

УДК 639.2.081.1 : 001.895

Инновационные технологии лова

Юрген Паузе

Морская школа г. Куксхафена, Германия

Аннотация. Рассмотрены традиционные методы ловли и определены задачи по их совершенствованию, проанализирован вылов в зависимости от буксирной скорости, приведена математическая модель трала, определены технологические и биологические параметры, предложены инновационные решения для конструкции двигателя.

Abstract. In the paper the traditional methods of catching and their improvement have been considered. Dependence of catch on towing speed has been analyzed. A mathematical model for a trawl has been given. Technological and biological parameters have been determined. Some innovative solutions for design of an engine have been proposed.

Ключевые слова: промышленное рыболовство, методы лова, трал, траловые доски

Key words: commercial fisheries, fishing methods, trawl, trawl boards

1. Введение

Процесс рыболовства является одним из основных видов деятельности людей для обеспечения человека продуктами питания (*Gabriel et al.*, 2005). Однако этот процесс предполагает наличие достаточного количества рыбных ресурсов. Основу этих ресурсов составляют большие скопления рыбы, которые самосохраняются и самовоспроизводятся. Очень важной задачей рыболовного исследования является анализ популяции, а также исследование прироста рыбных ресурсов (*Neu*, 2002). Без основной биологической массы, без больших стай рыбы невозможно заниматься никаким морским рыболовством или вообще рыболовством. Настоящие инновации в рыболовстве в открытом море – это только такие решения, которые содержат как экономию производственных ресурсов, например, топлива, так и делают возможными охрану и заботу о существующих запасах рыбы.

Очевидно, что внедрение технологии SkySails¹ (*Skysails*, 2008) является, бесспорно, инновационной разработкой для рыболовных судов. Если рассматривать динамику цен на топливо в последние годы, то использование такой системы, безусловно, правильно. И правильно утверждать, что рыболовство полностью зависит от нефти. Однако современные инновационные технологии в морском рыболовстве учитывают не только экономию топлива, но и продолжительное и безопасное судоходство.

2. Традиционные методы лова

Ведущие экологические союзы (*Greenpeace*, 2004) с полным основанием требуют, чтобы промышленное рыболовство не разрушало морскую экосистему. Нужно находить такие технологии, которые либо исключают разрушительные методы ловли, либо экологически совершенствуют их.

По-прежнему пелагическая буксирная сеть и донный трал – это методы лова, которые имеют преимущественное применение во всем мире (*Pause*, 1991; *Förster*, 1985; *Gabriel et al.*, 2005). С помощью пелагической буксирной сети можно интенсивно вылавливать рыбу в области между землей и поверхностью (пелагиаль). При этом сеть перемещается над самым грунтом с помощью одного или двух рыболовных траулеров (рис. 1).

Местонахождение рыбы определяют с помощью соответствующей техники, например, эхолотов или гидролокации (SONAR), и отслеживают ее до попадания в сетевое раскрытие (трал).

В случае, когда стая пытается уйти из области захвата сети, при помощи транспортного средства могут проводиться соответствующие коррекции движения буксируемой сети. Преимущественные виды рыб при пелагическом буксирном рыболовстве – это скумбрия, сардины и сельдь.

¹ Beluga SkySails – первый в мире коммерческий сухогруз с летающим парусом от германской компании Beluga Group. Парус SkySails площадью 160 квадратных метров запускается в небо на длинном тросе, а управляется компьютером, который максимально полно использует ветер, в том числе далеко не попутный. Специалисты SkySails и Beluga Group подсчитали, что летающий парус сократит в среднем за год расход топлива сухогрузом примерно на 10-35 %. Причём при самых удачных условиях текущий расход горючего с поднятым парусом падает у такого судна на 50 %. (*Прим. Подобед Н.Е.*)

Рис. 1. Пелагическая буксирная сеть с косяком рыбы

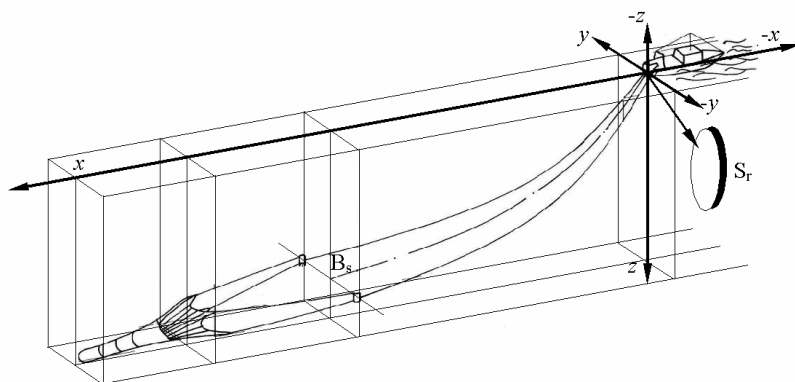
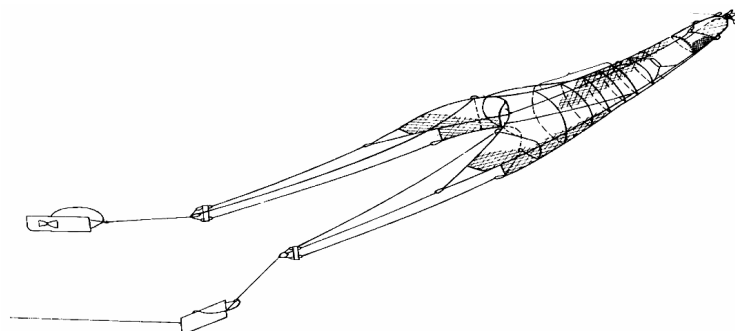


Рис. 2. Донный трал с траловыми досками



При донном тралении сеть (трал) раскрывается траловыми досками, которые изготовлены из древесины или стали, и рыболовная сеть на горизонтальном уровне, плотно прилегая к морскому дну, заводится на косяк рыб, который попадает в устье трала (рис. 2 (Bobzin, 1966)). При этом методе неизбежно разрушается морское дно. Таким образом, могут разрушаться целые экосистемы. Траловые (распорные) доски двигаются большей частью под углом к грунту и оставляют борозды, которые могут достигать глубины до 30 см в зависимости от строения почвы. Поэтому можно говорить, что при таком способе лова разрушаются морское дно и рыбные нерестилища (Greenpeace, 2004).

Список проблем, связанных с традиционными методами рыболовства, может быть продолжен и дальше. Решение с помощью инновационных методов хотя бы одной из представленных здесь проблем было бы уже очень большим шагом в направлении более устойчивого экологического рыболовства.

Как уже было сказано, представленные здесь основные методы лова на основе использования традиционных технологий рыболовства разрушают морское дно. Современные рыболовные приспособления очень тяжелы, и из этого следует очень большое буксирное сопротивление. Чтобы преодолеть это сопротивление и достичь достаточной буксирной скорости при тралении, необходима большая приводная мощность, которая, в свою очередь, требует определенного количества топлива.

Поэтому было бы разумно орудия лова, или, по крайней мере, их часть, конструировать таким образом, чтобы они имели ту же уловистость как в настоящее время, но были бы намного легче и имели бы не столь большое буксирное сопротивление.

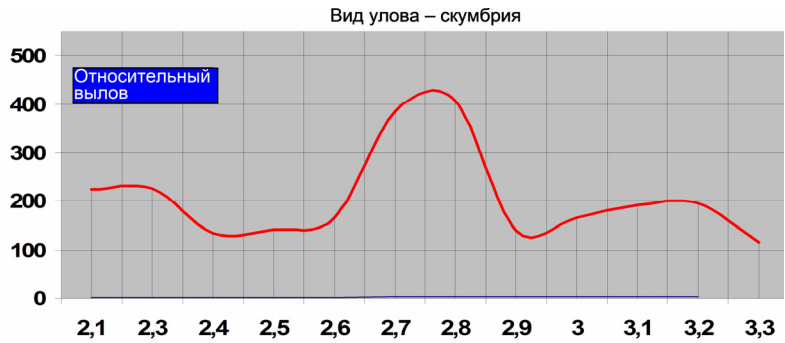
Разработка новых прочных и в то же время более легких материалов для изготовления рыболовных сетей приведет к сокращению общего сопротивления рыболовного снаряжения, и морское дно не будет так сильно разрушаться. При этом была бы получена не только выгода от экономии топлива, но и сохранялась бы экосистема морского дна. С этим связана реальная возможность выживания рыбных ресурсов. Однако нужно понимать, что буксирную скорость можно снижать только до определенной величины, иначе доход будет слишком незначителен. Для этого необходимо, чтобы транспортное средство (рыболовное судно) двигалось с адекватной скоростью.

Таким образом, встает вопрос: существует ли буксирная скорость, при которой достигается максимум массы вылова и одновременно минимум в расходе энергии (топлива)?

3. Вылов, как функция буксирной скорости

Для получения количественной и качественной информации по изложенным проблемам необходимо исследовать зависимость между буксирной скоростью и выловом. Для оценки этой зависимости были предприняты несколько рейсов. Полученные в Мавритании результаты показаны на рис. 3, основной вид улова – скумбрия (Pause, 1991).

Рис. 3. Зависимость относительного вылова от буксировочной скорости



Как можно видеть, существует целый ряд буксировочных скоростей, в результате которых улов незначителен или случаен. В следующей области уловистость возрастает до некоторого значения, а затем снова падает до определенного уровня. Эта сформированная базовая модель может быть применена для анализа других более или менее выраженных данных (Pause, 1991).

Анализ литературы показал, что для исследования этой проблемы нужно учитывать как технологические, так и биологические аспекты. С помощью испытаний в аэродинамической трубе, которые очень затратны, можно подробно изучить рыболовную сеть, но мы не в состоянии рассмотреть вопрос о поведении рыбы. В связи с этим необходимо разработать специальную модель поведения рыбы и включить ее в процесс исследования. Очевидно, что только соответствующая модель способна описать этот достаточно сложный процесс (Pause, 1991).

3.1. Математическая модель

3.1.1. Рыболовные технологические параметры

На рис. 1 представлена комплексная модель, а на рис. 4 изображена модель системы "судно-трал".

Подводные съемки показали, что особенно чувствительными являются область устья и сетевого открытия трала (Fischer, 1989). Из этих съемок может быть получено много сведений о поведенческой модели косяка перед тралом.

Для моделирования воспользуемся следующим соотношением

$$AN = f(V_s), \tag{1}$$

где AN – площадь сетевого раскрытия; V_s – буксирная скорость.

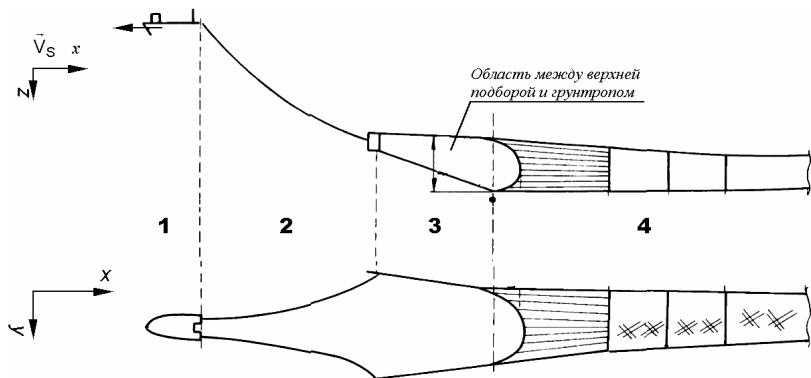
Соответствующие подходы к решению этой проблемы представлены в работе Пашена (Paschen, 1987). Исходными данными для математической модели являются форма и положение траловых канатов от кормы рыболовного судна до траловых досок. Траловые канаты смоделированы как пространственно изогнутые стержневые, нагруженные течением цепочки точек. Отдельные точки нагружаются гидродинамическими силами и силами тяжести. В своей модели Пашен исходит из сил тяги быстроходного люггера. Силы приняты на основании результатов испытаний в аэродинамической трубе. В этом случае рекомендуется следующее более простое преобразование

$$\vec{F} = \vec{F}_0 + \frac{d\vec{F}}{dV_s} \cdot \Delta V_s + \frac{d\vec{F}}{dB_s} \cdot \Delta B_s + \frac{d^2\vec{F}}{dV_s \cdot dB_s} \cdot \Delta V_s \Delta B_s, \tag{2}$$

где F – сила тяги, приложенная к стальному тросу трала, B_s – расстояние между траловыми досками (рис. 1).

Рис. 4. Модель системы "судно-трал"

- 1 – транспортное средство;
- 2 – область траловых канатов;
- 3 – область траловых (распорных) досок / устье трала;
- 4 – трал с отдельными областями.



Такой подход является более приемлемым, если V_{S0} и B_{S0} выбираются так, что изменения скорости буксировки и/или ширина сдвига остаются малыми по сравнению с их начальными значениями (Paschen, 1987).

В результате можно смоделировать позицию распорных досок, ширину и площадь сетевого раскрытия как функции буксирной скорости и длины траловых канатов. Если спроецировать теперь сетевые головки в плоскость y-z, то получим так называемое проецируемое сетевое раскрытие. На рис. 5 представлено сетевое раскрытие. Шеель (Scheel, Rehme, 1988) установил, что на поведение рыбной стаи влияет положение сетевых головок.

Для определения площади сетевого раскрытия можно записать следующее эллиптическое преобразование (Pause, 1991):

$$AN = \int_{t_1}^{t_2} \dot{x}(t) \cdot y(t) \cdot dt, \quad (3)$$

где $x(t) = a \cos(t)$; $y(t) = b \sin(t)$; t – параметр эллипса; a – большая полуось эллипса (горизонтальное сетевое открытие); b – малая полуось эллипса (вертикальное сетевое открытие); t_1, t_2 – границы интегрирования.

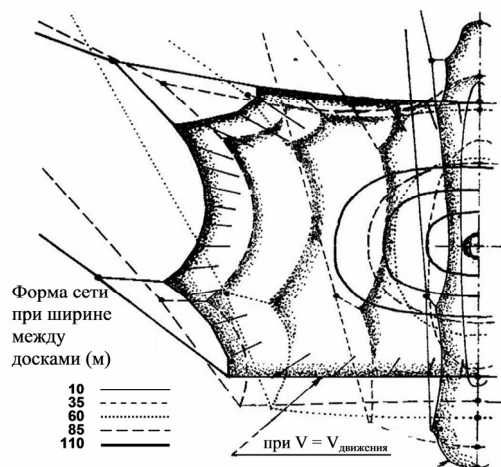


Рис. 5. Проецируемое сетевое раскрытие

3.1.2. Рыболовные биологические параметры

Как сказано выше, рыболовный процесс описывается параметрами, которые имеют в большей степени стохастическое происхождение. При этом речь идет о поведении косяка перед тралом и в сфере влияния трала. Подробная поведенческая модель рыбного косяка представлена в (Förster, 1985; Pause, 1991). Ряд сведений были получены путем подводных съемок (Fischer, 1989).

Для имитационной модели необходимо описать рыбное скопление математически. Такие величины как, например, длина скопления, ширина скопления и плотность скопления; высота скопления и форма скопления были подробно описаны Тростом (Trost, 1980). Исходя из анализов снимков, полученных при помощи эхолота и приведенных в (Pause, 1991; Förster, 1985) предположения о форме скоплений трудно подтвердить из-за качества снимков. В этих работах исходной формой скопления принимается эллиптическая форма. Можно сделать вывод, что эта форма выражена по-разному в зависимости от вида лова, времени суток и места лова. Так, например, эллиптическая форма косяка скумбрии (Мавритания) хорошо видна ночью (рис. 6). И, наоборот, у сельди она очень хорошо выражена днем (рис. 7).

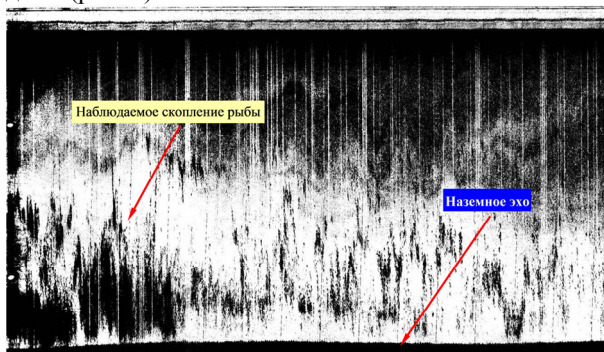


Рис. 6. Лов скумбрии, место вылова Мавритания, ночь

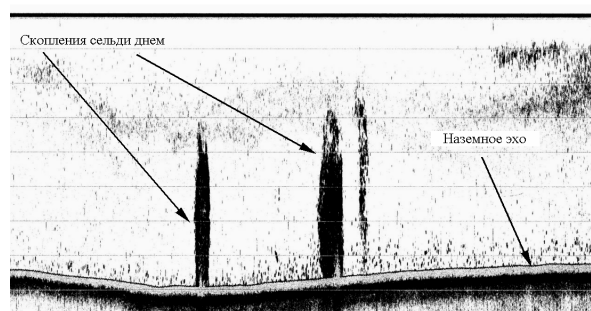


Рис. 7. Скопления сельди

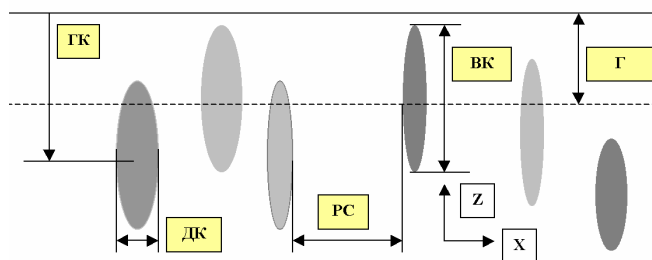


Рис. 8. Структурная модель рыбных скоплений

ГК – глубина косяка,
 ДК – длина косяка,
 ВК – высота косяка,
 РС – расстояние между косяками,
 Г – горизонт

На рис. 8 полученные сведения представлены в виде структурной модели. Теперь координаты центра i -го скопления можно получить из соотношения:

$$\vec{S}_i = (\vec{z}_i, \vec{y}_i, \vec{z}_i) = |r_i| \cdot \begin{pmatrix} \sin(\alpha_i) \cdot \cos(\varphi_i) \\ \sin(\alpha_i) \cdot \sin(\varphi_i) \\ \cos(\alpha_i) \end{pmatrix}; \quad i=1 \dots n; n \in N, \quad (4)$$

α_i, φ_i – пространственные углы (ср. с рис. 1).

В соответствии с изменением скорости судна и косяка происходит обновление их местоположения – координат точек. Расчеты можно выполнить с помощью случайного ряда (Frank, Lorenz, 1979) посредством генератора случайных чисел (метод Монте-Карло). По Тросту (Trost, 1980) для расчета параметров скопления применяется экспоненциальное распределение. Следовательно, для i -го скопления справедливо выражение:

$$z_i = F(x_i) = 1 - e^{-\lambda x_i}. \quad (5)$$

Из этого следует функция, обратная функции (5):

$$z_i = F^{-1}(x_i) = -\left(\frac{1}{\lambda}\right) \ln(1 - x_i); \quad x \in (0, 1), \quad (6)$$

λ – параметр экспоненциального распределения.

В качестве формы рыбного скопления может быть принят эллипсоид вращения (Pause, 1991). Следовательно, теоретически возможная масса вылова может быть рассчитана по формуле:

$$F_i = \rho_i \iiint_A da, \quad (7)$$

где A – область, ограничивающая эллипсоид вращения; F_i – теоретически возможный вылов i -го скопления; ρ_i – плотность i -го скопления, const.

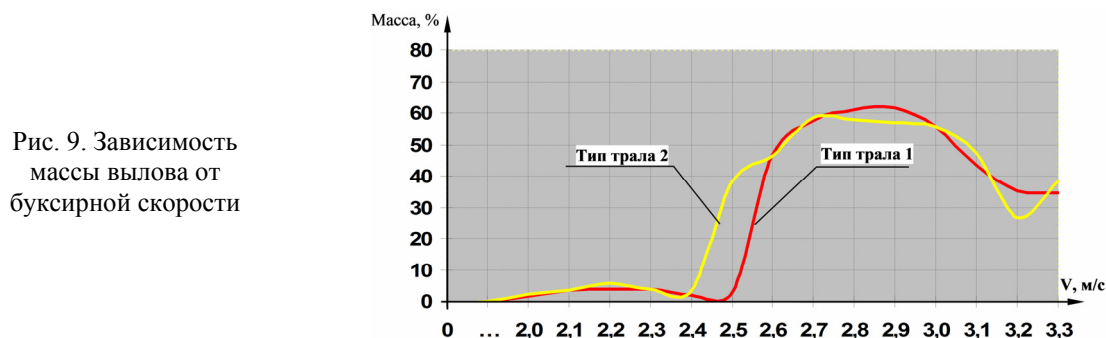


Рис. 9. Зависимость массы вылова от буксирной скорости

3.2. Выводы

В качестве основы моделирования выбирались 2 пелагических буксирных трала, которые подробно описаны в (Pause, 1991). У трала типа I площадь сетевого раскрытия меньше, чем у трала типа II. Соответствующий банк данных представлен в имитационной модели. На рис. 9 изображены результаты моделирования относительной массы вылова как функции буксирной скорости.

Из сказанного можно сделать вывод:

- имеются скорости, когда происходит лишь случайный и соответственно в высшей степени незначительный вылов;
- этот стохастический вылов встречается, когда буксирная скорость меньше, чем скорость ускользания косяка;
- при увеличении буксирной скорости повышается относительная масса вылова;
- буксирная скорость должна превышать скорость ускользания косяка;
- относительный максимум вылова достигается только когда буксирная скорость значительно выше, чем скорость ускользания косяка;
- область относительных максимумов вылова наблюдается только в незначительных пределах изменения буксирной скорости.

Для сравнения представленной имитационной модели с другой моделью (Förster, 1985), выбраны те же начальные условия, что и в (Förster, 1985). На рис. 10 представлены полученные результаты. Первой кривой представлены результаты из (Förster, 1985). Сетевые параметры раскрытия трала в (Förster, 1985) при увеличении буксировочной скорости не изменяются. Вторая кривая показывает результаты, полученные в представленной здесь модели. При повышении буксировочной

скорости сетевые параметры раскрытия считаются постоянными. Третья кривая показывает результаты представленной здесь модели, однако, на этот раз сетевые параметры раскрытия не постоянны. Можно видеть очень хорошее соответствие первой и второй кривых. Напротив, третья кривая показывает сильный отброс относительной массы вылова при дальнейшем повышении буксирной скорости. Таким образом, представленная в (Förster, 1985) модель может интерпретироваться как особый случай представленной и существенно расширенной здесь имитационной модели.

На рис. 11 обзорно представлены параметры сетевого раскрытия и относительная масса вылова как функции скорости буксировки. Здесь хорошо видно влияние параметров сетевого раскрытия на результат вылова скоплений рыбы. Это предполагалось уже Стенгелем (Stengel, Fridman, 1977) и теперь может быть подтверждено.

Представленные здесь результаты показывают, что с помощью экспериментальной модели вполне возможно исследовать детерминированные параметры захвата и случайные параметры поведенческой модели при их взаимодействии друг с другом. В этом случае представленную в (Pause, 1991) поведенческую модель необходимо непрерывно актуализировать. Технологические параметры орудий рыболовства можно просто заменять путем выбора из банка данных и таким образом исследовать различные типы тралов на их уловистость в рамках эксперимента для известной в настоящее время поведенческой модели. Подробное обсуждение результатов можно найти в (Pause, 1991).

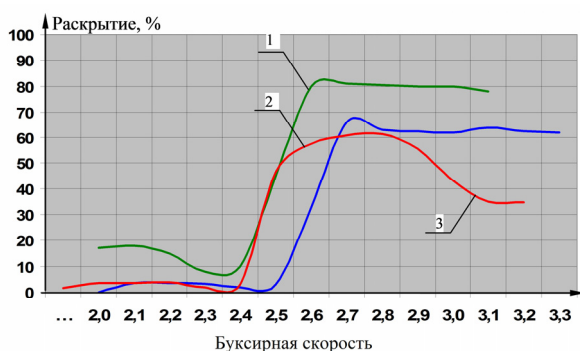


Рис. 10. Сравнительный анализ с моделью (Förster, 1985)
 1 – $V_s = \text{const}$ по (Förster, 1985);
 2 – $V_s = \text{const}$ по (Pause, 1991);
 3 – $V_s \neq \text{const}$ по (Pause, 1991)

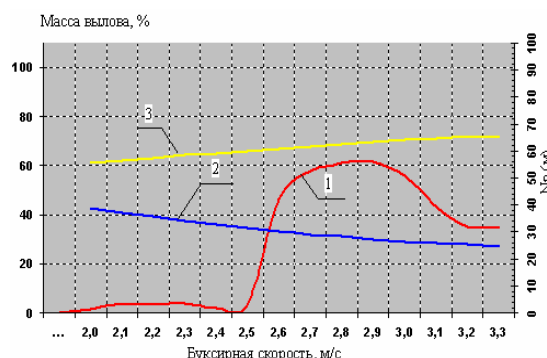


Рис. 11. Вылов и параметры раскрытия, N_p
 1 – относительный вылов, %
 2 – высота раскрытия, м,
 3 – ширина раскрытия, м

4. Инновационное решение для пелагических распорных досок

В предыдущем разделе было показано, что сетевое раскрытие является весьма существенным технологическим параметром в процессе рыболовства. Тем не менее, наряду с соответствующей сетевой конструкцией, распорные доски также необходимы для горизонтального раскрытия сети (ср. рис. 1).

4.1. Образование подъемной силы

Распорные доски – это профили несущих поверхностей, которые используют подъемную силу для открытия буксирной сети. В отличие от крыла самолета, распорные доски буксируются перпендикулярно к направлению движения/буксировки (буксирное направление и подъемная сила действует под углом) – сеть начинает открываться. Дальнейшее различие с крылом самолета – это конструкция. Распорные доски должны строиться очень надежно и устойчиво, так как должны выдерживать большие нагрузки. На рис. 12 представлены основные силы, которые действуют на распорные (траловые) доски: F_k – сила, действующая на сеть при движении; F_n – сила тяги, приложенная к сети; F_r – гидродинамическая сила; X_d – точка приложения гидродинамической общей силы.

$$F_a = c_a(\rho/2)V^2A - \text{подъемная сила}; \quad (8)$$

$$F_w = c_w(\rho/2)V^2A - \text{устойчивость}; \quad (9)$$

$$|F_r| = [(F_a)^2 + (F_w)^2]^{0.5}, \quad (10)$$

c_a , c_w – коэффициенты сопротивления траловой доски по соответствующим координатам; ρ – плотность морской воды; V – скорость набегания; A – площадь распорной доски.

При нормальном угле установки, составляющем примерно 10° , распорная доска имеет коэффициент подъемной силы равный примерно 1,2 (ср. для этого также (Eck, 1988)). Однако существует еще один способ определить эту подъемную силу. Это возможно с

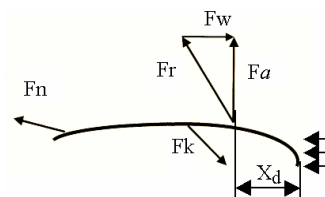


Рис. 12. Распорная доска с действующими на нее силами

помощью вращающегося цилиндра. Цилиндр, который вращается с линейной скоростью поверхности C_1 , находится в параллельном течении, имеющем скорость C_2 . При этом получается рисунок течения – известное изображение эффекта Магнуса. Поверх цилиндра направление вихря совпадает с направлением обтекающего потока, и скорость движения среды с этой стороны увеличивается, что означает маленькое давление по закону Бернулли; ниже цилиндра получаем противоположный эффект. Таким образом, подъемная сила очевидна (Eck, 1988).

В аэродинамической трубе были исследованы вращающиеся цилиндры с днищем и без днища, в результате чего получены коэффициенты подъема, равные 9, то есть гораздо выше, чем у лучших крыльев. Это очень интересное аэродинамическое свойство заслуживает особого внимания, поскольку достигаются настолько большие силы, какие вообще аэродинамически возможны (Eck, 1988).

Применение такой распорной доски в буксирном рыболовстве имело бы множество преимуществ. Использование таких досок было бы возможно и имело бы эффект также и в других областях, например, в военно-морском флоте (снасти для поиска мин). Однако их техническая реализация до сих пор терпела неудачу, так как двигатель нуждался в посторонней энергии (электрической) для собственного вращения. В следующем разделе представляется техническое решение, при котором больше нет необходимости приводить во вращение двигатель с помощью электрической энергии.



Рис. 13. Изображение эффекта Магнуса

4.2. Распорная доска, как объект для образования больших гидродинамических сил

Собственное вращение – это основная предпосылка, чтобы проявился известный эффект Магнуса. Единственное средство, которое находится в нашем распоряжении, – это вода. Если ускорить слой воды, то это можно было бы использовать для приведения в действие двигателя. В этом и заключается решение. В гидроаэромеханике известен *закон непрерывности*. При изменении поперечного сечения трубки тока жидкости и постоянном объеме скорости текущей среды v_1 и v_2 обратно пропорциональны площадям сечения A_1 и A_2 . Имеется основное уравнение:

$$\dot{V} = v \cdot A, \quad (11)$$

где \dot{V} – ток объема жидкости; v – скорость течения; A – площадь поперечного сечения.

Согласно закону непрерывности, можно получить следующее соотношение:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2; \quad (12)$$

$$v_1 A_1 = v_2 A_2. \quad (13)$$

Если теперь выразить v_2 из уравнения (13) и взять в качестве поперечного сечения круг, то получим следующее соотношение:

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \text{ и таким образом: } v_2 \gg v_1. \quad (14)$$

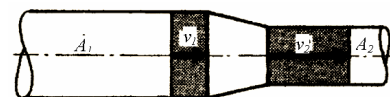


Рис. 14. К закону непрерывности

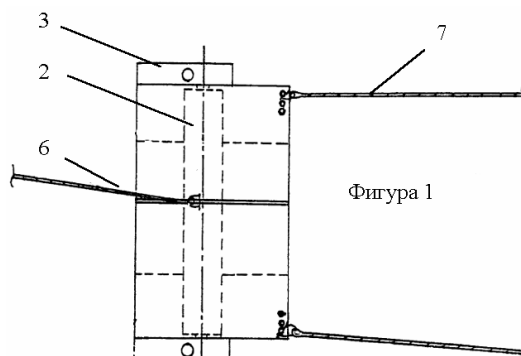


Рис. 15. Распорная доска с вертикально установленным ротором

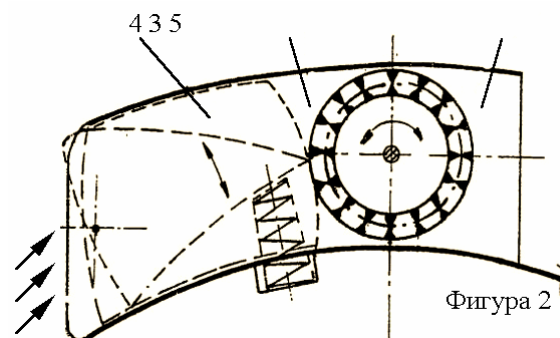


Рис. 16. Сопловая коробка для привода ротора

Из этого следует, что скорость истечения v_2 многократно превышает скорость на входе v_1 . Если изменять, например, диаметры d_1 и d_2 таким образом, чтобы в итоге получить соотношение 4, то скорость входа фактически изменится в 16 раз. Вместе с тем двигатель, соединенный с крыльчаткой, теперь ускорится и будет вращаться существенно быстрее, чем окружающее его течение. На рис. 15 и 16 показано конструктивное решение (Pause et al., 1990). Совместно с институтом Бремерхафена запланировано исследование изобретения на его дееспособность.

Литература

- Bobzin W.** Fischfangtechnik. Berlin, Fangtechnologie Autorenkollektiv VEB Verlag für Verkehrswesen, 1966.
- Eck B.** Technische Strömungslehre. Berlin, Springer-Verlag, Bd. 1, 1988.
- Fischer H.J.** Beobachtungen zum Fischverhalten mit UAW. Technik Vortrag auf dem 7. Rostocker Schiffstechnischen Symposium, Universität Rostock, Rostock, 1989.
- Förster J.** Beitrag zur Modellbildung des Schleppprozesses in der pelagischen Schleppnetzfisherei mit Hilfe eines Simulationsexperimentes. Dissertation A, IHS Warnemünde, Wustrow, 1985.
- Frank M., Lorenz P.** Simulation diskreter Prozesse. Leipzig, Fachbuchverlag, 1979.
- Gabriel O., Lange K., Dahm E., Wendt T.** Fish catching methods of the world. Blackwell Publishing Ltd., 2005.
- Greenpeace. Umgepflügte Meeresböden. November, 2004. URL: www.greenpeace.at.
- Neu R.** Im Dienste der Großen Hochseefischerei. Bremen, Verlag H.M. Hauschild GmbH, 2002.
- Paschen M.** Rechnergestützter Entwurf pelagischer Schleppnetze nach Windkanalversuchen. Fischereiforschung, N 3/87, 1987.
- Pause J.** Untersuchung zur Wechselwirkung zwischen der Schleppgeschwindigkeit, den Netzöffnungsparametern und dem Fangergebnis in der pelagischen Schleppnetzfisherei auf der Grundlage eines Simulationsexperimentes. Dissertation A, Hochschule für Seefahrt Warnemünde, 1991.
- Pause J., Paschen M., Fischer A.** Patentanmeldung: DD 279 599 A1 Scherkörper zur Erzeugung hydrodynamischer Kräfte, 13.06.1990.
- Scheel D., Rehme W.** Experimentelle Untersuchung zur Durchströmung von Schleppnetzkegeln. Seewirtschaft, N 1, 1988.
- Skysails. 2008. URL: www.skysails.info.
- Stengel H., Fridman A.L.** Fischfanggeräte. Theorie und Entwerfen von Fanggeräten der Hochseefischerei. Berlin, VEB Verlag Technik Berlin, 1977.
- Trost G.** Beitrag zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen der Schleppzeit und Fangertrag in der pelagischen. Fischerei Dissertation A, IHS Warnemünde/Wustrow, 1980.