

# Схематизированные сетные конструкции для исследования поля скоростей в орудиях рыболовства

Канд. техн. наук Л.Е. Мейлер – Балтийская Государственная академия рыбопромыслового флота

Учет характеристик гидродинамического поля, создаваемого тралом при движении в воде, является важным фактором при его проектировании, особенно с точки зрения разработки модели взаимодействия орудия лова с объектом лова. Экспериментальные данные служат основой оценки адекватности математических моделей обтекания сетной конструкции. Изучение полей скоростей и давлений обычно производится либо в натуральных условиях, либо на моделях в гидроканалах, опытовых бассейнах, аэродинамических трубах. Учитывая наличие масштабного эффекта при моделировании трала в целом, зачастую исследуют модели его отдельных элементов: мешков, сетных конусов или цилиндров. Такие исследования описаны как в ранних работах (в частности, *Higo N. Studies on the drag net-I; An increase of the current velocity inside the net// Memoirs of the faculty of fisheries, Kagoshima University, vol. 13, Dec., 1964, pp. 78–92; Scharping K.-D. Beitrag zur Untersuchung der Stromungsverhältnisse am Fischereinetz/ Fischerei-Forschung, 12, 1974, № 2, pp. 57–63; Ziembo Z. Flow of water in trawls// Scottish Fisheries Research, SFRT, 66, 28. 1987, Aberdeen; Баев Е.Л., Белов В.А. Определение поля скоростей в модели тралового мешка// «РХ», 1987, № 1, с. 54–57*), так и в работах последних лет (например, *Paschen M., Winkel H.-J. Flow investigations of net cones// Proceedings of the 4-th international workshop on methods for the development and evaluation of maritime technologies (DEMaT'99), Rostock, 1999, pp. 67–73; Enerhaug B., Gjusund S.H., Hansen K. Experimental, numerical and analytical studies of flow through reticulate and solid cones// Proceedings of the 5-th international workshop on methods for the development and evaluation of maritime technologies (DEMaT'01), Rostock, 2001, vol. 2, pp. 43–59*).

Неослабевающий интерес к подобным исследованиям свидетельствует о сложности проблемы и подтверждает важность ее решения. Большое значение при этом имеет методика проведения исследований, и в частности используемые средства измерений. Скорости потока и давления обычно измерялись гидрометрическими вертушками, насадками Пито, термоанемометрами. Для измерений этими датчиками внутри объекта необходимо делать местные вырезы в сети и учитывать влияние на поток консолей – «державок».

В работах последнего времени описывается использование для исследований распределения скорости потока в сетной конструкции лазерных доплеровских измерителей скорости (ЛДИС). Однако проведение измерений в конструкции, имеющей цилиндрическую форму (в траловом мешке), а также в конических сетных участках, соединенных с ним, затруднено. Поскольку такие участки имеют, как правило, малое раскрытие ячеей или изготовлены из двойной нити, сложно проникнуть внутрь сети с помощью измерительного устройства или излучателя. И если измерение продольных скоростей внутри сети иногда может быть выполнено для не слишком малого раскрытия ячеей, то измерение поперечных скоростей практически невозможно из-за препятствия в виде дели для прохождения лазерных лучей.

Чтобы преодолеть это препятствие, для измерения скорости потока внутри сети нами предложено использовать схематизированные сетные конструкции (далее – ССК). Так как эпюра скорости внутри сетного цилиндра или конуса симметрична относительно центральной оси, ССК представляет собой две вертикальные сетные пластины, прикрепленные к двум жестким горизонтальным пластинам, верхняя из которых прозрачная. Схематичное представление преобразования реальной сетной модели (цилиндр или конус) в ССК показано на *рис. 1, а, б*.

При проведении экспериментов ССК размещался на дне гидроканала таким образом, чтобы измерительные точки находились в сечении, расположенном на расстоянии 300 мм от дна рабочего участка, т.е. вне пограничного слоя в рабочем участке. Сравнение сетного цилиндра диаметром  $D$  и ССК, имеющей ширину («диаметр»)  $B = D$ , показало, что эпюры скоростей потока в них практически одинаковы как по форме, так и по величине. Этот факт подтвердил возможность применения ССК для анализа поля скоростей в сетной конструкции с применением ЛДИС. ЛДИС позволял измерять скорости потока в заданных точках ССК как в продольном  $v_x$ , так и в поперечном  $v_y$  направлении по отношению к направлению скорости набегающего потока  $v_{x_0}$ , а также интенсивности турбулентности потока  $\varepsilon_x$ .

В качестве примера покажем результаты исследования потока вокруг ССК – «сетной конус». Характеристики ССК: входной «радиус»  $R_1 = 0,4$  м; выходной «радиус»  $R_2 = 0,15$  м; длина  $L = 1,4$  м; диаметр нитей сетной пластины  $d = 1,0$  мм; шаг ячеей  $a = 20$  мм; коэффициент посадки  $u_x = 0,165$ . Скорость набегающего потока составляла  $v_{x_0} \approx 1,0$  м/с, а интенсивность начальной турбулентности  $\varepsilon_0 = 10,6$  %. *Рис. 2* иллюстрирует распределение скоростей потока по длине ССК; *рис. 3* – зависимости скоростей, а *рис. 4* – зависимости относительных интенсивностей турбулентности потока  $\varepsilon = \varepsilon_x/\varepsilon_0$  от относительной абсциссы  $x' = x/L$  и ординаты  $y' = y/R_2$  точек вокруг и внутри «сетного конуса».

Наблюдалось уменьшение скоростей потока в поперечном сечении перед входом в ССК при  $x' = 1,07$  по сравнению со скоростью невозмущенного потока в сечении  $x' = 1,64$ . Скорости потока вдоль «сетного конуса» ( $y' = 0,00; 0,33; 0,67; 1,00$ ) внутри него практически одинаковы, за исключением некоторого падения скорости у сетной стенки на выходе ( $x' = 0,0; y' = 1,00$ ). Изменение значений скоростей потока – в пределах 10 %, причем на выходе из «сетного конуса» скорости увеличивались по сравнению со скоростями на входе. Этот эффект можно объяснить уменьшением поперечного сечения «сетного конуса» и малым раскрытием ячеей, т.е. незначительной проницаемостью.

Для оценки экспериментальных данных сравним их с результатами расчета по математической модели гидродинамического поля, представленной в работе *Z. Ziembo (1987)*. Допущения данной модели: жидкость – идеальная, несжимаемая, невязкая; поток состоит из направленного вдоль оси симметрии (аксиального) и поперечного (радиального) потоков.

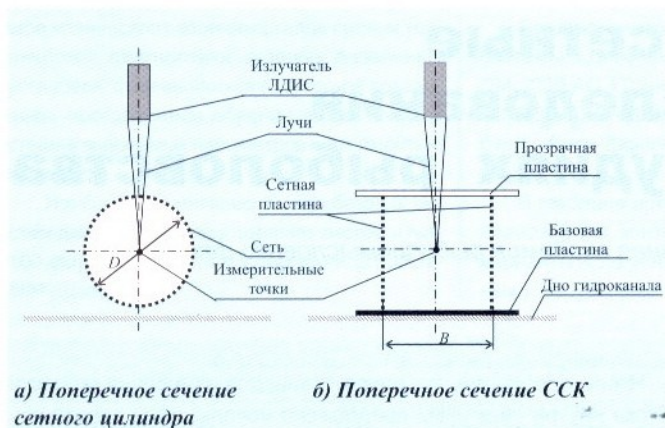


Рис. 1. Преобразование элемента орудия рыболовства в ССК

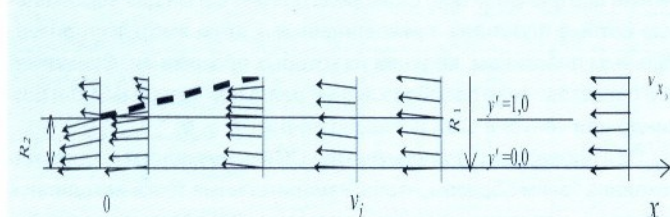


Рис. 2. Эпюры скоростей потока в ССК – «сетной конус»

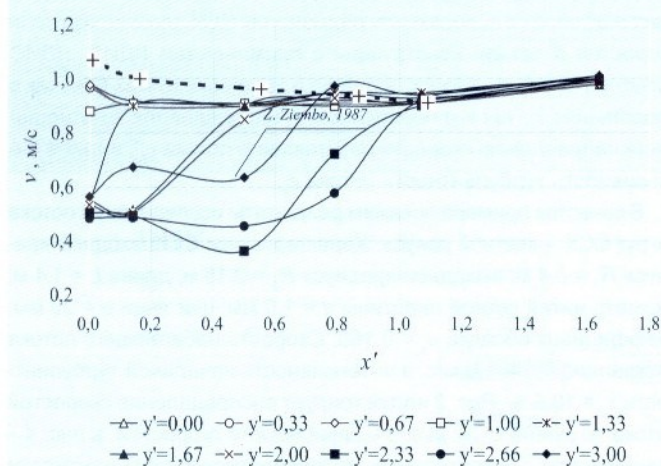


Рис. 3. Распределение скоростей потока для ССК – «сетной конус»

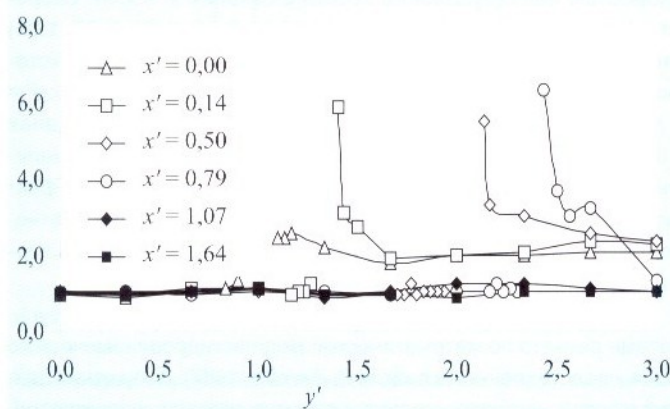


Рис. 4. Относительные интенсивности турбулентности потока для ССК – «сетной конус»

Рассматривается аксиально-симметричный двухпараметрический кинетический поток, уравнение которого имеет вид:

$$\frac{dr}{v_y} = \frac{dx}{v_x} = dt, \tag{1}$$

где  $r$  – текущий радиус сетного конуса;  $x$  – текущая координата по продольной оси;  $v_y$  – радиальная компонента скорости потока;  $v_x$  – аксиальная компонента скорости.

С использованием уравнения (1) и закона о неразрывности потока были получены выражения для осевой компоненты скорости потока в сетном конусе:

$$v_x = v_L + v_L \cdot \frac{r_L^2 - r^2}{1 - \varphi_{con} \cdot r_L^2 + r^2}, \tag{2}$$

где  $v_L$  – скорость потока на входе в сетной конус;  $r_L$  – радиус входного поперечного сечения;  $\varphi_{con}$  – отношение площади фильтрации к общей площади усеченного конуса при постоянном коэффициенте посадки ячей.

В качестве площади фильтрации в случае ССК – «сетной конус» принимается общая площадь ССК за вычетом площади нитей боковых сетных пластин. Скорости потока, рассчитанные по формуле (2) для продольной оси симметрии ССК ( $y' = 0,00$ ), обозначены на рис. 3 пунктирной линией. Величина погрешности находится в диапазоне 0,3–4,3 %, что говорит об адекватности данной математической модели полученным экспериментальным данным.

В некоторых поперечных сечениях, расположенных вблизи выхода  $x' = 0,0$  и  $x' = 0,14$ , наблюдалось отклонение вектора скорости потока в направлении от сетной стенки к продольной оси симметрии в диапазоне 4–12°. Интенсивность турбулентности потока внутри ССК практически везде была равна начальной интенсивности. С внешней стороны сетной стенки наблюдались резкое снижение значений скорости потока до 0,5 м/с и отклонение вектора скорости потока до 25°. Поток был сильно возмущен из-за резкого изменения направления скоростей, что выражалось в резком увеличении интенсивности турбулентности, которая, однако, быстро снижалась по мере удаления от сетной стенки.

Таким образом, показана возможность применения схематизированных сетных конструкций для исследования поля скоростей при обтекании орудий рыболовства.

