



К вопросу о расчете сетных оболочек

Канд. техн. наук Ю.А. Изнанкин – КГТУ

Расчет сетных оболочек рассматривается в достаточно большом количестве работ. В частности, можно отметить работы Н.Н. Андреева, А.И. Зонова, В.А. Бидермана, Б.А. Бухина, Э.П. Иванова, В.Д. Кулагина, Б.И. Германа, В.И. Габрюка, А.М. Крамского и др.

В последнее время появляются статьи, где игнорируются результаты предыдущих исследований, что приводит к необоснованной постановке ряда вопросов. Из них статья Н.Л. Великанова [Великанов Н.Л., Сазонова Е.Е. Особенности расчета прочности сетного полотна кошелькового невода. Труды науч. конфер. КГТУ. Ч. 1. Калининград: КГТУ, 2006. С. 167–169] имеет программный характер и поэтому заслуживает особого внимания. В дальнейшем ссылка на Н.Л. Великанова равноценна ссылке на названную статью, где идет речь о **расчете прочности** сетной оболочки.

В первую очередь, необходимо остановиться на корректности такой задачи. Форма сетной оболочки орудия и усилия в ее элементах зависят от краевых условий, внешних сил (главным образом, это силы сопротивления) и внутренних свойств сетного полотна. Силы сопротивления, в свою очередь, зависят от формы оболочки и характеристик сетематериалов, чем определяется ее прочность. В итоге образуется замкнутый круг, разорвать который удалось на базе метода подобия и задания числовых характеристик прототипа. Но в этом случае прочность не рассчитывается, а связана с прочностью прототипа. В некоторых случаях, используя упрощенную модель орудия в виде поверхности вращения, можно аналитически рассчитать форму сетной оболочки и натяжения в ее нитях. Для этого необходимо численное задание параметров сетного полотна. Другими словами, прочность сетной оболочки не рассчитывается, а задается и постановка задачи расчета прочности не имеет под собой никаких оснований.

У Н.Л. Великанова сетные оболочки связываются, главным образом, с кошельковыми неводами. Особенностью последних являются большие габаритные размеры при относительно малом шаге ячеи. Этим определяется большая масса (стоимость, трудоемкость работ и т.д.) невода. Уменьшение расхода дели достигается за счет изменения высоты орудия по длине невода и изменения диаметра сетной нити (прочности). Прочность сетного полотна от сливной части до бежного крыла изменяется в 5–7 раз. Это обстоятельство очень сложно учесть при попытках аналитического расчета характеристик невода.

Статические расчеты оболочек Н.Л. Великанов связывает с поверхностями вращения, которые планируется представлять или в виде «сетных», или – «сплошных» образований. Здесь же утверждается, что «...имеются отличия в работе сетных и сплошных оболочек». Базой этого являются своеобразные представления автора цитаты о «сплошных» и «сетных» оболочках и игнорирование имеющихся работ по сетям, хотя, в частности, в статье [Изнанкин Ю.А., Котик В.П. О репрезентативности дискретной и континуальной моделей сетных мешков. Труды КГТУ. Вып. 65. Калининград: КГТУ, 1977. С. 47–52] показана равноценность обеих моделей.

Своеобразие представлений определяется тем, что и «сплошная», и «сетная» оболочки представляются в виде материальных объектов. Сейчас при расчетах пространственных образований сети возможно использование трех моделей: дискретной, континуальной и модели оболочки в виде гибкой нити.

Дискретная модель представляет нематериальную сеть, образованную двумя семействами математических линий. Она отражает только некоторые свойства реальной (материальной) сети: дискретность (шаг ячеи), формоизменяемость и регулярность сети. Последняя определяется ортогональностью главных направлений. Дискретная модель совсем не идентична реальной сети. Говорить о толщине сети дискретной модели равноценно измерению толщины математической линии.

Континуальная модель – это тоже виртуальное образование, где шаг ячеи считается бесконечно малой величиной. Такая сеть определяется главными направлениями, направлением сетных нитей и, соответственно, углом посадочного коэффициента. В остальном свойства обеих моделей одинаковы.

Деформированное представление о моделях вызвало постановку парадоксальной задачи – «Основной проблемой является разработка алгоритма и формул пересчета параметров сетной оболочки в параметры эквивалентной сплошной оболочки». В действительности, в силу родственности обеих моделей, никаких проблем здесь не существует. Связи между дискретной, континуальной и моделью оболочки в виде гибкой нити описаны и используются, как минимум, с 1975 г. [Изнанкин Ю.А. Основы статики сетных мешков. Калининград: КГТУ, 1975. 87 с.]. Более того, они отражены в учебном курсе «Математические модели сетных оболочек».

Те же причины привели к намерению учесть толщину оболочки континуальной модели по данным реальной сети – толщине нити и размеру узлов. Определение толщины оболочки может быть связано только с целью учесть ее жесткость. Обычно сетные образования рассматриваются как безмоментные, что связано с отсутствием у них жесткости. Специальные исследования в этой области [Герман Б.И. Влияние жесткости сетного полотна на форму рыболовной сети в потоке. Труды КГТУ. Вып. 62. Калининград: КГТУ, 1977. С. 116–120] подтвердили постулат безмоментности.

Модель сетной оболочки в виде гибкой нити не упоминается, хотя в ряде случаев она может существенно упростить расчеты. Это будет рассмотрено дальше в приложении к сети на конусе.

Большое значение Н.Л. Великанов придает необходимости учета упругих удлинений сетных нитей. При этом не принимаются во внимание результаты предыдущих исследований. Еще в конце сороковых годов Н.Н. Андреев показал, что удлинения сетных нитей ведут к изменению формы ячей, почти не отражаясь на их натяжении. Специальная работа Э.П. Иванова [Иванов Э.П. Расчет сетной оболочки постоянной гауссовой кривизны с учетом растяжимости нитей. Труды КГТУ. Вып. 57. Калининград: КГТУ, 1975. С. 80–83] подтвердила эти результаты.

Особого внимания заслуживает безоговорочное положение, что «Упругие свойства нитей ... хорошо описываются классическим законом Гука». Более того, утверждается возможность использования «... любой связи между натяжением нитей и их относительными деформациями». Оставим «любые связи» на совести автора.

Закон Гука отражает определенные физические свойства конструктивных материалов (далеко не всех). Для них упругие деформации определяются не внешними силами, а внутренними напряжениями и не зависят от размеров изделия.

Физические свойства рыболовных ниток иные. Относительное удлинение нити ε определяется нелинейной зависимостью $\varepsilon = cN^{\beta-5}$,

где c – коэффициент; N – натяжение нити. Величина коэффициента c зависит от толщины нитки, $c = f(d)$. Например, разрывное удлинение тонких ниток достигает 25 %; для средних – 35; для толстых – до 45 %, поэтому идентификация приведенной зависимости c законом Гука невероятна. Естественно, нелинейную зависимость на отдельных участках можно линеаризировать в приложении к конкретной нити, но это не означает ее замены законом Гука. Исследование этого вопроса показало, что линейная аппроксимация формулы $\epsilon = cN^{0.5}$ допустима, если натяжение нити не превышает 10 % от разрывной [Фридман А.Л., Гукало Я.М. Особенности методики экспериментального исследования напряженного состояния сетной оболочки орудий лова на моделях. Труды КГТУ. Вып. 62. Калининград: КГТУ, 1977. С. 106–108].

Зависимость $c = f(d)$ определяется (в некоторых пределах) недопустимостью совместной работы в орудиях лова материалов с различными характеристиками упругих свойств. Так, совместная работа топенанта и сетного полотна [Изнанкин Ю.А., Литвин А.Н. К теории топенанта. Труды КГТУ. Вып. 103. Калининград: КГТУ, 1983. С. 96–100] или пожилины и сетного полотна может привести к порывам последнего. Из закона Гука такое явление никак не вытекает.

Н.Л. Великанов планирует подробно изучить сетные оболочки вращения как модели кошелькового невода.

Форма невода, характер и величина внешних сил непрерывно изменяются в процессе его работы. Поэтому этот процесс делится на ряд этапов. Для каждого из них используется своя модель, позволяющая провести расчет отдельных элементов.

На одном из первых этапов оценивается глубина погружения нижней подборы, для чего используется модель сети, посаженной на два круглых обруча. Приближенность таких расчетов связана не только с аппроксимацией траектории замета окружностью. Сетная оболочка орудия, в отличие от модели, не является непрерывной. В неводе имеет место «разрыв» поверхности. На участке от пятного до бежного кляча сеть отсутствует. Если такой «разрыв» перенести на модель, то ее геометрия существенно изменится.

Вместо названной схемы может быть использована и другая модель, в виде псевдосферы, которая полностью рассчитывается аналитически. Результаты получаются примерно одинаковые. Например, глубина погружения подборы секции кошелькового невода (787,5 x 197, $u_1 = 0,65$) при использовании модели псевдосферы отличается от обычной [Розенштейн М.М. Задачник по механике орудий рыболовства. Калининград: КГТУ, 2003. С. 187] на 5 %. Однако приближенность результатов от замены расчетной модели не изменится.

Нужно отметить, что расчеты усилий в сетных нитях для данного этапа не имеют смысла. Так, для названного невода 785,5 x 197, $u_1 = 0,65$; шаг ячеи – 16 мм; нагрузка нижней подборы – 72 н/м. Максимальное натяжение сетной нити, вычисленное по модели псевдосферы, – менее 2 н. А прочность сетной нити (93,5 текс x 4) – около 200 н.

В статье Н.Л. Великанова предполагается провести подробный силовой расчет для базовых моделей кошелькового невода, у которых «... первоначальная (до приложения нагрузки) форма сетной оболочки – прямой круговой усеченный конус или часть сферы». Во-первых, представление о форме сети в виде конуса или сферы при отсутствии внешних сил настолько фантастично, что не требует комментариев. Во-вторых, выбор расчетной модели, тем более «базовой», требует хотя бы каких-то обоснований.

Очень сжато остановимся на статике сети в виде названного конуса, обратив внимание на условия его существования и практическую значимость результатов расчетов.

В дискретной модели рассматриваются натяжения сетных нитей.

В континуальной – напряжения (вернее, удельные натяжения) σ_1 , направленные вдоль меридианов, и σ_2 – направленные вдоль параллелей. При этом $\sigma_2 = \sigma_1 \cdot \text{tg}^2 \gamma$, где $\gamma = \text{Arc Sin } u_1$.



На рисунке, а конус задан прямолинейной образующей АВ. Ось вращения – ОХ. Окружность r_1 представляет верхнюю подбору, где посадочный коэффициент – u_1 . Нижняя подбора представлена окружностью r_2 . Загрузка ее равна q_0 .

Для расчетов используем модель оболочки в виде гибкой нити [Изнанкин Ю.А. Основы конструирования сетных орудий лова: Учебник. Калининград: КГТУ, 1996. С. 123], которая на рисунке представлена линией АВ. Нить растягивается усилиями T . К ней приложены внешние распределенные силы q_c, q_1, q_2 .

Связи между моделью гибкой нити и континуальной моделью сводятся к следующим отношениям: $T = \sigma_1 r, q_c = q_2 = Tr^{-1} \text{tg}^2 \gamma, q_1 = p_1 r, q_2 = p_2 r$. Символами p_1 и p_2 определяются величины внешних сил, относящихся к единице площади поверхности сетной оболочки.

Напряжение σ_1 по нижней кромке (r_2) оболочки $\sigma_{12} = q_0 / \text{Cos } \alpha$. Тогда натяжение нити АВ в точке В будет: $T_2 = q_0 r_2 / \text{Cos } \alpha$.

Условие существования сети в виде конуса сводится к требованию, чтобы вектор внешних сил $\vec{q} = \vec{q}_c + \vec{q}_1 + \vec{q}_2$ был направлен вдоль образующей АВ в любой ее точке.

В частном случае, когда $q_1 = 0$, приходим к условию $q_2 = -q_c$. В таком варианте натяжение $T = T_2 = \text{Const}$. Натяжения сетных нитей очень незначительны.

Другой вариант ($q_2 = 0$) приводит к наибольшим значениям натяжения сетных нитей при малых углах α . Условия существования сетного конуса здесь сводятся к требованию $q_1 = q_c \text{Ctg } \alpha$. К нему добавляется одно уравнение равновесия в проекциях на ось X: $dT \text{Cos } \alpha = q_1 dS = q_c \text{Ctg } \alpha dS$. Подставляя значения q_c и $dS = dr / \text{Sin } \alpha$, получим $dT = T \text{tg}^2 \gamma dr / r \text{Sin}^2 \alpha$. Учитывая, что $\text{Sin } \gamma = ru_{11} / r_1$, будем иметь $dT / T = r dr / (1 - c^2 r^2) \text{Sin}^2 \alpha$, где $c = u_{11} / r_1$. Правая часть дифференциального уравнения относится к табличным интегралам. После интегрирования и преобразований получим:

$$T = T_2 \left(\frac{c^2 - r_2^2}{c^2 - r^2} \right)^{\frac{1}{2 \text{Sin}^2 \alpha}} \quad (1)$$

Рассмотрим числовой пример. Конусная сеть характеризуется следующими данными: $r_1 = 125,3 \text{ м}; u_{11} = 0,65; \alpha = 15^\circ; r_2 = 83 \text{ м}; q_0 = 72 \text{ н/м};$ шаг ячеи сети $a = 16 \text{ мм}$ [Розенштейн М.М. Названный задачник, с. 187].

Напряжение по нижней кромке континуальной модели $\sigma_{12} = q_0 / \text{Cos } \alpha = 72 / 0,97 = 74 \text{ н/м}$. Натяжение нити АВ в нижней точке $T_2 = \sigma_{12} r_2 = 74 / 83 = 6160 \text{ н}$. Коэффициент $c^2 = r_1^2 / u_{11}^2 = 15700 / 0,42 = 37400 \text{ м}^2$. Показатель степени в (1) 0,5 ($\text{Sin } 15^\circ$)² = 7,5. Максимальное натяжение в нити модели будет в верхней точке, т.е. при $r = r_1$. Подставляя в (1) значения T_2, c, r_2, r_1 , получим $T_1 = 75800 \text{ н}$. Напряжения в сетной оболочке континуальной модели около верхней подборы $\sigma_{11} = T_1 / r_1 = 605 \text{ н}$.

Переход к дискретной модели сводится к определению натяжения сетных нитей. Суммарная сила натяжения двух нитей ячеи F_1 (см. рисунок, в) определяется длиной диагонали CD и величиной $\sigma_1 - F_1 = \sigma_1 2au_1$. Натяжение сетной нити $N = 0,5F_1 \text{Cos}^{-1} \gamma$, или $N = \sigma_1 a \text{tg } \gamma$.

В числах. У верхней подборы $N_1 = 605 \cdot 0,016 \cdot \text{Arc Sin } 0,65 = 8 \text{ н}$. У нижней кромки $N_2 = 0,6 \text{ н}$.

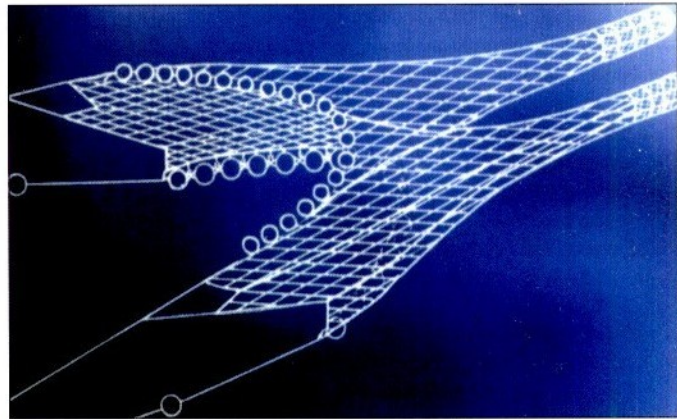
Проблема «перехода от одной модели к другой» оказывается виртуальной. Более того, предполагаемый «подробный прочност-

ной расчет» конической сети как модели кошелькового невода имеет схоластический характер. Величины натяжения сетных нитей, полученные в примере, показывают, что практического значения модель конуса иметь не может.

Для кошелькового невода существуют проблемы прочности, которые решаются эмпирическим путем. При этом наибольшие нагрузки в сетном полотне возникают в процессе кошелькования. Расчетной модели для этого этапа (кроме метода механической имитации) не создано. Более того, в это время происходят местные нарушения регулярности сети, что связано с образованием концентрации натяжений. Последней в неявном виде в значительной мере определяется прочность сетного полотна.

Для силовых расчетов кошелькового невода использование любой модели в виде поверхности вращения не имеет смысла. Сеть на поверхности вращения является регулярной, где натяжения сетных нитей вдоль параллелей распределяются равномерно. Поэтому их величина примерно на два порядка отличается от реальной.

Цель настоящей работы связана не только с иллюстрацией некорректности программы, изложенной в статье Н.Л. Великанова. Попутно дан способ силового расчета сети в виде конуса. На числовых примерах показана бесперспективность попыток использования модели в виде поверхности вращения для силовых расчетов сети кошелькового невода. Последние неизбежно связаны с учетом нарушений регулярности сетного полотна.



Iznankin Yu.A.

To the question of calculation of net covers

The author shows the incorrectness of the program stated in the article by Velicanov N.L. and Sazonova E.E. "Peculiarities of calculation of purse seine net strength" (Proceed. of sci. conf. KSTU. P.1. 2006). The author gives the static calculation of conic fishing net cover. Power calculation of purse seine net should take into account the infringements of fishing net regularity