



Моделирование основных этапов работы на промысле в механике кошелькового невода

Д-р техн. наук Н.Л. Великанов – Калининградский государственный технический университет

Работы с кошельковым неводом на промысле делятся на следующие этапы: замет; погружение нижней подборы на глубину, определяемую высотой сетной стенки невода; кошелькование; подъем колец на борт судна; выборка сетной стенки и ее укладка на промысловую палубу (неводовыборочную площадку); подсушка сливной части и выливка улова.

Задачей первого этапа является своевременное окружение косяка. Косяк при замете может оставаться на месте, уходить от судна, погружаться на глубину или разрушаться. Весьма большие нагрузки верхняя подбора испытывает, если при замете клячи не сведены вместе и сейнер буксирует лятной кляч невода к бежному.

На втором этапе необходимо предотвратить уход рыбы под нижнюю подбору из обметанного неводом пространства. Нижняя подбора невода должна погрузиться на глубину, соответствующую полной высоте стенки невода. Успех захвата косяка определяется тем, насколько время погружения стенки соответствует особенностям поведения объекта лова.

В значительной степени результативность лова кошельковым неводом и трудоемкость работы с ним зависят от верно выбранного режима кошелькования. В процессе стягивания колец нижней подборы невода значительные силы гидродинамического сопротивления сетного полотна могут опрокинуть судно или втянуть его внутрь пространства, обметанного неводом.

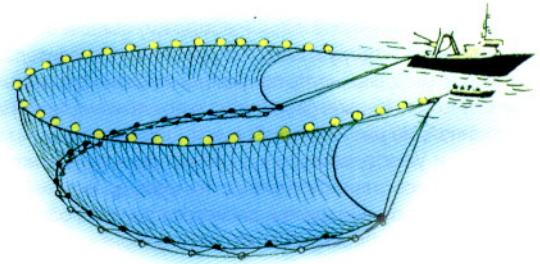
Операции по выемке стяжного троса из стяжных колец, выборке сетной стенки и ее укладке, подсушке сливной части и выливке улова связаны с большим применением ручного труда. Их успешное выполнение в значительной мере зависит от слаженности и обученности экипажа. По мере механизации и автоматизации этих работ возрастает потребность в их аналитическом описании и проведении соответствующих расчетов. Моделирование и аналитическое описание всех этапов работы кошелькового невода является важнейшей частью теории кошелькового лова рыбы.

Физические и соответствующие им математические модели замета кошелькового невода делятся на два вида. Первые предполагают заранее определенную математическую кривую: окружность, эллипс, лемнискату Бернулли, по которым происходит замет. Модели второго вида предполагают корректировку курса судна. Большинство решений получают численными методами. Основой практически всех моделей является решение Н.Н. Андреева, согласно которому схема замета определяется поведением рыбы.

Для поимки рыбы кошельковым неводом необходимо выполнить два условия: окружить косяк неводом так, чтобы концы сетной стенки (клячи невода) были сомкнуты до того момента, когда к ним подойдет рыба, и своевременно преградить рыбе выход вниз, чтобы она не ушла под нижнюю подбору невода. Параметры траектории судна при замете определяются как видом облавливаемой рыбы, размерами косяка, его поведением, так и отношением скорости движения рыбы к скорости судна, наличием течений, направлением и силой ветра, волнением моря.

Многообразие факторов, влияющих на замет, и отсутствие достаточного количества экспериментальных и опытных данных не позволяют в настоящее время создать универсальную математическую модель для прогнозирования траектории и скорости судна при замете. Дальнейшее увеличение точности этих расчетов связано с накоплением и обобщением статистических данных об объекте лова. Перспективной также является разработка диалоговых компьютерных систем, работающих в режиме реального времени и позволяющих корректировать параметры замета в процессе его проведения.

Разработка траекторий и алгоритмов замета тесно связана со знанием скорости и времени погружения нижней подборы. Необходимые глубина и скорость погружения точек нижней подборы определяются объектом лова.



При выметывании полоса расплавленного жгута падает на поверхность воды и начинает постепенно тонуть. Верхняя подбора удерживается на поверхности воды с помощью поплавков, поэтому сетное полотно расплаывается от верхней подборы к жгуту. Кроме того, нижняя подбора под действием общей загрузки, включающей силы тяжести подбор, грузил, колец и имеющей меньший, чем жгут, диаметр, погружается быстрее жгута, расплаывая сетное полотно от жгута к нижней подборе. На полосу сети действуют ее сила тяжести, силы сопротивления нижней подборы с оснасткой, жгута, силы тяжести жгута, силы инерции всей системы и присоединенных масс воды.

Система «нижняя подбора – сетное полотно – жгут» имеет две степени свободы, описывается двумя нелинейными дифференциальными уравнениями второго порядка, которые в общем случае не имеют аналитического решения. Решить их можно либо численными методами, либо используя упрощения, связанные со схематизацией процесса лова.

Исследование поверхности, образуемой сетным полотном невода в различные моменты кошелькования, необходимо для оценки величины и направления сил, действующих в различных частях невода во время стягивания колец нижней подборы; позволяет правильно выбрать длину некоторых деталей кошелькового невода (например, вертикальных пожил); имеет большое значение для изучения процессов, происходящих во время лова орудиями конусообразной формы; для механизации и автоматизации операций при кошельковом лове, его интенсификации и увеличения уловов.

На всех стадиях работы невода основой практически всех моделей является сетная оболочка. Принята следующая физическая модель для сетного полотна. Сетная оболочка – это двумерный объект, образованный двумя семействами пересекающихся упругих нитей. Предполагается, что изгибная жесткость нитей настолько мала, что она не оказывает заметного влияния на принимаемую под нагрузкой форму оболочки и усилия в ее нитях. В таких сетных оболочках внешние силы уравниваются только возникающими в нитях растягивающими усилиями. Узлы сетной оболочки – точки, в которых пересекаются нити, – считаются фиксированными, т.е. нити сетной оболочки не проскальзывают в узлах одна относительно другой.

Формой сетного полотна является конусообразная оболочка с криволинейной образующей, основания которой – верхняя и нижняя подборы (рис. 1). Сетная полоса, расположенная вдоль образующей: длина полосы равна длине образующей, ширина – 1 м (см. рис. 1), – в состоянии равновесия находится под действием силы тяжести в воде 1 м нижней подборы с оснасткой; силы тяжести в воде 1 м² сетного полотна; гидростатической подъемной силы 1 м верхней подборы с оснасткой; горизонтальных составляющих реакций верхней и нижней подбор.

На рис. 1 P_0 – постоянная сила (сила тяжести нижней подборы с оснасткой в воде); p_n, p_t – нормальная и тангенциальная составляющие давления от внешних сил, действующих на часть сетной оболочки, ограниченной нижним радиусом $R_{нr}$, радиусом r_x и имеющей высоту y . Нормальная и тангенциальная составляющие давления возникают от действия силы тяжести сетного полотна в воде; силы лобового сопротивления $R_{ок}$; заглубляющей силы $R_{гг}$.

Для определения геометрических и силовых характеристик используется модель однородной сетной оболочки с упругими нитями, подчиняющимися закону Гука. Большая часть конечных решений представлена численными методами. Для сетной оболочки напряжениями изгиба можно пренебречь и для описания ее напряженно-деформированного состояния воспользоваться мембранной теорией.

Сетное полотно кошельковых неводов в настоящее время изготавливается в основном из синтетических материалов, обладающих свойствами упругости. Упругие свойства нитей хорошо описываются классическим законом Гука. Растяжимость нитей может влиять на геометрические параметры сети, от которых, в свою очередь, зависят силы, действующие на сеть. Кроме того, существует опасность разрыва нитей.

Расчетная схема элемента сетной оболочки, имеющей форму поверхности вращения и нагруженной симметрично относительно оси, приведена на рис. 2. Поверхность получается вращением плоской кривой относительно оси. Кривая (меридиан) и ось лежат в одной плоскости – меридианной. На рис. 3 показаны угол θ , определяющий положение меридиана, и угол φ , определяющий положение параллельного круга (угол между нормалью к поверхности и осью вращения). Обозначения соответствуют принятым при расчете сплошных оболочек. Меридианная плоскость и плоскость, перпендикулярная меридиану, являются плоскостями главных кривизн в точке поверхности вращения, а соответствующие радиусы кривизны обозначаются r_1 и r_2 .

На рис. 2 и 3 приняты следующие обозначения: Y, Z – интенсивность действующей в меридианной плоскости внешней нагрузки, разложенной на две составляющие, параллельные координатным осям; R – результирующая полной нагрузки, приходящейся на часть оболочки, расположенной под параллельным кругом, определяемым углом φ ; N_φ, N_θ – нормальные силы, приходящиеся на единицу длины.

Теоретическое определение параметров сетных орудий лова невозможно без знания их гидродинамического сопротивления. Для кошелькового лова основными расчетными элементами при гидродинамических расчетах являются круглый цилиндр и сетное полотно.

На сегодняшний день все попытки создать аналитические расчетные формулы для определения коэффициента сопротивления сетного полотна не привели к успеху. В их основу положено представление силы сопротивления сетного полотна как суммы сопротивлений отдельных нитей, моделируемых круглыми цилиндрами. Но сложность структуры сетей, многообразие их типов и зависимость их формы и структуры от действующих сил не позволяют создать даже адекватные физические модели. Поэтому наиболее реальны в настоящее время накопление экспериментальных данных по сетеснастным материалам и разработка на их базе уточненных эмпирических формул.

Сила сопротивления сетного полотна зависит от коэффициентов посадки, которые при кошельковании значительно изменяются по высоте и являются сложной нелинейной функцией от глубины погружения и времени кошелькования. В значительной мере характеристики кошельковых неводов и их отдельных частей (сетное полотно, подборы, стяжной трос) зависят от их формы, которая изменяется в процессе работы невода. Поэтому особенно важное значение для принятия адекватной физической модели имеют экспериментальные исследования.

Стяжной трос моделируется абсолютно гибкой, нерастяжимой нитью. Физическая модель: стяжной трос (рис. 4) в каждый момент времени находится в равновесии под действием силы тяжести стяжного троса в воде G ; силы сопротивления R_r ; горизонтальной силы X_0 и вертикальной Y_0 , действующих со стороны нижней подборы; вертикальной Y_A и горизонтальной X_A сил, действующих в точке пересечения свободной поверхности воды и стяжного троса.

Актуальным является исследование влияния изгибной жесткости и упругости стяжного троса на его форму и положение в пространстве. Выбор размера троса (диаметра) обуславливается следующими основными требованиями, включающими обеспечение:

прочности троса при кошельковании и выборке невода;

достаточной гибкости троса для беспрепятственного прохождения через кольца нижней подборы при кошельковании и наматывания на барабан лебедки промыслового судна;

достаточной массы троса для достижения необходимой скорости погружения нижней подборы после замета.

При выборе стяжных тросов основным критерием при их прочностных расчетах считается выдерживание разрывных усилий. Для более детальной оценки прочности и гибкости необходимо знание напряжений и деформаций стяжного троса, возникающих в процессе его работы. Стяжной трос можно представить как стержень, не имеющий начальной погиби и находящийся под действием поперечной нагрузки постоянной интенсивности и постоянной по длине продоль-

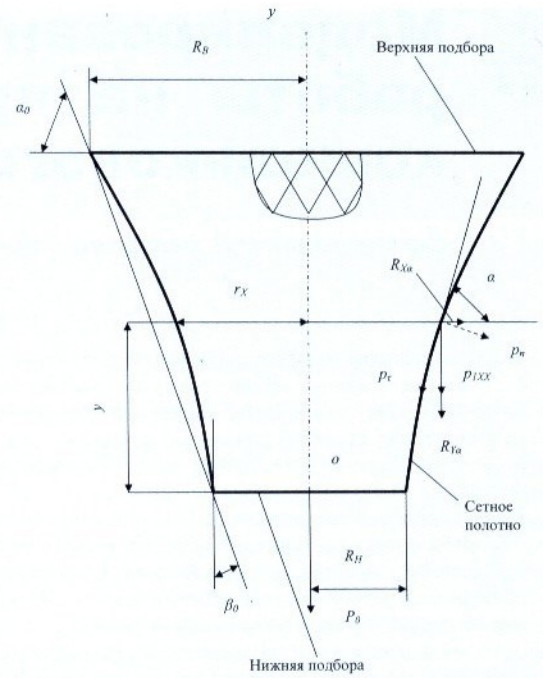


Рис. 1. Расчетная схема сетной оболочки при кошельковании невода

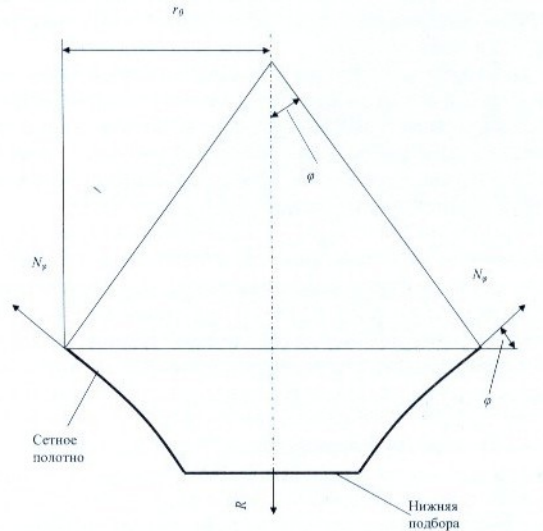


Рис. 2. Элемент сетной оболочки вращения, вырезанный из нее двумя параллельными кругами и нагруженный симметрично относительно оси

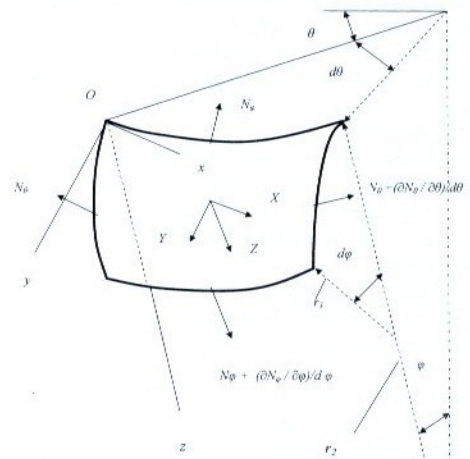


Рис. 3. Элемент сетной оболочки, вырезанный из нее двумя смежными меридианами и двумя параллельными кругами

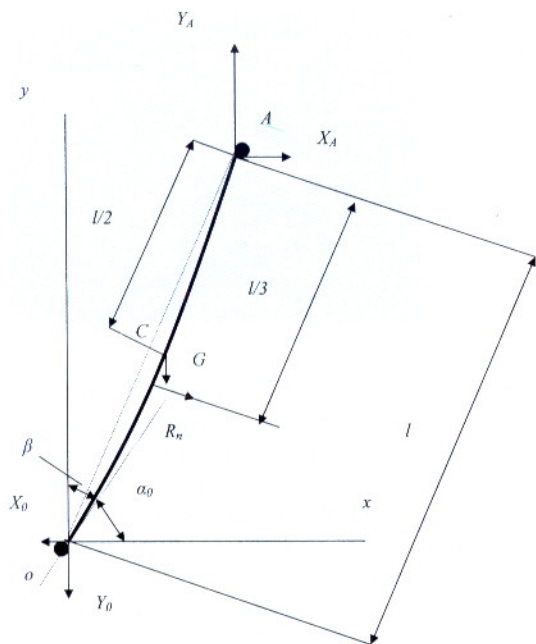


Рис. 4. Расчетная схема для стяжного троса

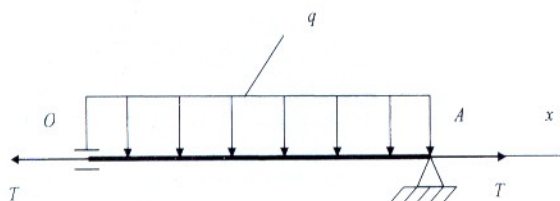


Рис. 5. Расчетная схема для стяжного троса при выборке

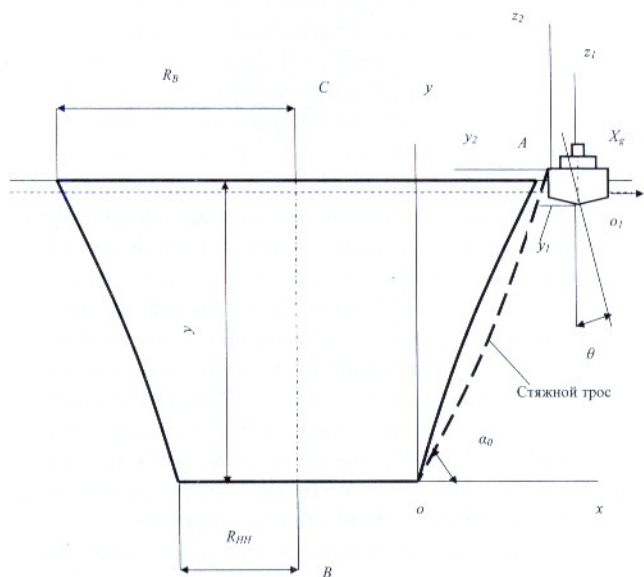


Рис. 6. Схема для расчета остойчивости судна при кошельковании

ной силы. При стягивании колец нижней подборы стяжной трос (рис. 5) находится под действием поперечной нагрузки интенсивностью q и продольной силы T .

Опора O , не препятствующая горизонтальному перемещению балки, моделирует место прохода троса через кольца нижней подборы кошелькового невода. Опора A – шарнирно-неподвижная – место схода троса с барабана лебедки сейнера. Для стяжного троса q – проекция силы в воде 1 м стяжного троса на нормаль к линии, вдоль которой расположена ось троса. Продольная сила T – среднее значение суммы проекций на касательную к линии, вдоль которой расположена ось троса гидродинамической силы сопротивления сетного полотна кошелькового невода и силы тяжести в воде стяжного троса.

Процесс кошелькования невода и его выборки связан с проблемой потери остойчивости промыслового судна. Кроме того, корпус судна может втягиваться внутрь пространства, обметанного неводом. Это неблагоприятно отражается на безопасности и комфортности экипажа, приводит к сбоям в работе промыслового оборудования и механизмов, может послужить причиной аварий.

На практике применяют ряд мер для улучшения остойчивости. Например, на ряде норвежских тунцеловых сейнеров силовой блок заменен неводовыборочным комплексом «Триплекс». Используется скиф – мощный промысловый бот. При выборке невода бот отталкивает судно, чтобы его не затянуло в невод. Расчет характеристик неводовыборочного оборудования и промысловых ботов требует знания сил, действующих со стороны невода на судно. В основе всех расчетных схем лежат решения об остойчивости промыслового судна, базирующейся на основных зависимостях теории корабля при малых углах крена и дифферента.

Выберем за начала подвижных систем координат, жестко связанных с судном, точку (O_1) пересечения мидель-шпангоута с основной линией судна и точку (A) схода стяжного троса с канифас-блока (рис. 6). Ось Ox_1 совпадает с основной линией судна и направлена в нос; Oy_1 – на правый борт; ось Oz_1 – вертикально вверх. Оси Ax_2, Ay_2, Az_2 параллельны осям Ox_1, Oy_1, Oz_1 . Горизонтальная (Ox) и вертикальная (Oy) оси координат жестко связаны с нижней подборкой невода и движутся вместе с ней. Ветвь OA стяжного троса и ось BC невода лежат в плоскости XOY .

Со стороны стяжного троса на судно действует сила натяжения стяжного троса. Точка A приложения этой силы в общем случае не совпадает с мгновенным центром вращения судна. При выборке стяжного троса за два конца одновременно они могут проводиться через канифас-блоки, подвешенные на разных выстрелах, расстояние между которыми вдоль борта может достигать 10 м. Судно под действием силы натяжения получает крен, дифферент, начинает разворачиваться и дрейфовать. Разворот и дрейф на современных сейнерах могут преодолеваются с помощью сдвоенных рулей, носовых и кормовых подруливающих устройств или мощного промыслового бота. Крен и дифферент всегда присутствуют.

Важнейшей характеристикой при расчетах остойчивости является сила натяжения стяжного троса, непосредственно зависящая от силы сопротивления сетного полотна, скорости выборки стяжного троса. Выборка невода связана с его ручной укладкой, и средние значения скоростей выборки отличаются незначительно.

При выборке кошелькового невода усилие, действующее на неводовыборочную машину, складывается из двух величин – сопротивления невода и силы тяжести участка невода (часть – в воде, часть – в воздухе).

Значительные трудности при теоретическом определении сил сопротивления канатно-сетной части кошельковых неводов вносит их зависимость от формы сетного полотна и канатов, которая, в свою очередь, определяется действующими на кошельковый невод силами. В число этих сил входят и силы сопротивления. В этом случае широко используются экспериментальные данные, производственный опыт. Если имеется достаточно большой банк экспериментальных данных по определенному типу неводов, то можно по известным силам определить форму их канатно-сетной части или решить обратную задачу: при известной форме их канатно-сетной части определить действующие силы. Однако существенные математические трудности и отсутствие достаточного количества экспериментальных данных ограничивают продвижение по этому пути.

В настоящее время широко используется классический метод техники – расчеты по прототипу. Наиболее перспективным и продуктивным видится применение в расчетных схемах упрощенных форм элементов канатно-сетной части невода при сохранении параметров, существенно влияющих на характеристики невода.