

На правах рукописи

ВЕЛИКАНОВ Николай Леонидович

МЕХАНИКА КОШЕЛЬКОВОГО НЕВОДА

Специальность: 05.18.17 – Промышленное рыболовство

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Калининград 2002



Работа выполнена в Калининградском государственном техническом университете (КГТУ).

Научный консультант:

Доктор технических наук, профессор М.М. Розенштейн

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор

Б.А. Альптуль

Доктор технических наук, профессор

В.П. Карпенко

Доктор технических наук, профессор,

заслуженный работник высшей школы РФ

С.И. Корягин

Ведущая организация: ОАО "Мари НПО", г. Калининград.

Защита состоится 10 апреля 2003 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д. 307. 007. 04 при Калининградском государственном техническом университете по адресу: 236000, г. Калининград, ул. проф. Ф.И. Баранова, 43, КГТУ, диссертационный совет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Калининградского государственного технического университета.

Автореферат разослан « 21 » апреля 2003 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

кандидат технических наук, доцент



Н.А. Евдокимова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

№ ВНИРО ВР-2Р.

Актуальность работ по совершенствованию методов расчета кошельковых неводов связана с их широким применением. В некоторых странах и районах Мирового океана они составляют серьезную конкуренцию траалам.

Лов рыбы кошельковыми неводами в океане по распространённости занимает второе место в мире после тралового. Объем добываемой рыбы кошельковыми неводами составляет 10 - 15 %. В отдельных странах этот процент значительно выше. Например, в Японском промысле кошельковый лов обеспечивает около 1/3 общей добычи рыболовства. На его долю ежегодно приходится более 3 млн. т массовых видов рыб - сардины, иваси, ставриды, скумбрии. В этой стране создана Всеяпонская ассоциация кошелькового промысла.

Распространен прибрежный лов и лов в большом удалении от берега. Длина кошельковых неводов может достигать нескольких километров, высота - нескольких сот метров, они изготавливаются в основном из синтетических материалов. Очевидно, что стоимость таких больших орудий рыболовства очень велика.

В России кошельковые невода используются во всех бассейнах. Российские суда для лова кошельковыми неводами относятся в основном к малотоннажному флоту. Они эксплуатируются во всех бассейнах. Общая численность малотоннажных добывающих судов более 1000. Почти все они устарели морально и свыше 60 % физически.

Работы с кошельковыми 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 (неводвыборочную площадку); подсушка сливной части и выливка улова.

Промысловые операции одного этапа плавно переходят в другой, иногда выполняться одновременно. Моделирование и аналитическое описание всех эта-

пов работ кошелькового невода актуальны и являются важнейшей частью теории кошелькового лова рыбы.

В разработке теории кошелькового лова ведущую роль играют отечественные ученые, что отмечается в крупнейших обзорах литературы иностранных исследователей.

Ф. И. Баранов впервые разработал методы расчета погружения нижней подборы на заданную глубину, силы натяжения стержня троса.

Н. Н. Андреев написал фундаментальную монографию, в которой впервые рассматриваются как единое целое основные этапы работы кошелькового невода, их математические модели и алгоритмы расчета некоторых характеристик. Рассмотрены, в частности, движение промыслового судна и косяка рыбы, погружение нижней подборы, форма сетного полотна после замета и при кошельковании, натяжение стержня троса, силы натяжения, прочность, износоустойчивость и долговечность нитей сетного полотна и канатной части.

С. С. Торбаном комплексно рассмотрены машины и механизмы кошелькового лова. Решались задачи о тяговом усилии проводниковой лебедки, скорости травления проводника, о внешних нагрузках на неводвыборочную машину, о расчете тягового комплекса.

А. И. Раковым собрано и систематизировано значительное количество материала о судах для кошелькового лова, об особенностях этого лова, об обеспечении остойчивости сейнеров. Промысловые опыты Н. Н. Виноградова, В. Н. Гиренко, В. В. Умарова, Ю. Т. Губенко стали классическими в теории кошелькового лова рыбы.

А. Л. Фридманом разработаны методы проектирования кошельковых неводов, основанные на использовании теории подобия, собрано и систематизировано большое количество литературы и решений по теории кошелькового лова.

Большая работа по систематизации и методологии изложения вопросов промышленного рыболовства проведена В. П. Карпенко, В. Н. Лукашовым,

В. Н. Мельниковым, В. Н. Войникасом-Мирским.

Результаты и достижения в области промышленного рыболовства кафедры "Промышленное рыболовство" и других кафедр технического университета, ученых Калининградского региона за последние годы отражены в ряде публикаций. Это работы М. М. Розентштейна, В. Д. Кулагина, В. Г. Печерского, Ю. А. Изнанкина, В. А. Шутова, Г. М. Долгина, А. П. Лисового, В. А. Белова, В. М. Люторевича, А. Л. Фонарева.

Вместе с тем, как показано в главе I, многие задачи механики кошелькового невода требуют совершенствования применяемых для их решения физических и математических моделей, часть задач еще не нашла своего решения.

Цель работы. Создание единого математического комплекса, описывающего механику основных этапов работы кошелькового невода на промысле.

Основные задачи исследования состоят в:

- анализе существующих расчетных схем отдельных этапов работы кошелькового невода и их совершенствовании;
 - совершенствовании метода расчета внешних сил, действующих на сетное полотно в процессе погружения и кошелькования невода;
 - совершенствовании физических и математических моделей механики кошелькового невода на этапах погружения сетной стенки, кошелькования, выборки стержня троса;
 - разработке алгоритма решения задач механики комплекса "кошельковый невод - промысловое судно".
- Научная новизна диссертации** - заключается в комплексном аналитическом описании механики кошелькового невода, включающем в себя совершенствование решения задач по определению:
- скорости и времени погружения нижней подборы на заданную глубину;
 - внешних сил, действующих на сетное полотно;
 - формы сетного полотна, принимаемой после погружения невода.

- усилий в нитях сетного полотна;
- формы и сил натяжения стяжного троса;
- напряженно-деформированного состояния стяжного троса и сетного полотна;
- остойчивости промыслового судна при взаимодействии его с неводом.

Практическая ценность заключается в разработанном алгоритме проведения расчетов по механике комплекса "кошельковый невод - промысловое судно", позволяющего совершенствовать решения проектных задач при создании новых и модернизации существующих кошельковых неводов.

Реализация работы. Результаты теоретических исследований реализованы в методах расчета, способствующих повышению эффективности кошелькового лова рыбы. Результаты исследований отражены в курсах лекций по дисциплине "Механика орудий рыболовства" при подготовке бакалавров по направлению 561000 - "Рыболовство", и в курсе лекций "Проектирование орудий океанического рыболовства" при подготовке инженеров по специальности 311800 - "Промышленное рыболовство".

Апробация работы. Основные материалы диссертации докладывались и обсуждались на: 1-ой Международной научно-технической конференции "Бесступенчатые передачи, приводы машин и промысловое оборудование", г. Калининград, 1997 г.; Международной научно-технической конференции БАЛТТЕХМАШ-98 "Прогрессивные технологии и механизмы в машиностроении", г. Калининград, 1998 г.; Международной научно-технической конференции, посвященной 40-летию пребывания КГТУ на Калининградской земле и 85-летию высшего рыбохозяйственного образования в России, г. Калининград, 1998 г.; Международной научно-технической конференции БАЛТТЕХМАШ-2000 "Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении", г. Калининград, 2000 г.; Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию основания Калининградского государственного технического университета, г. Калининград, 2000 г.; Международной на-

учно-технической конференции БАЛТТЕХМАШ-2002 "Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении", г. Калининград, 2002 г.; расширенных заседаниях кафедры промышленного рыболовства КГТУ (2001 и 2002 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 37 печатных работах, в т. ч. в монографии.

На защиту выносятся:

- результаты анализа этапов работы с кошельковым неводом на промысле;
- единый математический комплекс, описывающий основные этапы работы с кошельковым неводом на промысле.

Объем и структура. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, списка использованной литературы. Работа изложена на 225 стр., включая 12 таблиц, 44 рисунка, 144 литературных источника.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы и сформулирована цель работы.

В первой главе "Современное состояние и задачи механики кошелькового невода" рассмотрены используемые в настоящее время основные физические и математические модели, соответствующие этапам работы с кошельковым неводом на промысле. Анализ современного состояния механики кошелькового невода показал следующее:

- 1) Существующие расчетные схемы замета позволяют в первом приближении определить минимальную длину невода. Дальнейшее увеличение точности этих расчетов связано с накоплением и обобщением статистических данных об объекте лова - рыбе. Перспективным, также, является разработка диалоговых компьютерных систем, работающих в режиме реального времени и позволяющих корректировать параметры замета в процессе его проведения. Перечисленные задачи выходят за рамки исследования механики кошелькового не-

вода и в диссертации не решаются.

2). Существующие классические модели погружения нижней подборы Ф. И. Баранова, Н. Н. Андреева апробированы, широко используются в учебной и технической литературе. Они качественно соответствуют экспериментальным данным. Однако имеются существенные количественные отличия, особенно при определении скорости погружения нижней подборы. Таким образом, актуальным является получение аналитических решений для физической модели погружения сетной стенки как системы "верхняя подбора - сетное полотно - жгут - сетное полотно - нижняя подбора".

3). Основной современной предпосылкой о форме сетного полотна невода по сле замета и при кошельковании являются модели Н. Н. Андреева. Реальный невод отгибается от предложенной Н. Н. Андреевым модели. Системные исследования этих отличий, их влияния на механику кошельковых неводов в течение целого ряда лет проводилось В. Д. Кулагинным и его учениками. Главное внимание при этом уделено форме раскрыя сетного полотна, наличию пожилин, опухшек и несовершенных кромок, весомости и растяжимости нитей и дискретной структуре сетного полотна.

4). За математическую модель невода после его замета по окружности В. Д. Кулагинным принята однородная сетная оболочка, изготовленная из совершенного по боковым кромкам полотна. Получено уравнение равновесия сетной оболочки вращения, изготовленной из прямоугольного сетного полотна с нерастяжимыми нитями. Оболочка загружена осевыми силами и постоянным внутренним давлением. Для частных случаев нагрузки получены решения. Принят ряд упрощений и в том числе - не учитывается вес сетного полотна в воде. Расчет невода при замете по окружности и стигивании нижней подборы сводится к расчету сетной оболочки вращения, загруженной краевыми и гидродинамическими силами.

5). На всех стадиях работы невода основной практически всех моделей является сетная оболочка. В. Д. Кулагинным принята следующая физическая модель для сетной оболочки: двухмерный объект, образованный двумя семействами пересекающихся упругих нитей, изгибная жесткость нитей настолько мала, что она не оказывает заметного влияния на принимаемую под нагрузкой форму оболочки и усилия в нитях. В таких сетных оболочках внешние силы равномерно вспиваются 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. Из последнего свойства следует, что каждой точке оболочки до деформации будет соответствовать только одна точка после деформации, что позволяет в расчет растяжимых оболочек ввести физические соотношения между деформациями и усилиями в нитях.

6). Модели формы сетного полотна и усилий, действующих в нем, созданы Н. Н. Андреевым и усовершенствованные В. Д. Кулагинным в целом соответствуют имеющимся опытным данным. Формой сетного полотна является конусообразная оболочка с криволинейной образующей. Для определения геометрических и силовых характеристик используется модель однородной сетной оболочки с упругими нитями, подчиняющимися закону Гука. Большая часть конечных решений представлена численными методами. Актуальным является получение аналитических решений на базе теории сплошных оболочек с учетом их весомости. Для сетной оболочки напряжениями изгиба можно пренебречь и для описания ее напряженно-деформированного состояния воспользоваться мембранной теорией.

7). В имеющихся решениях о форме кошелькового невода в процессе кошелькования гидродинамические силы приняты постоянными по высоте невода. Между тем, в процессе кошелькования изменяются посадочные коэффициенты и, следовательно, относительная площадь сетей, что должно приводить к

изменению гидродинамических сил по высоте сетной стенки. Таким образом, актуальной является задача получения аналитических зависимостей сил сопротивления сетного полотна от параметров кошелькования.

8). Основным недостатком при расчетах остойчивости сейнеров при кошельковании и выборке является отсутствие единых физических и математических моделей для комплекса "кошельковый невод - промысловое судно" и единого алгоритма расчета этого комплекса.

9). Актуальным является исследование влияния изгибной жесткости и упругости стяжного троса на его форму и положение в пространстве.

Как следует из анализа современного состояния механики кошелькового невода, этот раздел исследований по промышленному рыболовству интенсивно развивается. Однако в настоящее время он еще не сложился в универсальный единообразный физико-математический комплекс, дающий аналитическое описание всех стадий работы кошелькового невода на промысле. Поэтому целью работы является создание единого математического комплекса, описывающего механику основных этапов работы кошелькового невода. Для достижения поставленной цели необходимо, опираясь на результаты предыдущих исследований, в каждом разделе довести физические модели до уровня, соответствующего современным представлениям о работе кошелькового невода, и получить для них аналитические решения.

Во второй главе "Погружение нижней подборы на глубину, определяемую высотой сетной стенки невода" на основе принятых допущений, сформулирована физическая модель, которая, опираясь на предыдущие, позволяет более точно описать физические явления при погружении нижней подборы на заданную глубину.

Физическая модель: элемент дели длиной l м, расположенный на свободной поверхности, под действием сил тяжести сетного полотна, остатка нижней подборы и стяжного троса движется поступательно с постоянным углом

атаки, расправляя и увлекая за собой прилегающую к ней часть сетного полотна. Остальная часть погружается жгутом под действием собственного веса. Прилегающие слои дели уменьшают скорость жгута и нижней подборы. По мере расправления, начиная от верхней подборы, сетное полотно прекращает свое движение (рис. 1).

Жгут представлен как сплошной прямой круговой цилиндр, образующая которого равна $DL = l$ м, диаметр основания равен D_1 , а сетная полоса - как абсолютно гибкая, нерастяжимая, сплошная полоса шириной $DL = l$ м, толщиной равной диаметру нити d (рис. 2).

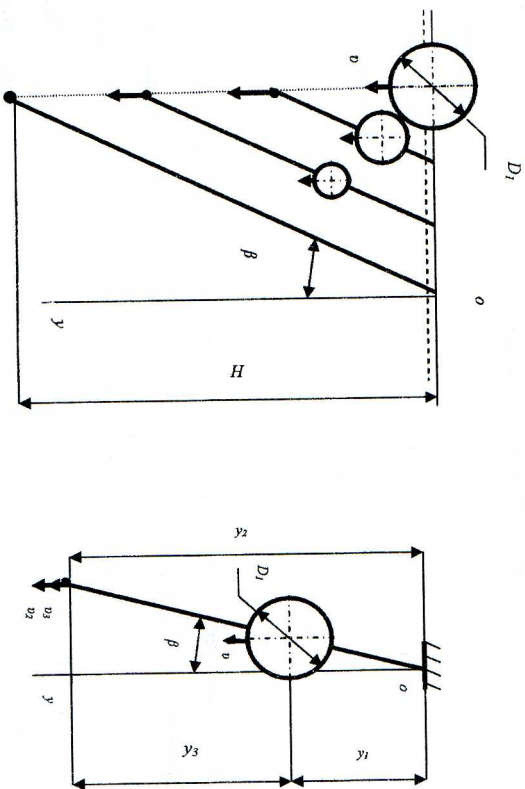


Рис. 1. Расчетная схема элемента погружения нижней подборы

Рис. 2. Положение элемента нижней подборы в произвольный момент времени

Отношение координат и скоростей для одинакового промежутка времени обозначено через $\lambda = y_1 / y_2 = v_1 / v_2$.

Из решения дифференциального уравнения, описывающего погружение единичного жгута и дифференциального уравнения относительного движения для участка невода, расположенного ниже жгута, состоящего из сетного полот-

на, нижней подборы с оснасткой, получены следующие выражения для скорости и времени погружения на глубину элемента нижней подборы

$$v_y = \frac{k_1(1-y^2)}{4\lambda}, \quad (1)$$

$$t = \frac{1+k_4H}{k_2k_4-k_3} \left[(1+k_4H) \ln \frac{H}{H-y_2(1-\lambda)} - k_4y_2(1-\lambda) \right], \quad (2)$$

$$\text{где } \lambda = \frac{k_1(1-y^2)(1+k_4y_2)}{4 \frac{k_1(1-y^2)(1+k_4y_2)}{4} + k_2(1+k_4y_2) - k_2 \frac{1+k_4H}{1+k_4H} (1+k_4y_2)}; \quad (3)$$

$$k_1 = \pi \sqrt{\frac{d\rho c g}{aU_1 U_2 C_{x1} \rho}} \sqrt{\frac{\pi H}{4} \cdot \frac{d}{\cos \beta}}; \quad (4)$$

$$k_2 = \sqrt{\frac{2q}{C_x D \rho}}; \quad (5)$$

$$k_3 = \frac{\rho}{2q \cos \beta}; \quad (6)$$

$$k_4 = \frac{C_x \sin^3 \beta}{2C_x D \cos \beta}; \quad (7)$$

ρc - плотность материала ниток; a - расстояние между узлами ячеи сети (шаг ячеи); d - диаметр нити сетного полотна; U_1, U_2 - коэффициенты поправки сетного полотна; C_{x1} - коэффициент сопротивления сетного жгута; ρ - плотность воды; H - наибольшая глубина погружения нижней подборы невода; k - безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий то обстоятельство, что габаритный объем сетной полосы всегда больше объема материала полосы ($k < 1$);

β - угол между образующей конуса, на поверхности которого располагается сетное полотно, и вертикалью; q - сила тяжести в воде 1 м нижней подборы с грузилами, кольцами; C_x - коэффициент сопротивления нижней подборы с оснасткой; D - диаметр нижней подборы; ρ - сила тяжести 1 м^2 фиктивной площади сетного полотна в воде; C_x - коэффициент сопротивления плоской сети при поперечном обтекании; ρc - плотность материала ниток.

Для оценки адекватности разработанной математической модели использованы экспериментальные данные, полученные в натурных исследованиях процессов погружения нижней подборы невода, проведенных сотрудниками НПО промысловства в рейсе СТР «Чесма» с марта по июль 1987 года. Кошельковый невод проекта 1793 НПО промысловства имеет длину верхней подборы 740 м, высоту в центральной части 150 м. Коэффициенты поправки по верхней и нижней подборам 0,707, диаметр ниток $d = 0,98 \cdot 10^{-3}$ м, шаг ячеи $a = 16 \cdot 10^{-3}$ м. Общий вес загрузки нижней подборы натурного невода 31,2 кН. В ходе проведенных исследований определялись скорость и направление течения, скорость ветра, глубина и время погружения нижней подборы. Заметы осушались на ветер по неизменным траекториям, близким к окружностям, примерно за одно и то же время. Длительность заметы составляла 200 ± 10 с. Стравливалось одинаковое количество стяжного троса 700 ± 100 м за одно и то же время 26 ± 10 с. В отчетах по научной работе НПО промысловства содержатся данные измерения глубины и времени погружения нижней подборы в 5 заметах.

Расчеты времени погружения средней части кошелькового невода проекта 1793 НПО промысловства выполнены при помощи прикладного пакета Mathcad методом сплайн-аппроксимации. При этом исходная функция заменяется отрезками кубических полиномов, проходящих через три смежные узловые точки. Коэффициенты полиномов рассчитываются так, чтобы непрерывными были первая и вторая производные. Доверительный интервал рассчитывается по формуле $\Delta x = \sigma_x I_{\alpha}$, где σ_x - среднее квадратическое отклонение от среднего значения измеряемой величины, I_{α} - коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности P и числа измерений n . При обработке результатов измерений для доверительной вероятности $P = 0,95$ коэффициент Стьюдента принят равным для пяти измерений $I_{5,0.95} = 2,78$.

Время $t_{1,5}$ погружения нижней подборы для пяти заметов на различные глубины приведено на рис. 3.

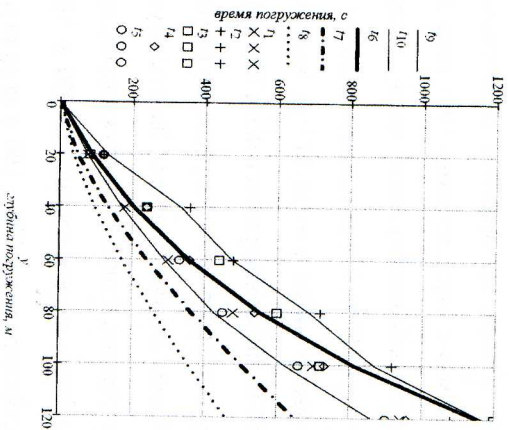


Рис. 3. Зависимости времени от глубины погружения нижней подборы для пяти заметов кошелькового невода 740×150 м. t_1 - t_5 - экспериментальные данные, t_6 - расчетное время по зависимости (2), t_7 - расчетное время по зависимости Н.Н. Андреева, t_8 - расчетное время по зависимости Ф.И. Баранова, t_9 - верхняя граница доверительного интервала, t_{10} - нижняя граница доверительного интервала.

Из рис. 3 видно, что качественно характер зависимости времени погружения нижней подборы от глубины погружения хорошо отражается зависимостью (2), формулами Ф.И. Баранова, Н.Н. Андреева. Однако количественно формула Ф.И. Баранова дает очень заниженные значения, формула Н.Н. Андреева - более близкие к опытным данным, но также заниженные. Результаты, вычисленные по зависимости (2) лежат в пределах доверительного интервала и соответствуют экспериментальным данным. Результаты расчета скорости погружения нижней подборы кошелькового невода проекта 1793 НПО промышленности по зависимости (1), формулами Ф.И. Баранова, Н.Н. Андреева для различных глубин погружения приведены на рис. 4. Скорости погружения v_1 - v_5 , соответствующие пяти промысловым заметам, получены методом численного дифференцирования при помощи прикладного пакета Mathcad. Из рис. 4 видно, что формула Ф.И. Баранова дает очень завышенные значения, формула Н.Н. Анд-

реева - более близкие к опытным данным, но также существенно отличающиеся от этих данных. Результаты, вычисленные по зависимости (1), практически попадают в доверительный интервал.

Таким образом, в результате исследований, проведенных в первой главе, усовершенствована физическая модель погружения нижней подборы кошелькового невода на заданную глубину. Модель, в отличие от решений Ф.И. Бара-

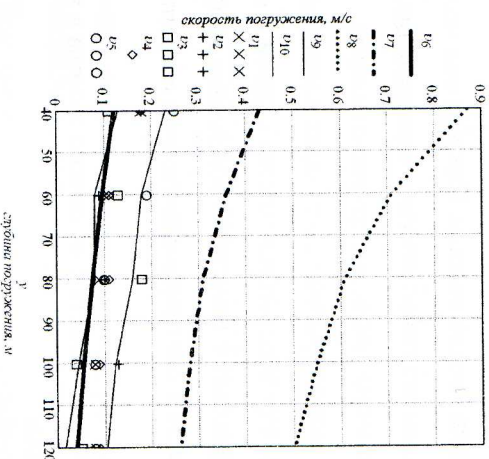


Рис. 4. Зависимости скорости точек нижней подборы от глубины ее погружения для пяти заметов кошелькового невода 740×150 м. v_1 - v_5 - экспериментальные данные, v_6 - расчетная скорость по зависимости (1), v_7 - расчетная скорость по зависимости Н.Н. Андреева, v_8 - расчетная скорость по зависимости Ф.И. Баранова, v_9 - верхняя граница доверительного интервала, v_{10} - нижняя граница доверительного интервала.

нова и Н.Н. Андреева, учитывает одновременное поступательное движение жгута под действием собственного веса и части дельи под действием сил тяжести загрузки нижней подборы, стяжного троса, оснастки (колыца, уздечки), тормозящее действие прилегающих к погружающейся сетной полосе неподвижных частей сетного полотна.

Разработанные на основании предложенной физической модели математические модели для расчета скорости (1) и времени (2) погружения нижней подборы кошелькового невода хорошо согласуются с результатами промысловых опытов. Ошибки расчета времени и скорости погружения сетной стенки невода по полученным формулам не превышают 0,1% и 8% при доверительной вероятности 0,95. Ошибки расчета указанных характеристик по формулам

Н.Н. Андреева и Ф.И. Баранова составляют: 36, 55 и 150, 380 %. Таким образом, полученные аналитические решения задач определения времени и скорости погружения сетной стенки невода позволяют увеличить точность расчетов этих характеристик соответственно в 1,3; 1,5 и 2,3; 4,4 раза.

В третьей главе "Внешние силы, действующие на сетное полотно при кошельковании" установлены зависимости внешних сил, действующих на сетное полотно после погружения стенки на полную высоту и при кошельковании, от геометрических характеристик сетного полотна. Специфичная особенность работы с неводом - изменение его геометрических характеристик при кошельковании, что, в свою очередь, меняет силы, действующие на невод.

В процессе стегивания копец нижней подборы происходит изменение радиусов сетного полотна в сечениях, параллельных плоскостям верхней и нижней подбор. Изменение радиусов приводит к изменению посадочных коэффициентов и, соответственно, сил тяжести и сил гидродинамического сопротивления сети в этих сечениях.

Установлено, что относительная сила тяжести 1 м^2 сетного полотна в воде ($\bar{p}_1 = p_1 / p$) определяется из выражения:

$$\bar{p}_1 = \frac{1}{r_x U_{1B} \sqrt{1 - r_x^2 U_{1B}^2}}, \quad (8)$$

где p - сила тяжести 1 м^2 сетного полотна в воде; r_x - относительный радиус рассматриваемого сечения ($r_x = r_x / R_B$) сетной оболочки; r_x - радиус рассматриваемого сечения; R_B - радиус окружности, образуемой верхней подборой (рис. 5).

Удельная относительная сила \bar{p}_1 зависит от двух безразмерных параметров r_x и U_{1B} . Выражение (8) определяет закон изменения $\bar{p}_1(r_x)$ конусообразных сетных оболочек.

Зависимость $\bar{p}_1(r_x)$ для трех значений посадочных коэффициентов приведена на рис. 6.

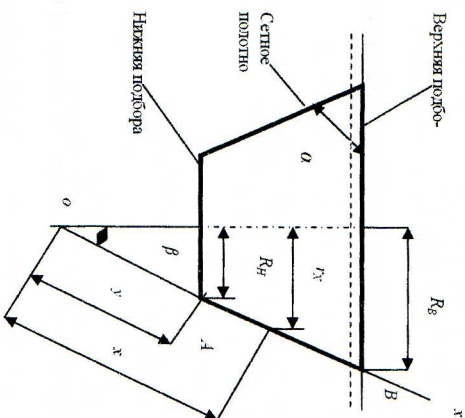


Рис. 5. Схема сетной части невода

тяжести в воде 1 м^2 сетного полотна, расположенного на окружности радиуса R_x минимальна и равна $\bar{p}_{1 \text{ мин}} = 2$.

Используя теорему о среднем и линейное распределение посадочных

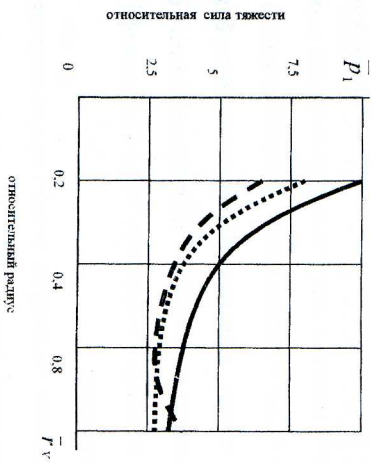


Рис. 6. Расчетная зависимость $\bar{p}_1(r_x)$ для сетного полотна кошелькового невода (значению $U_{1B} = 0,5$ соответствует высота сплошная линия, значение $U_{1B} = 0,7$ - точки, значение $U_{1B} = 0,9$ - пунктир)

Получено выражение для силы тяжести в воде части сетной оболочки, начиная от нижней подборы до сечения с радиусом r_x

$$G_x = \frac{2\pi R_B^2 p}{U_{1B}^2 \sin \beta} (\arcsin r_x U_{1B} - \arcsin U_{1B}). \quad (9)$$

Установлено, что при значении произведений посадочного коэффициента по верхней подборе и относительного радиуса

$$U_{1B} r_x = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{относительная сила}$$

коэффициентов по высоте сети для среднего значения относительной площади

(от нижней подборы до сечения, радиуса r_x) получено следующее выражение:

$$\bar{F}_{0x} = \frac{d}{a} \frac{1}{U_{1B}} \frac{1}{r_x - R_H} \ln \left(\frac{r_x}{R_H} \frac{1 + \sqrt{1 - U_{1B}^2 R_H^2}}{1 + \sqrt{1 - U_{1B}^2 r_x^2}} \right). \quad (10)$$

Установлено, что среднее значение коэффициента загибающей силы сети по ее высоте определяется формулой:

$$\begin{aligned} \bar{C}_{ax} = & \frac{U_{1B} \cos \alpha}{r_x - R_H} \left[\frac{r_x}{2} \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha}{U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} + r_x^{-2}} + \frac{\sin^2 \alpha}{2U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} \ln \left(\frac{r_x}{R_H} \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha}{U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} + r_x^{-2}} \right) - \right. \\ & \left. - \frac{R_H}{2} \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha}{U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} + R_H^{-2}} - \frac{\sin^2 \alpha}{2U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} \ln \left(\frac{R_H}{R_H} \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha}{U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} + R_H^{-2}} \right) - U_{1B}^2 \frac{r_x}{4} \times \right. \\ & \left. \times \sqrt{\left(\frac{\sin^2 \alpha}{U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} + r_x^{-2} \right)^3} - \frac{\sin^2 \alpha}{8U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} \times (r_x \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha}{U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} + r_x^{-2}} + \frac{\sin^2 \alpha}{U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} \ln \left(\frac{r_x}{R_H} \times \right. \right. \\ & \left. \left. + \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha}{U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} + r_x^{-2}} \right) - \frac{R_H}{4} \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha}{U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} + R_H^{-2}} \right)^3 + \frac{\sin^2 \alpha}{8U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} \times (\bar{R}_H \times \\ & \left. \times \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha}{U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} + R_H^{-2}} + \frac{\sin^2 \alpha}{U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} \ln \left(\frac{R_H}{R_H} \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha}{U_{1B}^2 \cos^2 \alpha} + R_H^{-2}} \right) \right) \left. \right). \quad (11) \end{aligned}$$

где угол $\alpha = (\pi/2) - \beta$ (рис. 5); $C_{ax} = \frac{R_{ax}}{R_{90} \sin \alpha \cos \alpha}$; R_{ax} - загибающая сила; R_{90} - сила сопротивления сети, перпендикулярной вектору ее скорости.

Таким образом, в третьей главе уточнены формулы для расчета удельной и полной силы тяжести в воде сетного полотна, получены формулы для определения при кошельковании относительных площадей сети, средней скорости движения точек сетного полотна, среднего значения коэффициента загибающей силы. Во всех полученных решениях учитывается специфическая особенность сетного полотна кошелькового невода - изменение посадочных коэффициентов по высоте сети при кошельковании.

В четвертой главе "Форма и силы натяжения нитей сетного полотна" приведено решение задачи по определению формы и сил натяжения нитей сетного полотна невода, основанное на моделях Н.Н. Андреева и В.Д. Кулагина, но

более полно учитывающее внешние силы, действующие на невод перед началом кошелькования и в процессе его. Определены также геометрические условия сохранения сетным полотном формы кругового усеченного конуса (без воздействия сил).

Получено следующее уравнение для криволинейной образующей конусообразной сетной оболочки невода при его кошельковании:

$$y = b_8 \ln \left(\frac{b_1 - R_H}{b_1 - r_x} \left| \frac{b_1 + r_x}{b_1 + R_H} \right| - b_9 (r_x - R_H) \right), \quad (12)$$

где $b_1 = 2(R_2 + r_{x\alpha} \lg \alpha_0 + r_{x\alpha})$; $b_2 = \frac{R_0}{\pi} - \frac{(r_{x\alpha} + R_2)R_H^2}{\cos \alpha_0}$; $b_3 = \frac{r_{x\alpha} + R_2}{\cos \alpha_0}$ - начальный

угол стержного троса (угол между вертикалью и касательной к линии стержного троса в нижней точке троса); R_2 , $r_{x\alpha}$, $r_{x\alpha}$ - удельные силы тяжести, лобового сопротивления, удельная загибающая сила сетного полотна в сечении r_x (силы, проходящиеся на $1m^2$ сетного полотна); постоянная сила P_0 - сила тяжести нижней подборы с оснасткой в воде; $b_4 = \frac{\sin \alpha_0}{1 + \cos \alpha_0} \left(\frac{\pi}{P_0} \right)^{2b_5}$; $b_5 = \frac{1 - b_6}{b_4 b_1}$,

$$b_6 = \frac{b_1}{b_2}, \quad b_7 = \left(\frac{1 - b_4^2 b_5^2}{b_4} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad b_8 = b_5 \left(\frac{2}{b_1} + b_6 b_7 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad b_9 = b_5 b_6.$$

Найдено выражение для определения усилий в нитях в сечении с радиусом r_x :

$$T_x = \frac{1}{2} \frac{a U_{1B} \sqrt{1 + (y')^2}}{y' R_H \sqrt{1 - \frac{U_{1B}^2}{R_H^2} r_x^2}} \left(\frac{P_0}{\pi} + (r_x^2 - R_H^2)(r_{x\alpha} + P_2) \sqrt{1 + (y')^2} \right), \quad (13)$$

$$\text{где } y' = \frac{2b_4 b_2^{\frac{2b_5}{2b_1}} (1 + \frac{b_1}{2b_2} r_x^2)}{1 - b_4^2 b_5^2 (1 + \frac{b_1}{2b_2} r_x^2)}.$$

Условия, при которых сетное полотно в форме равнобокой трапеции после посадки на подборы и съачеивания боковых сторон располагается на поверхности кругового усеченного конуса, имеют вид:

$$\frac{\bar{r}_x}{U_{1x}} = K + (1 - K) \frac{\bar{r}_x - \bar{R}_H}{1 - \bar{R}_H} \frac{1 - \bar{U}_{1H}}{\bar{U}_{1x} - \bar{U}_{1H}} \frac{\arcsin U_{1x} - \arcsin U_{1H}}{\arcsin U_{1B} - \arcsin U_{1H}}, \quad (14)$$

$$\bar{r}_x = \frac{r_x}{R_B}, \quad \bar{R}_H = \frac{R_H}{R_B}, \quad \bar{U}_{1x} = \frac{U_{1x}}{U_{1B}}, \quad \bar{U}_{1H} = \frac{U_{1H}}{U_{1B}}.$$

В выражениях (14) относительный радиус $\bar{R}_H < \bar{r}_x < 1$.

Полученное в явном виде уравнение (12) для криволинейной образующей конусообразной поверхности, форму которой принимает сетное полотно невода при кошельковании, в отличие от решений В.Д. Кулагина, учитывает силу тяжести сетного полотна, силу лобового сопротивления сетного полотна при кошельковании, отклонение от вертикального положения сетного полотна на границе с нижней подборой.

Полученное выражение для сил натяжения в нитях сетного полотна (13) позволяет, в отличие от решений В.Д. Кулагина, аналитически определить не только силы натяжений нитей, примыкающих к верхней подборе, но и силы натяжений нитей в любом сечении по высоте сетного полотна. Выражения (14), в отличие от решений Ю.А. Изнанкина, описывают зависимость коэффициентов посадки для ячей сети от вертикальной координаты ряда, в котором она расположена.

Более точный учет всех сил позволяет повысить точность расчетов при определении формы сетного полотна и сил натяжения нитей. От формы сетного полотна зависит глубина погружения нижней подборы, существенно влияющая на успешность лова. Знание сил натяжения нитей позволяет более рационально подобрать характеристики дели по высоте кошелькового невода.

В пятой главе "Напряженно-деформированное состояние сетного полотна" приведены относительно простые аналитические решения, позволяющие оценить влияние упругих свойств нитей сетного полотна на его форму. В каче-

стве основных базовых моделей приняты прямая круговая коническая и сферическая оболочки. Сетное полотно кошельковых неводов в настоящее время изготавливается в основном из синтетических материалов, обладающими свойствами упругости. Упругие свойства нитей, как показано в работах В.Д. Кулагина, 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.

Учет растяжимости нитей может быть выполнен с помощью формул главы 4, которые справедливы при любой связи между натяжениями нитей и их относительными деформациями. Но более удобно воспользоваться переходом к сплошной оболочке, так как прочностные расчеты наиболее разработаны для сплошных оболочек и пластин. Основной проблемой является алгоритм и формулы пересчета параметров сетной оболочки в параметры эквивалентной сплошной оболочки. Отличия решений пятой главы от решений В.Д. Кулагина заключаются в следующем: получены аналитические зависимости, выражающиеся в элементарных функциях; имеется возможность провести подробный прочностной расчет всего сетного полотна или его части, включающий определение деформаций, напряжений и перемещений; учитывается сила тяжести сетного полотна, ее изменение по высоте сети; учитывается изменение гидродинамических сил сопротивления по высоте сети при кошельковании.

Для определения внутренних усилий, упругих деформаций, напряжений и перемещений сетной оболочки вращения, нагруженной симметрично относительно ее оси симметрии, осуществлена следующая схематизация (рис. 7). Поверхность получается вращением плоской кривой относительно оси. Кривая (меридиан) и ось лежат в одной плоскости – меридианной плоскости. Угол θ определяет положение меридиана, угол φ – положение параллели (угол между нормалью к поверхности и осью вращения). Меридианная плоскость и плос-

кость, перпендикулярная к меридиану, являются плоскостями главных кривизн в точке поверхности вращения.

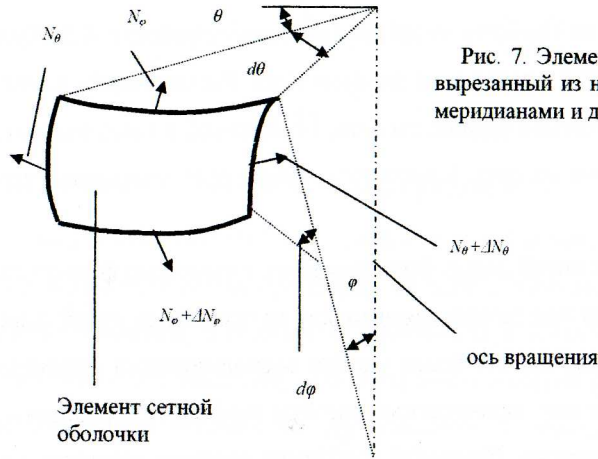


Рис. 7. Элемент сетной оболочки, вырезанный из нее двумя смежными меридианами и двумя параллелями

Толщина оболочки h равна

$$h = \frac{\pi d^2 a}{2a^2 U_1 U_2} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{d}{a} \cdot \frac{1}{U_1 U_2} \cdot d. \quad (15)$$

Линейные деформации определяются формулами:

$$\varepsilon_\varphi = \frac{2aU_1U_2}{\pi d^2 E} (N_\varphi - \nu \cdot N_\theta), \quad (16)$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{2aU_1U_2}{\pi d^2 E} (N_\theta - \nu \cdot N_\varphi),$$

где E – модуль упругости материала ниток сетного полотна; ν – коэффициент Пуассона материала ниток сетного полотна; N_φ , N_θ – нормальные силы, приходящиеся на единицу длины.

Напряжения (мембранные напряжения) в нитях сетной оболочки могут быть найдены из выражений:

$$\sigma_\varphi = \frac{N_\varphi}{h} = \frac{2aU_1U_2}{\pi d^2} N_\varphi, \quad (17)$$

$$\sigma_\theta = \frac{N_\theta}{h} = \frac{2aU_1U_2}{\pi d^2} N_\theta.$$

Приращение радиуса r_X параллельного круга рассчитывается в соответствии с равенствами:

$$\delta = \frac{r2aU_1U_2}{\pi d^2 E} (N_\theta - \nu \cdot N_\varphi) = x \cdot \sin \beta \cdot \varepsilon_\theta. \quad (18)$$

Для конусообразной сетной оболочки напряжения при действии сил тяжести может быть найдено из выражений:

$$\sigma_x = \sigma_\varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} (\bar{\rho}_c - 1) \rho g (x - x_0^2 \frac{1}{x}), \quad (19)$$

$$\sigma_\theta = \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \beta (\bar{\rho}_c - 1) \rho g x.$$

Получены следующие формулы для расчета напряжений при действии гидродинамических сил сопротивления

$$\sigma_x = \sigma_\varphi = \frac{4aU_1U_2}{\pi d^2} C_x \frac{\rho v_{\text{гн}}^2}{2} \cdot \sin^2 \beta \cdot \frac{1}{l^2} \cdot \frac{1}{12} \{3(x^3 - x^4 \frac{1}{x}) - 8(l + x_0)(x^2 - x_0^3 \frac{1}{x}) + 6(l + x_0)^2 (x - x_0^2 \frac{1}{x})\}, \quad (20)$$

$$\sigma_\theta = \frac{4aU_1U_2}{\pi d^2} C_x \frac{\rho v_{\text{гн}}^2}{2} x \frac{(l + x_0 - x)^2}{l^2}.$$

Приращение радиуса параллельного круга при действии сил тяжести

$$\delta = \frac{\rho(\bar{\rho}_c - 1)g}{2E} \operatorname{tg} \beta \{ (2 \sin^2 \beta - \nu) x^2 + \nu \cdot x_0^2 \}. \quad (21)$$

Приращение радиуса параллельного круга при действии гидродинамических сил сопротивления

$$\delta = \sin^2 \beta \frac{4aU_1U_2}{\pi d^2 E} C_x \frac{\rho v_{\text{гн}}^2}{2} \cos \beta \operatorname{tg} \beta \frac{1}{l^2} \{ \frac{x^2}{\sin^2 \beta} (l + x_0 - x)^2 - \frac{3}{4} \nu (x^4 - x_0^4) + \frac{2}{3} \nu (l + x_0)(x^3 - x_0^3) - \frac{1}{2} \nu (l + x_0)^2 (x^2 - x_0^2) \}. \quad (22)$$

Аналогичные формулы получены для сферической сетной оболочки.

Напряжения при действии сил тяжести

$$\sigma_\varphi = \frac{1}{1 + \cos \varphi} (\bar{\rho}_c - 1) a_1 \rho g, \quad (23)$$

$$\sigma_\theta = - \left(\frac{1}{1 + \cos \varphi} - \cos \varphi \right) a_1 \rho g (\bar{\rho}_c - 1),$$

где a_1 - радиус сферы, φ - центральный угол;

при действии гидродинамических сил сопротивления

$$\sigma_\theta = \sigma_\varphi = \frac{aa_1}{d^2} \cdot \frac{U_1 U_2 C_x}{\pi} \rho v_r^2. \quad (24)$$

Смещение δ при действии сил тяжести

$$\delta = -\frac{a_1^2}{E} (\rho_c - 1) \rho g \sin \varphi \left(\cos \varphi + \frac{1 + \nu}{1 + \cos \varphi} \right); \quad (25)$$

при действии гидродинамических сил сопротивления

$$\delta = \frac{aa_1^2 U_1 U_2}{\pi d^2 E} (1 - \nu) C_x \rho v_r^2 \sin \varphi. \quad (26)$$

Научное значение проведенной в данной главе адаптации методов расчета сплошных оболочек вращения к расчету сетных оболочек, состоит в том, что полученные решения позволяют для сетных оболочек в полной мере использовать весь известный расчетный аппарат, используемый для сплошных оболочек, учитывая при этом геометрические характеристики, структуру и свойства материала ниток сети.

Практическое значение полученных результатов заключается в возможности относительно простого, быстрого аналитического расчета напряжений, деформаций, перемещений в различных сечениях сетного полотна, теоретического анализа влияния упругих свойств материала нитей на форму сетного полотна кошелькового невода.

В отличие от расчетной схемы В.Д. Кулагина, основанной на использовании численных методов при решении соответствующих дифференциальных уравнений, все полученные решения аналитические.

В параграфе 2 пятой главы установлено, что при действии на конусообразную сетную оболочку только сил тяжести напряжения не зависят от геометрической структуры сетного полотна, а зависят только от относительной плотности материала сети. Установлено, что при действии на сферическую оболочку только сил тяжести по меридианам всегда имеет место растяжение, возраст-

тающее при увеличении угла φ между нормалью к поверхности и осью вращения. Для углов φ , превышающих 52° , сетное полотно не загружено и стремится принять форму жгута. Напряжения не зависят от структуры сети, а зависят от ее относительной плотности. Относительные смещения параллельного круга имеют минимум при $\varphi = \arccos(\sqrt{1 + \nu} - 1)$, максимум - при $\varphi = 0$. Определено, что при действии на сферическую оболочку постоянного нормального давления, нормальные силы и напряжения не зависят от угла φ , относительное смещение параллельного круга изменяется по закону синуса.

В шестой главе "Форма, внутренние усилия, прогибы стяжного троса" изложены решения, учитывающие специфику работы стяжного троса, влияние на эту работу упругих свойств материала троса. Рассмотрена часть троса от нижней подборы до барабана лебедки судна. Для части троса, которая размещается в кольцах нижней подборы, использовано решение Ф.И. Баранова.

Необходимость определения силы натяжения в верхней точке стяжного троса обусловлена тем, что эта сила входит в число исходных данных при расчете остойчивости промыслового судна при кошельковании и при расчете силы, втягивающей судно внутрь пространства, обметанного сетным полотном невода. В расчетах для промыслового судна учитывается как величина силы натяжения, так и ее направление (положение в пространстве), обуславливаемое формой стяжного троса.

Таким образом, важно знать форму и усилия в сечениях стяжного троса, являющегося связующим звеном между кошельковым неводом и промысловым судном и передающего усилие от лебедки сейнера к неводу. При этом необходимо, особенно для новых материалов, уметь оценивать влияние упругих свойств на работу троса.

В промышленном рыболовстве наибольшее число работ, связанных с расчетами канатов, основаны на модели абсолютно гибкой, нерастяжимой нити и

относятся к ваерам. Наиболее подробно результаты представлены в монографии А.Л. Фридмана и Б.А. Альтшуля.

Условия работы стяжного троса отличаются от условий работы ваера. К наиболее существенным относятся значительно изменяющиеся за один цикл кошелькования внешние нагрузки (в частности, силы гидродинамического сопротивления сетного полотна), различные скорости движения разных точек стяжного троса для одного момента его выборки.

На расчетной схеме рис. 8 угол между касательной к линии стяжного троса и горизонталью α представлен как

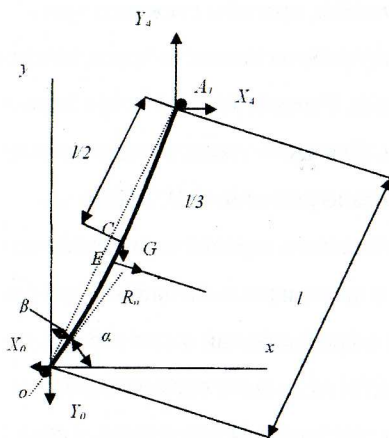


Рис. 8. Расчетная схема для стяжного троса

сумма $\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha$, где α_0 - начальный угол (в момент перед началом кошелькования на границе с нижней подборой), $\Delta\alpha$ - приращение угла α при переходе от точки O к точке A_1 (пересечения стяжного троса и свободной поверхности воды). Угол α_0 находится из выражения: $\alpha_0 = X_0 / Y_0$, где X_0, Y_0 - горизонтальная и вертикальная силы, действующие со стороны нижней подбора в момент перед началом кошелькования.

Из уравнений равновесия стяжного троса получены горизонтальная и вертикальная составляющие силы натяжения

$$X_{A1} = X_0 - \frac{1}{3} C_{xm} \frac{\rho v_r^2}{2} d_m l \sin^2 \alpha \cos \alpha, \quad (27)$$

$$Y_{A1} = G + \frac{1}{3} C_{xm} \frac{\rho v_r^2}{2} d_m l \sin^2 \alpha \sin \alpha + Y_0,$$

где l - длина хорды стяжного троса (OA_1) (расстояние от нижней подбора до точки пересечения свободной поверхности воды и стяжного троса);

C_{xm} - коэффициент сопротивления стяжного троса поперечному обтеканию;
 G - сила тяжести стяжного троса в воде; d_m - диаметр стяжного троса.

Угол α_0 совпадает с углом между образующей конусообразной поверхности невода и горизонтальной осью. Установлено следующее уравнение кривой, вдоль которой располагается стяжной трос:

$$x = (a_2 - a_1 \operatorname{tg} \alpha_0) \left(\frac{y}{a_1 + a_2 \operatorname{tg} \alpha_0} - \frac{a_3 \operatorname{tg} \alpha_0}{(a_1 + a_2 \operatorname{tg} \alpha_0)^2} \ln((a_1 + a_2 \operatorname{tg} \alpha_0)y + a_3 \operatorname{tg} \alpha_0) \right) + \frac{a_3}{a_1 + a_2 \operatorname{tg} \alpha_0} \times \\ \times \ln((a_1 + a_2 \operatorname{tg} \alpha_0)y + a_3 \operatorname{tg} \alpha_0) + \frac{a_3 \ln(a_3 \operatorname{tg} \alpha_0)}{a_1 + a_2 \operatorname{tg} \alpha_0} \left(\frac{a_2 - a_1 \operatorname{tg} \alpha_0}{a_1 + a_2 \operatorname{tg} \alpha_0} \operatorname{tg} \alpha_0 - 1 \right), \quad (28)$$

$$\text{где } a_1 = \frac{2}{9} C_{xm} \frac{\rho v_{rH}^2}{2} d_m \operatorname{tg} \alpha_0 \sin \alpha_0 + \frac{1}{2} q; \quad a_2 = -\frac{4}{9} C_{xm} \frac{\rho v_{rH}^2}{2} d_m \sin \alpha_0 + \frac{1}{2} q \operatorname{tg} \alpha_0;$$

$$a_3 = -Y_0 (\cos \alpha_0 - \operatorname{tg} \alpha_0 \sin \alpha_0) + 2X_0 \sin \alpha_0.$$

Выбор характеристик стяжных тросов обычно осуществляется по критерию, которым является разрывное усилие. Для более детальной оценки прочности и гибкости необходимо знание напряжений и деформаций стяжного троса, возникающих в процессе его работы.

Стальной трос, используемый в качестве стяжного троса, представлен как цилиндрический стержень, не имеющий начальной погиби и находящийся под действием поперечной нагрузки постоянной интенсивности и постоянной по длине продольной силы. При стягивании колец нижней подбора стяжной трос (рис. 9) 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 подбора 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 \bar{T} - среднее значение суммы проекций на касательную к линии, вдоль которой рас-

положена ось троса (рис. 9) гидродинамической силы сопротивления сетного полотна кошелькового невода и силы тяжести в воде стяжного троса.

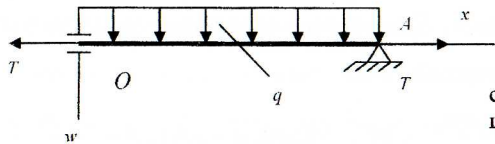


Рис. 9. Расчетная схема для стяжного троса невода при кошельковании

Получены выражения для прогиба w , угла поворота оси троса w' , приведенного изгибающего момента w'' при кошельковании

$$\begin{aligned}
 w &= -\frac{qx^2}{2T} + \frac{q}{2T\beta^2} \frac{1}{sh\beta \cdot l - \beta \cdot lch\beta \cdot l} \{[(l^2\beta^2 - 2)sh\beta \cdot l + \\
 &+ 2\beta l](1 - ch\beta x) + [(l^2\beta^2 - 2)ch\beta \cdot l + 2](sh\beta x - \beta x)\}, \\
 w' &= -\frac{qx}{T} + \frac{q}{2T\beta} \frac{1}{sh\beta \cdot l - \beta \cdot lch\beta \cdot l} \{[(l^2\beta^2 - 2)ch\beta \cdot l + \\
 &+ 2](ch\beta x - 1) - [(l^2\beta^2 - 2)sh\beta \cdot l + 2\beta \cdot l]sh\beta x\}, \\
 w'' &= -\frac{q}{T} + \frac{q}{2T} \frac{1}{sh\beta \cdot l - \beta \cdot lch\beta \cdot l} \{[(l^2\beta^2 - 2) \times \\
 &\times ch\beta \cdot l + 2]sh\beta x - [(l^2\beta^2 - 2)sh\beta \cdot l + 2\beta \cdot l]ch\beta x\},
 \end{aligned} \quad (29)$$

где β - коэффициент ($\beta = (\bar{T}/(E_m I))^{1/2}$); q_1 - сила тяжести 1м стяжного троса в воздухе; E_m - модуль продольной упругости или модуль Юнга; I - моменты инерции площади поперечного сечения относительно оси OY , совпадающей с осью стержня.

При выборке невода стяжной трос находится под действием поперечной нагрузки интенсивностью q и продольной силы T . Получены выражения для прогиб w , угла поворота оси троса w' , приведенного изгибающего момента w'' при выборке

$$w = -\frac{qx^2}{2T} + \frac{ql^2}{8T} - \frac{q}{T\beta^2} + \frac{q}{T} \cdot \frac{1}{\beta^2} \cdot \frac{1}{ch\beta \frac{l}{2}} ch\beta x,$$

$$w' = -\frac{qx}{T} + \frac{q}{T} \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \frac{1}{ch\beta \frac{l}{2}} sh\beta x, \quad (30)$$

$$w'' = -\frac{q}{T} + \frac{q}{T} \cdot \frac{1}{ch\beta \frac{l}{2}} ch\beta x.$$

Таким образом, в шестой главе определены все характеристики стяжного троса, необходимые для расчета остойчивости промыслового судна и сил, втягивающих судно внутрь пространства, обметанного неводом. Кроме того, определены напряжения, деформации, перемещения стяжного троса, необходимые для более тщательного учета влияния упругих характеристик материала троса на его прочностные характеристики.

В седьмой главе "Статика, динамика промыслового судна и невода" задача об остойчивости промыслового судна решена в рамках основных допущений и гипотез, принятых Н.Б. Севастьяновым, но с учетом ранее полученных выражений для формы и сил натяжения стяжного троса.

При работе с неводом промысловое судно в процессе кошелькования испытывает крен, дифферент, втягивается внутрь пространства, охваченного сетным полотном невода. Возникает опасность опрокидывания судна, повреждения его винторулевого комплекса, а также повреждения самого невода.

Впервые аналитическое решение задачи об остойчивости сейнера в процессе кошелькования получено авторским коллективом под руководством Н.Б. Севастьянова. При выводе решения предполагалось, что углы крена и дифферента малы (не превышают 10^0), судно подвержено только крену и дифференту (отсутствует вращение вокруг вертикальной оси). Сила натяжения стяжного троса принималась за постоянную неизвестную величину.

Для уточнения полученных решений выполнена следующая схематизация (см. рис. 10). Со стороны стяжного троса на судно действует сила натяжения стяжного троса. Точка A_1 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. На судно со стороны стяжного троса будет действовать сила натяжения. Судно под действием этой силы получает крен, дифферент, начинает разворачиваться и дрейфовать. Разворот и дрейф на современных сейнерах могут преодолеваться с помощью сдвоенных рулей, носовых и кормовых подруливающих устройств или мощного промыслового бота. Крен и дифферент всегда присутствуют.

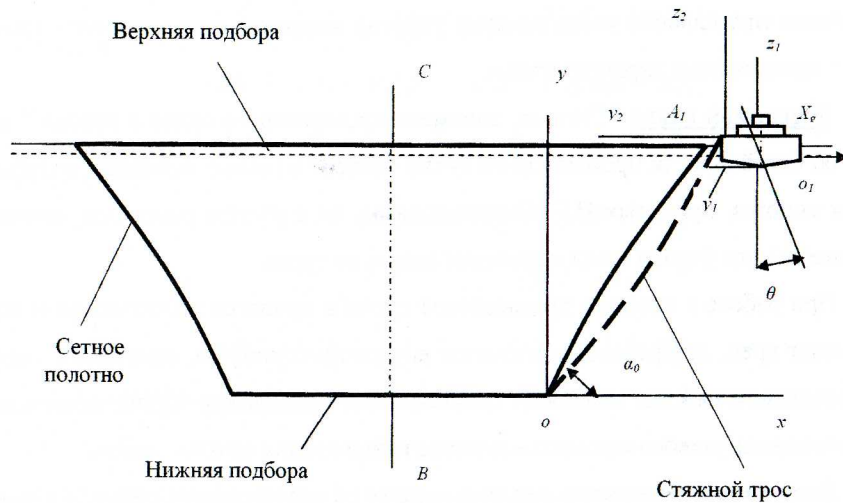


Рис. 10. Расчетная схема для расчета остойчивости судна при кошельковании

За начала подвижных систем координат, жестко связанных с судном, выбраны: точка O_1 - пересечения мидель-шпангоута с основной линией судна и точка A_1 - схода стяжного троса с канифас-блока. 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 соответственно осям Ox_1, Oy_1, Oz_1 . Горизонтальная Ox и вертикальная Oy оси координат жестко связаны с ниж-

ней подборой невода и движутся вместе с ней. Ветвь OA стяжного троса и ось BC невода лежат в плоскости XOY .

Статический угол крена θ от действия силы натяжения стяжного троса и угол крена θ_m при мгновенном приложении нагрузки равны:

$$\theta = \{y_{1A} \sqrt{(q_1[Z_{1A} - T] + T_{A1})^2 - X_{A1}^2} + X_{A1} \sin \alpha_1 (Z_{1A} - T)\} \{D_c [h_0 + \frac{\sqrt{(q_1[Z_{1A} - T] + T_{A1})^2 - X_{A1}^2}}{D_c + \sqrt{(q_1[Z_{1A} - T] + T_{A1})^2 - X_{A1}^2}} [T + \frac{\sqrt{(q_1[Z_{1A} - T] + T_{A1})^2 - X_{A1}^2}}{2w\gamma S} h_0 - Z_{1A}]] + X_{A1} y_{1A} \sin \alpha_1 - \sqrt{(q_1[Z_{1A} - T] + T_{A1})^2 - X_{A1}^2} (Z_{1A} - T - \frac{\sqrt{(q_1[Z_{1A} - T] + T_{A1})^2 - X_{A1}^2}}{2w\gamma S})\}^{-1}, \quad (31)$$

$$\theta_m = 2\theta,$$

где y_{1A}, Z_{1A} - координаты точки схода стяжного троса с барабана лебедки судна; q_1 - сила тяжести 1 м стяжного троса в воздухе; T_{A1} - сила натяжения стяжного троса в точке A_1 (пересечения свободной поверхности воды и стяжного троса); T - осадка судна; D_c - водоизмещение судна; h_0 - поперечная метацентрическая высота судна; S - площадь ватерлинии; w - коэффициент, учитывающий отклонение бортов от вертикали (в районе переменных ватерлиний $w = 1$); α_1 - угол между составляющей силы натяжения стяжного троса на плоскость $x_2A_1y_2$ и осью A_1x_2 .

Статический угол дифферента ψ и угол дифферента ψ_m при мгновенном приложении нагрузки равны:

$$\psi = \{x_{1A} \sqrt{(q_1[Z_{1A} - T] + T_{A1})^2 - X_{A1}^2} + X_{A1} [Z_{1A} - T] \cos \alpha_1\} \{D_c H_{o1} (1 + \frac{\sqrt{(q_1[Z_{1A} - T] + T_{A1})^2 - X_{A1}^2}}{D_c + \sqrt{(q_1[Z_{1A} - T] + T_{A1})^2 - X_{A1}^2}}) + X_{A1} x_{1A} \cos \alpha_1 - (Z_{1A} - T - \frac{\sqrt{(q_1[Z_{1A} - T] + T_{A1})^2 - X_{A1}^2}}{2w\gamma S}) \sqrt{(q_1[Z_{1A} - T] + T_{A1})^2 - X_{A1}^2}\}^{-1}, \quad (32)$$

$$\psi_m = 2\psi,$$

где H_{o1} - продольная метацентрическая высота судна.

Время завершения полного погружения всей нижней подборы на глубину, определяемую высотой сетной стенки невода, в значительной мере зависит от скорости судна на циркуляции. На основе обобщения экспериментальных данных К.К. Федяевским получена зависимость, связывающая отношение радиуса циркуляции к длине судна и отношение скорости судна на прямом курсе к скорости судна на циркуляции. Недостатком полученного решения является необходимость каждый раз при нахождении скорости судна на циркуляции решать нелинейное уравнение или пользоваться таблицами, либо графиками. Во втором параграфе седьмой главе решается задача получения на основе зависимости К.К. Федяевского аналитического выражения для скорости судна на циркуляции.

По вычисленным по уравнению К.К. Федяевского значениям относительной длины судна и относительной скорости судна на циркуляции методом линейной регрессии общего вида получена следующая зависимость:

$$\bar{v} = \frac{0,015}{\bar{L}_c - 3} + 1,162e^{-\bar{L}_c} + 0,045tg\bar{L}_c^2 - 0,157e^{-16\bar{L}_c}, \quad (33)$$

где \bar{v} - относительная скорость судна на циркуляции ($\bar{v} = v/v_0$); v - скорость судна на циркуляции; v_0 - скорость судна на прямом курсе; \bar{L}_c - относительная длина судна ($\bar{L}_c = L_c/R_y$); R_y - радиус циркуляции при замете невода; L_c - длина судна.

При выборке стяжного троса за оба конца в процессе кошелькования, для расчета сил, действующих на судно со стороны стяжного троса, И.Л. Бродским и В.М. Судниным предложена расчетная схема, базирующаяся на схеме, предложенной Ф.И. Барановым, но имеющей более общий вид. Однако, в процессе решения, авторы пришли к результату, противоречащему физической сущности явления. Во втором параграфе седьмой главе уточняется решение И.Л. Бродского и В.М. Суднина для определения сил, действующих на судно при кошельковании. Установлено, что судно неподвижно относительно центра обменного пространства, если

$$F_1 = 2K_{90} \frac{rH}{\lambda} \frac{1}{\frac{\pi}{2} + \alpha + ctg\alpha} V_T^2 \cos\alpha \cos\delta, \quad (34)$$

где F_1 - боковая сила, действующая на судно; K_{90} - коэффициент ($K_{90} = C_x \frac{\rho}{2}$); r - радиус нижней подборы невода; λ - коэффициент силы сопротивления воды боковому движению судна; α - угол между стяжным тросом и горизонтальной осью; V_T - скорость выборки троса; δ - вертикальный угол подхода троса к судну.

При работе кошелькового невода происходит изменение внешних сил, действующих на верхнюю подбору, что зачастую приводит к ее подтоплению. На это явление в процессе кошелькования указывалось Н.Н. Андреевым. Для расчета необходимого для нормальной работы невода количества поплавков, в работе принято, что поплавки имеют форму цилиндра со сквозным осевым отверстием.

Верхняя часть поплавков должна быть расположена над свободной поверхностью жидкости на определенной высоте h (для предотвращения ухода рыбы и потери визуального контроля за верхней подборой). Получена зависимость относительной площади смоченной поверхности поплавок \bar{S}_c от относительной высоты поплавок над свободной поверхностью жидкости \bar{h} . При помощи прикладного пакета Mathcad методом линейной аппроксимации по произвольным функциям установлено, что

$$\bar{h} = 1,996\cos^2 \bar{S}_c + 7,747\sin^2 \bar{S}_c - 2,458(\bar{S}_c)^{0,85} + 6,412(\bar{S}_c)^2 - 7,8(\bar{S}_c)^3, \quad (35)$$

где $\bar{h} = h/R$, R - радиус поплавок; $\bar{S}_c = S_c/(\pi(R^2 - r^2))$; S_c - площадь смоченной поверхности торца поплавок; r - радиус отверстия в поплавке.

Условие нахождения поплавков на поверхности воды имеет вид:

$$H_c(R^2 - r^2) \cdot (S_c - p_n) = \left(1 + \Pi \frac{R_H \cdot q + py}{q + py}\right) \frac{q + py}{4\pi^2 \rho g \pi R_b^2}, \quad (36)$$

где ($\bar{H}_c = H_c/\Delta L_c$); H_c - суммарная длина поплавков для верхней подборы

секции; ΔL_c - длина секции; \bar{r} - относительный радиус отверстия поплавка ($\bar{r} = r / (2\pi R_B)$); $\bar{\rho}_n$ - относительная плотность материала поплавка ($\bar{\rho}_n = \rho_n / \rho$), ρ_n - плотность материала поплавков; Π - коэффициент ($\Pi = \frac{Y}{2\pi(R_H \cdot q + R_b \cdot py)}$).

Таким образом, полученные в работе решения позволяют проводить расчеты по механике комплекса, состоящего из кошелькового невода и промыслового судна, от начала погружения нижней подборы на глубину, определяемую высотой сетной стенки невода, до конца кошелькования. Общая последовательность проведения расчетов представлена на рис. 11.

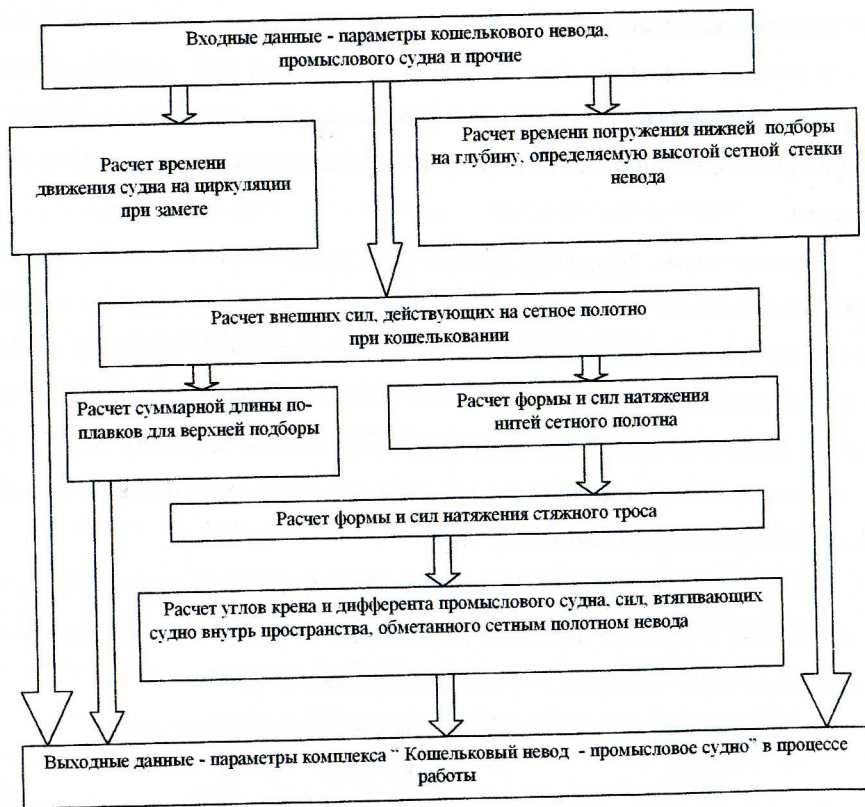


Рис. 11. Общая последовательность проведения расчетов по механике комплекса "Кошельковый невод - промысловое судно"

Входные данные можно условно разделить на четыре группы: характеристики сетного полотна, характеристики стяжного троса, характеристики промыслового судна, прочие характеристики. Одна часть входных данных является варьируемой, остальные относятся к неварьируемым (рис. 12).

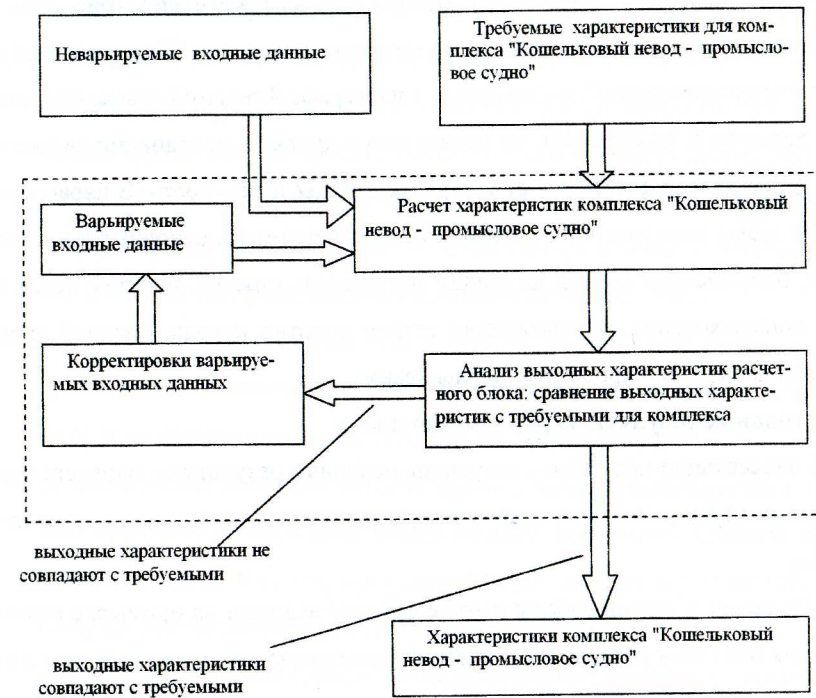


Рис. 12. Общая последовательность вариационных расчетов механики комплекса "Кошельковый невод - промысловое судно"

На стадии проектирования параметры кошелькового невода и промыслового судна определяются объектом лова - рыбой. Длина невода обуславливается размерами облавливаемого косяка, высота сетной стенки - глубиной погру-

жения косяка. Скорость промыслового судна выбирается исходя из скорости движения рыбы. Таким образом, можно выделить часть исходных данных, практически не подлежащих изменению на всех стадиях проектирования. Эта часть данных относится к неварьировемым (рис. 12). Остальные исходные данные проектировщик может изменять после анализа выходных данных расчетного блока комплекса "Кошельковый невод - промысловое судно" (рис. 12).

Алгоритм проведения расчетов по механике комплекса "Кошельковый невод - промысловое судно", изложенный в параграфе 4 седьмой главы, позволяет более детально и комплексно, по сравнению с другими методиками (в частности В.Д. Кулагина), вести расчеты, заранее задавая их точность. В параграфе 4 седьмой главы показана взаимосвязь и взаимозависимость основных расчетных блоков, описывающих невод на стадии погружения нижней подборы перед началом кошелькования, описывающих сетное полотно невода, стяжной трос и промысловое судно в процессе кошелькования.

Основные результаты работы и выводы

В диссертации получены следующие основные результаты, определяющие научную новизну работы, ее практическую ценность и являющиеся предметом защиты:

1. Из анализа этапов работы с кошельковым неводом на промысле выявлены те, для описания которых необходимы математические модели. К ним относятся:

- процесс погружения нижней подборы на глубину, определяемую высотой сетной стенки невода,
- процесс кошелькования.

2. Разработка математических моделей работы элементов комплекса на выделенных этапах сводится к математическому описанию движений:

- сетного полотна и нижней подборы с оснасткой при погружении нижней подборы на глубину, определяемую высотой сетной стенки невода,

- сетного полотна при кошельковании,
- стяжного троса при кошельковании,
- промыслового судна при кошельковании.

3. Моделирование работы элементов комплекса включает следующие основные положения:

- замет невода производится по окружности, радиус которой равен радиусу окружности, вдоль которой располагается верхняя подбора невода,
- процесс погружения нижней подборы на глубину, определяемую высотой сетной стенки невода, представляется как совокупность взаимосвязанных движений сетного жгута, нижней подборы с оснасткой, частей сетного полотна между верхней и нижней подборами и жгутом, с учетом тормозящего действия прилегающих неподвижных частей сети,
- неравномерность движения точек сетного полотна при кошельковании приводит к изменению посадочных коэффициентов по высоте сети с изменением внешних сил, действующих на сетное полотно,
- сетное полотно в каждый момент кошелькования располагается на боковой поверхности оболочки, образующейся вращением плоской кривой вокруг вертикальной оси, проходящей через центры окружностей, вдоль которых расположены верхняя и нижняя подборы,
- точки стяжного троса совершают неравномерное движение, стяжной трос в каждый момент кошелькования располагается вдоль плоской кривой от нижней подборы до точки соприкосновения с барабаном лебедки судна,
- промысловое судно под действием силы со стороны стяжного троса совершает крен, дифферент, движется поступательно внутрь пространства, обметанного неводом.

4. Реализация изложенного теоретического подхода связана с выполнением следующих исследований и решением перечисленных задач:

- решена задача о погружении нижней подборы на глубину, определяемую высотой сетной стенки невода,
 - усовершенствовано решение задачи о форме и силах натяжения нитей сетного полотна при кошельковании, что позволило учесть силы тяжести сетного полотна, силы лобового сопротивления сетного полотна при кошельковании, отклонение от вертикального положения сетного полотна на границе с нижней подборой и получить аналитические выражения не только для сил натяжений нитей, примыкающих к верхней подборе, но и для сил натяжений нитей в любом сечении по высоте сетного полотна,
 - решена задача о форме и силе натяжения стяжного троса,
 - усовершенствовано решение задачи расчета остойчивости судна, что позволило учесть величину и направление силы, действующей со стороны стяжного троса на судно, учесть силу тяжести стяжного троса в воздухе (для участка троса от свободной поверхности жидкости до точки схода стяжного троса с барабана лебедки промыслового судна),
 - усовершенствовано решение задачи определения сил, втягивающих судно внутрь пространства, обметанного неводом, что позволило более точно (как показано в работе) описать процессы при кошельковании.
 - получено выражение для скорости судна при движении на циркуляции,
 - усовершенствовано решение задачи определения числа поплавков для верхней подборы, что позволило учесть форму поплавков и величину возвышения верхней точки поплавок над свободной поверхностью воды.
5. Решения указанных задач составили единый математический комплекс, описывающий механику основных этапов работы кошелькового невода на промысле.

Теоретические исследования, выполненные в диссертации, позволили сделать следующие основные выводы:

1. Процесс погружения нижней подборы кошелькового невода описывается зависимостями (1), (2), связывающими скорость и время с глубиной погружения. Входящие в эти зависимости величины связаны с характеристиками невода выражениями (3) - (7).

2. Математические модели удельной силы тяжести в воде сетного полотна выражаются зависимостями (8), полной силы тяжести в воде сетного полотна - (9). При выполнении условия $U_{1в} \bar{r}_x = \frac{1}{\sqrt{2}}$ относительная сила тяжести в воде $1m^2$ сетного полотна, расположенного на окружности радиуса r_x минимальна и равна 2. В процессе кошелькования относительная площадь сети определяются по выражению (10), среднее значение коэффициента заглубляющей силы - (11). Во всех полученных решениях учитывается специфическая особенность сетного полотна кошелькового невода - изменение посадочных коэффициентов по высоте сети при кошельковании. Расчет сетных оболочек вращения, нагруженных симметрично относительно оси и, в частности, сетное полотно кошелькового невода, предлагается проводить адаптированными методами расчета сплошных оболочек вращения, нагруженных симметрично относительно оси.

3. Криволинейная образующая конусообразной сетной оболочки невода при кошельковании, определяется выражением (12), учитывающим силу тяжести сетного полотна, силу лобового сопротивления сетного полотна при кошельковании, отклонение от вертикального положения сетного полотна на границе с нижней подборой.

4. Зависимость сил натяжения в нитях сетного полотна от радиусов r_x окружностей, на которых расположены эти нити, описывается выражением (13).

5. При выполнении условий (14), описывающих зависимость коэффициентов посадки для ячеек сети от вертикальной координаты ряда, в котором она расположена, сетное полотно в форме равнобокой трапеции после посадки на подборы и съачеивания боковых сторон, располагается на поверхности прямого кругового конуса.

6. Толщина сетной оболочки определяется выражением (15); линейные деформации - (16), напряжения - (17), смещения точек поверхности (приращение радиуса r_x параллельного круга) - (18).

7. Для конусообразной сетной оболочки, находящейся под действием сил тяжести и гидродинамических сил, напряжения определяются выражениями (19), (20), перемещения - (21), (22).

8. В сферической сетной оболочке, подверженной действию сил тяжести и постоянного нормального давления, напряжения определяются выражениями (23), (24), смещения - (25), (26). При действии на оболочку только сил тяжести по меридианам всегда имеет место растяжение, возрастающее при увеличении угла φ , определяющего положение параллельного круга (угла между нормалью к поверхности и осью вращения). Для углов φ , превышающих 52° , сетное полотно не загружено и стремится принять форму жгута. Напряжения не зависят от структуры сети, а зависят от ее относительной плотности. Относительные смещения параллельного круга имеют минимум при $\varphi = \arccos(\sqrt{1+\nu} - 1)$, максимум - при $\varphi = 0$.

9. При действии на сферическую сетную оболочку постоянного нормального давления, нормальные силы и напряжения не зависят от угла φ . Относительное смещение параллельного круга изменяется по закону синуса.

10. Горизонтальная и вертикальная составляющие силы натяжения стяжного троса в точке пересечения свободной поверхности воды и стяжного троса описываются зависимостями (27), форма плоской кривой, вдоль которой располагается стяжной трос при кошельковании - (28).

11. Упругие прогибы, углы поворота, удельные изгибающие моменты, напряжения стяжного троса при кошельковании определяются по выражениям (29), при выборке - по выражениям (30).

12. Углы крена промыслового судна при кошельковании невода определяются выражениями (31), дифферента - выражениями (32).

13. Относительную скорость судна на циркуляции в зависимости от относительной длины судна целесообразно вычислять по выражениям (33). Оно получено путем решения уравнения К.К. Федяевского и более удобно для проведения расчетов и анализа.

14. Условия, при которых судно неподвижно относительно центра обменного пространства содержатся в выражении (34).

15. Взаимозависимость относительной площади смоченной поверхности торца поплавка и относительного возвышения верхней точки поплавка над свободной поверхностью жидкости определяются выражениями (35).

16. Связь относительных параметров поплавков с параметрами невода описывается выражениями (36). Полученные решения учитывают форму поплавков и величину возвышения верхней точки поплавка над свободной поверхностью воды.

17. Расчеты по механике комплекса "Кошельковый невод - промысловое судно" целесообразно проводить согласно алгоритму, изложенному в параграфе 4 главы 7, позволяющему более детально и комплексно, по сравнению с другими методиками, вести расчеты, заранее задавая их точность. Алгоритм охватывает все основные решения по механике системы "Кошельковый невод - промысловое судно" и объединяет их в единый расчетный комплекс. Он основан на том, что судно и кошельковый невод при работе на промысле составляют единое целое, их характеристики взаимосвязаны и взаимозависимы. Этот комплекс полностью отвечает определению механической системы. Исходные данные для расчета системы разделяются на неизменные и варьируемые. Неизменные остаются постоянными в процессе расчетов на всех стадиях проектирования, варьируемые - корректируются при расчетах. Алгоритм содержит три основных расчетных блока, соответствующих трем основным физическим объектам комплекса: блок расчета невода, блок расчета стяжного троса, блок рас-

чета промыслового судна. Элементы комплекса должны обеспечивать его успешную работу на всех этапах работы на промысле.

В комплексе содержатся взаимосвязанные и взаимозависимые основные расчетные блоки, описывающие невод на стадии погружения нижней подборы перед началом кошелькования, сетное полотно невода, стяжной трос и промысловое судно в процессе кошелькования. Разработанный алгоритм позволяет проводить расчеты на всех стадиях проектирования, включая предварительный выбор параметров комплекса, их анализ и выбор окончательных параметров комплекса.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

1. Великанов Н.Л. Вертикальная гидродинамическая сила, действующая на невод при кошельковании // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. тр. / Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1997. - С. 175 - 186.
2. Великанов Н.Л. Крен и дифферент сейнера при кошельковании // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. тр. / Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1997. - С. 114 -131.
3. Великанов Н.Л. Перегрузка невода при стягивании колец // Тез. докладов первой Международной НТК "Бесступенчатые передачи, приводы машин и промысловое оборудование", Калининград, 1-3 июля 1997 г. - Калининград, КГТУ, 1997. - С. 151.
4. Великанов Н.Л. Размеры и форма стяжного троса при стягивании колец // Тез. докладов первой Международной НТК "Бесступенчатые передачи, приводы машин и промысловое оборудование", Калининград, 1-3 июля 1997 г. - Калининград, КГТУ, 1997. - С. 153.
5. Великанов Н.Л. Расчет количества поплавков для кошелькового невода // Тез. докладов первой Международной НТК "Бесступенчатые передачи, при-

воды машин и промысловое оборудование", Калининград, 1-3 июля 1997 г. - Калининград, КГТУ, 1997. - С. 152.

6. Великанов Н.Л. Сила плавучести поплавков для верхней подборы кошелькового невода // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. тр. / Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1997. - С. 165 - 174.
7. Великанов Н.Л. Сила тяжести грузил для нижней подборы кошелькового невода // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. тр. / Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1997. - С. 89 - 95.
8. Великанов Н.Л. Форма, длина и натяжение стяжного троса и ваера // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. тр. / Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1997. - С. 96 - 112.
9. Великанов Н.Л. Взаимодействие судна и невода при кошельковании // Тез. докладов Международной НТК БАЛТТЕХМАШ-98 "Прогрессивные технологии и механизмы в машиностроении", Калининград, 13 - 15 мая 1998 г. - Калининград, КГТУ, 1998. - С. 122.
10. Великанов Н.Л. Внутренние усилия, прогибы стяжного троса и ваера // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. тр. / Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1998. - С. 251 - 265.
11. Великанов Н.Л. О натяжении стяжного троса кошелькового невода // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. тр. / Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1998. - С. 211 - 217.
12. Великанов Н.Л. Определение внутренних сил, моментов, прогибов стяжного троса и ваера // Тез. докладов Международной НТК БАЛТТЕХМАШ - 98 "Прогрессивные технологии и механизмы в машиностроении", Калининград, 13 - 15 мая 1998 г. - Калининград, КГТУ, 1998. - С. 121 - 122.
13. Великанов Н.Л. Остойчивость судна при кошельковании // Тез. докладов Международной НТК БАЛТТЕХМАШ-98 "Прогрессивные технологии и

механизмы в машиностроении“, Калининград, 13 - 15 мая 1998 г. - Калининград, КГТУ, 1998. - С. 123.

14. Великанов Н.Л. Погружение нижней подборы кошелькового невода на заданную глубину // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. тр. / Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1998. - С. 218 - 228.

15. Великанов Н.Л. Напряженно-деформированное состояние конической сетной оболочки // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. трудов / Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1999. - С. 285 - 310.

16. Великанов Н.Л. Напряженно-деформированное состояние сетной оболочки вращения, нагруженной симметрично относительно оси // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. трудов Калининградского государственного технического университета. - Калининград, 1999. - С. 257 - 265.

17. Великанов Н.Л. Напряженно-деформированное состояние сферической сетной оболочки // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. трудов / Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1999. - С. 266 - 284.

18. Великанов Н.Л. Определение напряжений и деформаций сетной оболочки вращения // Сб. тез. и докладов Международной НТК, посвященной 40-летию пребывания КГТУ на Калининградской земле и 85-летию высшего рыбохозяйственного образования в России, часть IV, Калининград, 17 - 19 ноября 1998 г. - Калининград, КГТУ, 1999. - С. 94 - 95.

19. Великанов Н.Л. Определение напряжений и деформаций сферической сетной оболочки // Сб. тез. и докладов Международной НТК, посвященной 40-летию пребывания КГТУ на Калининградской земле и 85-летию высшего рыбохозяйственного образования в России, часть IV, Калининград, 17 - 19 ноября 1998 г. - Калининград, КГТУ, 1999. - С. 93 - 94.

20. Великанов Н.Л. Форма и силы натяжения нитей сетного полотна кошелькового невода после замета // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. трудов // Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1999. - С. 93 - 123.

21. Великанов Н.Л. . Форма, силы натяжения стяжного троса и нитей сетного полотна невода при кошельковании // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. трудов // Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1999. - С. 124 - 151.

22. Великанов Н.Л. Актуальные вопросы кошелькового лова рыбы (обзор отдельных результатов) // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. трудов // Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 2000. - С. 167 - 181.

23. Великанов Н.Л. Сила натяжения нитей сетного полотна невода при кошельковании // Тез. докладов Международной НТК БАЛТТЕХМАШ-2000 “Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении“, том II. - Калининград, 5 - 9 июня 2000 г. - Калининград, КГТУ, 2000. - С. 81 - 82.

24. Великанов Н.Л. Коэффициент сопротивления поперечному обтеканию сетного полотна невода при кошельковании // Материалы международной НТК, посвященной 70-летию основания Калининградского государственного технического университета, часть IV, Калининград, 17 - 19 октября 2000 г. - Калининград, КГТУ, 2000. - С. 33 - 35.

25. Великанов Н.Л. Скорость выборки стяжного троса невода при кошельковании // Материалы международной НТК, посвященной 70-летию основания Калининградского государственного технического университета, часть IV, Калининград, 17 - 19 октября 2000 г. - Калининград, КГТУ, 2000. - С. 35 - 37.

26. Великанов Н.Л. Форма сетного полотна при кошельковании // Тез. докладов Международной НТК БАЛТТЕХМАШ-2000 “Прогрессивные техноло-

гии, машины и механизмы в машиностроении“, том II. - Калининград, 5 - 9 июня 2000 г. - Калининград, КГТУ, 2000. - С. 80 - 81.

27. Великанов Н.Л. Форма сетного полотна кошелькового невода после замета // Материалы международной НТК, посвященной 70-летию основания Калининградского государственного технического университета, часть IV, Калининград, 17 - 19 октября 2000 г. - Калининград, КГТУ, 2000. - С. 37 - 40.

28. Великанов Н.Л. Движение в воде элемента сетного полотна кошелькового невода после замета // Гидромеханика и водные ресурсы: Сб. науч. трудов // Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 2001. - С. 26 - 32.

29. Великанов Н.Л. Механика кошелькового лова рыбы. - Калининград: КГТУ, 2001. - 166 с.

30. Великанов Н.Л. Расчет скорости и времени погружения нижней подборы кошелькового невода после замета // Гидромеханика и водные ресурсы: Сб. науч. трудов // Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 2001. - С. 33 - 36.

31. Великанов Н.Л. Кошельковый невод после замета и при кошельковании // Рыбн. хоз - во, 2002. - №4. - С. 55 - 56.

32. Великанов Н.Л. Кручение труб, армированных проволочной сеткой регулярной структуры // Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении: Сб. науч. статей. - Калининград, 2002. - С. 41 - 42.

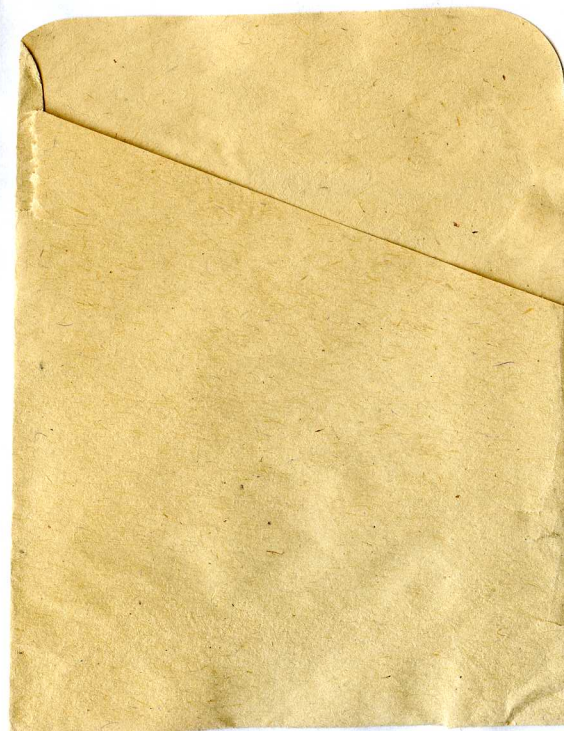
33. Великанов Н.Л. Сила сопротивления цилиндрической сетной полосы // Известия КГТУ. - Калининград, 2002. - № 1. - С. 58 - 63.

34. Великанов Н.Л. Скорость и время погружения нижней подборы кошелькового невода // Рыбн. хоз - во, 2002. - №5. - С. 53 - 54.

35. Алейников И.А., Великанов Н.Л. Прочность свободно опертых прямоугольных пластин // Транспортное строительство, 1999. - № 9. - С. 16 - 18.

36. Великанов Н.Л., Кулагин В.Д. О форме сетного полотна // Гидромеханика орудий лова: Сб. науч. трудов // Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 1999. - С. 71 - 83.

37. Великанов Н.Л., Проскурнин Е.Д. Аппроксимация зависимостей коэффициентов сопротивления шаров и цилиндров от чисел Рейнольдса // Гидромеханика и водные ресурсы: Сб. науч. трудов // Калининградский государственный технический университет. - Калининград, 2001. - С. 37 - 39.



2.2002 г.

зд. л. 2

04.

у

тский пр-т, 1