о в А.И. Геометрия рыболовной сети и ее равновесное состояние. - "Известия ГосНИОРХ", 1971, т.73, с.96-168.
- И з н а н к и н Ю.А. Основы расчета оснастки и натяжения подборы, задающейся на сетном мешке, имеющем вид поверхности вращения. - "Труды КТИРП", 1973, вып. III, 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.