

КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
КОМИТЕТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО РЫБОЛОВСТВУ

На правах рукописи  
УДК 639.2.081.117

НЕДОСТУП Александр Алексеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА  
СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРАЛОВ

Специальность № 05.18.17 - Промышленное рыболовство

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Калининград  
2000.

Работа выполнена в Калининградском государственном техническом университете Комитета Российской Федерации по рыболовству

Научный руководитель доктор технических наук, профессор  
М. М. Розенштейн.

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор  
кафедры промышленного рыболовства  
Керченского морского технологического  
института В. П. Карпенко

кандидат технических наук, главный  
конструктор ЭКБ ОАО "МариНПО"  
В. А. Белов.


Ведущая организация ТОО "Фишеринг сервис".

Защита состоится "16" февраля 2000 г., в 15 часов на заседании диссертационного Совета Д. 117.05.01 в Калининградском государственном техническом университете по адресу: 236000, г. Калининград, ул. проф. Ф. И. Баранова, 43.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КГТУ.

Автореферат разослан "12" января 2000 г.

Учёный секретарь  
диссертационного  
совета, д. т. н., профессор

  
В. М. Минько

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации определяется острой практической потребностью проектировщиков и эксплуатационников в методике расчёта гидродинамического сопротивления канатно-сетной части как донных сетных, так и канатных разноглубинных тралов, обеспечивающей более высокую по сравнению с существующими методами точность результатов, учитывающей конструктивные особенности канатно-сетной оболочки и силы, создаваемые оснасткой трала.

Цель диссертационной работы заключается в совершенствовании метода расчёта гидродинамического коэффициента сопротивления канатно-сетной части трала, позволяющем определить его значение по известным конструктивным характеристикам траловой оболочки и силовым характеристикам её оснастки.

Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

- на основе анализа ранее выполненных исследований установить зависимость значения коэффициента сопротивления канатно-сетной части трала от характеристики её формы;
- определить связи между характеристикой формы канатно-сетной части трала и её геометрическими параметрами;
- определить связи между характеристикой формы канатно-сетной части трала и приложенными к ней силами оснастки;
- разработать метод расчёта коэффициента сопротивления канатно-сетной части трала, учитывающий установленные связи, и проверить его адекватность.

Научная новизна работы состоит в установлении ранее неизвестных зависимостей коэффициента сопротивления канатно-сетной части трала от относительной площади (сплошности) канатно-сетной оболочки, её



где  $C_x$  - коэффициент сопротивления, определяемый непосредственно по результату экспериментов или вычисляемый на основе экспериментальных данных;

$\rho$  - плотность воды;

$V$  - скорость буксировки трала;

$F$  - характерная площадь траловой оболочки (площадь ниток и канатов).

Определение значения коэффициента  $C_x$  для конкретных конструкций тралов и условий их движения и составляет существо проблемы расчёта сопротивления канатно-сетной части. Для её решения используются различные подходы (М. Tauti, Z. Ziembo, А. Л. Обвинцев, Т. Kawakami, А. И. Сучков, Т. Кояма, И. Г. Смыслов, В. Н. Войниканис-Мирский, Л. М. Анисимов, А. Н. Саморянов, В. Ф. Овчинников, В. Christensen, Л. В. Журавлёв, В. П. Карпенко, В. А. Белов, М. М. Розенштейн, В. П. Жуков, В. И. Лунин, А. С. Ревин, Зын Ван Ве, А. Л. Фонарёв, А. В. Дверник, Н. Stengel, S. Dudko), которые подробно проанализированы в диссертации.

Из этого анализа сделаны следующие выводы:

1. Существенным недостатком проанализированных методов расчёта сопротивления сетной части трала является то, что они в полной мере не учитывают факторы, влияющие на сопротивление трала, и могут быть применены лишь для тех конструкций тралов, которые исследовались авторами. Результаты экспериментальных работ носят весьма противоречивый характер. Попытка сравнить и проанализировать данные исследований по единой методике, предпринятая А. Л. Фридманом, показала, что результаты расчётов по эмпирическим формулам различных авторов отличаются в несколько раз. Проанализированные исследования выполнялись в различных физических условиях, в узких диапазонах рабочих скоростей потоков воды или воздуха, без учёта конструктивных

особенностей натуральных орудий лова и влияния их оснастки, в силу чего имеющимися расчётными зависимостями весьма сложно воспользоваться для расчёта конкретной конструкции трала.

2. Из приведённых данных следует, что для современных тралов  $C_x = f(F_o, \alpha)$ , где  $F_o$  - относительная площадь траловой оболочки (сплошность),  $\alpha$  - угол атаки меридиана траловой оболочки; значения  $F_o$  и  $\alpha$  рассчитываются как средние взвешенные по поверхности сетной части трала. Коэффициент сопротивления  $C_x$  сетной части трала на основе выполненных А. В. Дверником опытов определяется как

$$C_x = 0,04 \cdot \alpha_f - 0,09, \quad (2)$$

где  $\alpha_f = f(F_o)$ ,  $\alpha_f$  - среднее взвешенное фактическое значение угла атаки меридиана траловой оболочки.

3. Среднее взвешенное значение угла  $\alpha_f$  зависит от двух групп факторов. Первая группа, определяющая конструктивные особенности сетной части трала, включает характеристики, задающие форму сетной части при её постройке. К ним относятся посадочные коэффициенты, цикл кроя сетных пластин, число пластей, из которых изготовлена сетная часть. Оценку влияния этой группы факторов на значение  $C_x$  можно осуществить с помощью предложенного S. Dudko комплекса  $P$ :

$$P = \frac{I \cdot u_x^2}{2 \cdot \pi \cdot \left(C + \frac{1}{2}\right)}, \quad (3)$$

где  $I$  - количество пластей, образующих сетную конструкцию;

$C$  - средний взвешенный цикл кройки боковых кромок сетных пластин;

$u_x$  - средний взвешенный поперечный посадочный коэффициент.



Вторая группа факторов включает подъёмную силу оснастки верхней подборы трала  $Q$ , заглубляющую силу оснастки нижней подборы и грузов-углубителей  $P_z, P_g$  и распорные силы траловых досок  $R_{yd}$ , раскрывающих устье трала, а также сопротивление сетной части  $R_x$ , стягивающее устье.

На основе анализа существующих методов расчёта сопротивления канатно-сетной части трала сформулированы следующие задачи исследований автора диссертации:

1. Выяснить, на основе экспериментов возможность применения для современных рыболовных тралов зависимости (2), полученной А. В. Дверником для сетных усечённых конусов.

2. Выяснить, каким образом конструктивные характеристики канатно-сетной оболочки трала влияют на угол атаки  $\alpha_f$  её меридиана.

3. Выяснить, каким образом силовые характеристики трала (подъёмная сила оснастки верхней подборы, заглубляющие силы оснастки нижней подборы и грузов-углубителей и распорная сила траловых досок) влияют на угол атаки  $\alpha_f$ .

4. Разработать методику расчёта, позволяющую по чертежу трала и схемам его оснастки определить коэффициент сопротивления канатно-сетной части трала с достаточной для инженерных приложений точностью.

Вторая глава посвящена обоснованию метода расчёта коэффициента сопротивления сетной части трала. Здесь выдвинута гипотеза, заключающаяся в том, что угол атаки меридиана траловой оболочки есть функция геометрических характеристик, сплошности и силовых характеристик.

А. В. Дверник в своих исследованиях с траловыми оболочками в опытовом бассейне и Н. Stengel в экспериментах с моделями тралов в аэродинамической трубе установили отсутствие зависимости коэффи-

циента  $C_x$  от сплошности  $F_o$  для траловых сетей, расположенных под малым углом атаки к потоку.

Для установления зависимости угла атаки  $\alpha_f$  траловой сети от комплекса её геометрических характеристик  $P$  использовались результаты экспериментов с сетными конусообразными конструкциями, проведённые А. В. Дверником. В этих опытах осуществлялись непосредственные измерения углов атаки меридиана сетных конструкций, по данным которых рассчитывались значения среднего взвешенного угла атаки. Конусообразные конструкции изготавливались из траловых делей, неоднородных по диаметру ниток и шагу ячеек, и потому отличались значениями сплошности.

По диапазону средних взвешенных значений сплошности испытанные конструкции нами были разделены на группы с непостоянным шагом по  $F_o$ . Для этих групп экспериментальных данных  $\alpha_e$  и расчётных данных  $F_o, P$  нами устанавливалась зависимость значения угла  $\alpha_e$  от параметра  $P$ . Подбор эмпирической формулы осуществлялся методом наименьших квадратов. Были рассмотрены линейная, показательная и логарифмическая функции. Сравнивая значения абсолютной ошибки  $\delta$  для этих функций, мы пришли к выводу, что связь между значениями  $\alpha_e$  и  $P$  наилучшим образом отражает линейная зависимость:

$$\alpha_{er} = A + B \cdot P, \quad (4)$$

где  $\alpha_{er}$  - аппроксимированные значения углов;

$A$  и  $B$  - подобранные методом наименьших квадратов значения коэффициентов линейного уравнения.

На рис. 1 показаны линейные зависимости вида (4) и соответствующие экспериментальным данным.



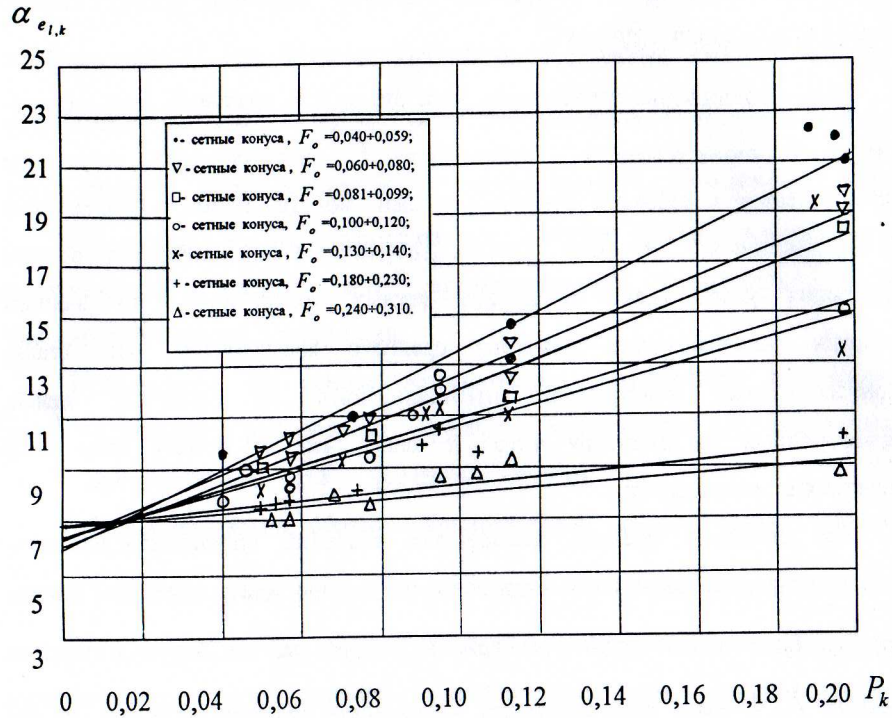


Рис. 1. График зависимости  $\alpha_e = f(F_o, P)$ .

Здесь индекс 1 при обозначении угла  $\alpha_e$  указывает порядковый номер группы испытанных сетных конструкций, ранжированных по значениям  $F_o$ , а индекс k при обозначении комплекса  $P$  - порядковый номер его величины в группе испытанных сетных конструкций.

Значение коэффициента корреляции между величинами  $\alpha_e$  и  $P$ , равно -1, что свидетельствует о наличии функциональной связи.

Очередная задача заключалась в аппроксимации приведённых на рис. 1 данных единой формулой, т. е. в получении явной зависимости  $\alpha_f = f(F_o, P)$ . Подбор параметров осуществлялся методом наименьших квадратов. Были рассмотрены показательная, тригонометрическая и

логарифмическая функции. Выбор одной из них осуществлялся по наименьшей относительной ошибки аппроксимации. В результате получена следующая формула:

$$\alpha_f = A + 110 \cdot e^{-6,74 \cdot F_o} \cdot (P - 0,02), \quad (5)$$

где второе слагаемое учитывает влияние конструктивных характеристик траловой оболочки на значение угла атаки, а первое (параметр  $A$ ) - подъёмной силы оснастки верхней подборы трала и распорной силы траловой доски.

Для сетных конусов значение параметра  $A$  задавалось диаметром обруча, на который посажена траловая сеть, и по данным экспериментов А. В. Дверника  $A = 7,4^\circ$ . Относительное отклонение расчётных значений углов атаки от среднего значения угла атаки (равное  $7,4^\circ$ ) не превышает 4%.

Максимальное относительное отклонение расчётных значений от экспериментальных для абсолютного большинства групп конструкций не превышает 5%.

В целом, на основании приведённых данных, следует сделать вывод о достаточно точном соответствии полученной эмпирической формулы для расчёта угла атаки траловой сети имеющимся экспериментальным данным с конусообразными сетными конструкциями. Доказанная адекватность формулы имеющимся экспериментальным данным с сетными конструкциями, выполненными из траловых делей, позволяет предположить возможность её использования для определения значений коэффициентов сопротивления тралов. Для этого в дальнейшем, в качестве рабочей гипотезы было принято, что зависимость коэффициента сопротивления  $C_x$  от угла атаки  $\alpha_f$  меридиана соответствует формуле (2).

Чтобы можно было применять формулу (5) для расчёта угла атаки  $\alpha_f$  меридиана донных сетных тралов, необходимо найти зависимость параметра  $A$  от действующих сил оснастки. Для того, чтобы придать искомой



конструктивных характеристик (посадочных коэффициентов, циклов кроя сетных пластин, числа пластей), сил оснастки верхней подборы, сил оснастки нижней подборы, заглубляющей силы грузов-углубителей и распорных сил траловых досок.

Практическая ценность и реализация результатов заключается в разработке метода и алгоритма расчёта коэффициента сопротивления донных сетных и разноглубинных канатных тралов по входным данным, содержащимся в их технической документации (чертёжах, схемах оснастки).

Работа является частью научно-исследовательской темы кафедры промышленного рыболовства Калининградского государственного технического университета. Разработанная в диссертации методика реализована в компьютерном программном комплексе "Расчёт сопротивления траловой системы и отдельных её элементов, возможной скорости траления", который нашёл применение в деятельности ряда отечественных и зарубежных проектных организаций, в том числе в "МариНПО", "Фишеринг сервис" (Россия), "MARINTEK" (Норвегия).

Апробация работы осуществлялась в виде докладов и сообщений на следующих конференциях и семинарах:

Бесступенчатые передачи, приводы машин и промышленное оборудование, Первая Международная научно-техническая конференция, КГТУ, Калининград, 1997; Расширенный семинар кафедры Промышленное рыболовство, Калининград, 1997; Международная научно-техническая конференция посвящённая 40-летию пребывания КГТУ на Калининградской земле и 85-летию высшего рыбохозяйственного образования в России, КГТУ, Калининград, 1999; Семинар кафедры Промышленное рыболовство, Калининград, 1998; International symposium on responsible fisheries and fishing techniques. - Insko, Poland - June 16-19, 1999.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 работ, из них 5 - в соавторстве с научным руководителем. Одна статья опубликована за рубежом.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и четырёх приложений. Основная часть работы содержит 165 страниц машинописного текста, 51 рисунок, 37 таблиц. Список использованных источников состоит из 97 названий.

#### Содержание работы

Во введении приведено обоснование актуальности и практической значимости темы диссертации, рассмотрено современное состояние проблемы, которой посвящена работа.

В первой главе приводится обзор и анализ существующих методов расчёта сопротивления канатно-сетной части трала. Вопросу изучения гидродинамического сопротивления сетей посвящено большое количество исследований, начало которым в нашей стране положил проф. Ф. И. Баранов в 1922 году. Его труды в области оценки сопротивления плоских и пространственных сетей развили и дополнили А. И. Зонов, Н. А. Андреев, Б.А. Попов, И.Г. Смыслов, А. Л. Фридман, А. Л. Фонарёв, А.И. Трещёв, Ю.А. Данилов, В.Н. Войниканис-Мирский, С. Б. Гюльбадамов, К. Л.Павлов, В. С. Калиновский, М. Tauti, Miuga, А.С. Ревин, А.И. Сучков, Г.Н. Степанов. Тематика выполненных работ охватывала исследования сопротивления плоских и пространственных образцов сетей при движении под различными углами к потоку, а также сетных конусов и цилиндров. Однако несмотря на значительные исследования в области сопротивления сетного полотна, изучению гидродинамического сопротивления рыболовных орудий, в частности тралов, посвящено мало работ.

Как и для любого тела, сопротивление канатно-сетной части трала  $R_x$  определяется по формуле:

$$R_x = c_x \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot F, \quad (1)$$



зависимости универсальный вид, указанные силы представим в безразмерном виде:

$$A = f(\tau, \xi),$$

где  $\tau = \frac{R_{yd}}{R_x}$  - безразмерная распорная сила траловой доски, определяемая

как отношение распорной силы доски  $R_{yd}$  к силе сопротивления сетной

части трала  $R_x$ ;  $\xi = \frac{Q}{R_x}$  - безразмерная подъёмная сила оснастки верхней

подбор трала, определяемая как отношение подъёмной силы  $Q$ , создаваемой оснасткой, к силе сопротивления сетной части трала  $R_x$ . Для получения

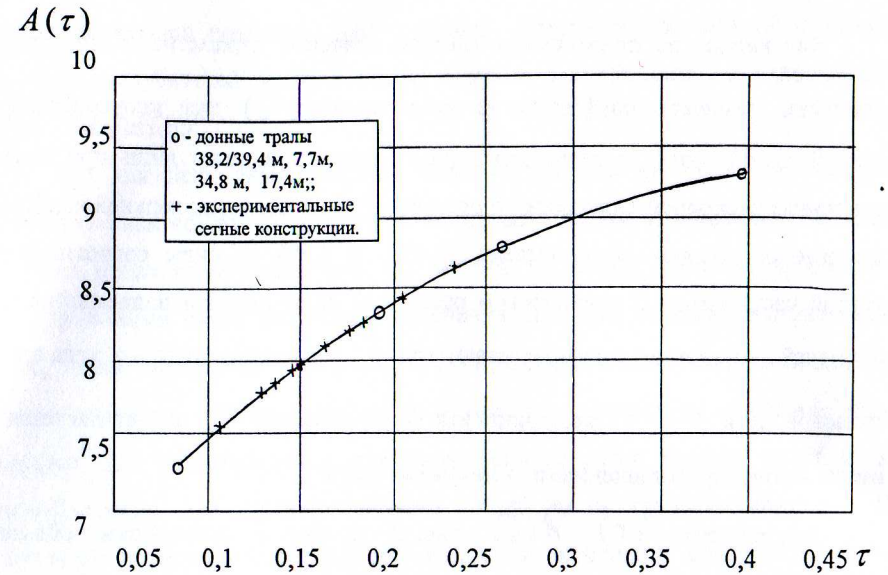
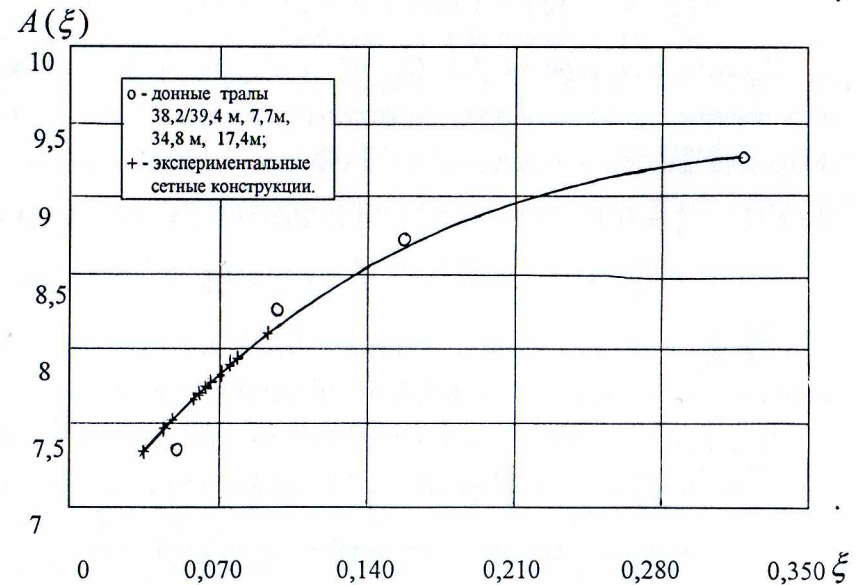
зависимости  $\alpha_f = f(\tau, \xi, F_o, P)$  в явном виде были проанализированы данные морских испытаний донных тралов 38,2/39,4 м.; 17,7 м.; 34,8 м. и 17,4 м., проведённых кафедрой промышленного рыболовства КГТУ в 1963 - 1969 гг. Результаты анализа приведены в табл. 1.

По данным табл. 1 построены графические зависимости  $A(\tau)$  и  $A(\xi)$ , которые приведены соответственно на рис. 2 и рис. 3, где пунктирной линией показано значение параметра  $A$  для конусообразной сетной конструкции.

Таблица 1

Значения геометрических и силовых характеристик донных тралов

№ п/п	Наименование трала	$F_o$	$P \times 10^{-4}$	$c_x$	$A$ , град	$\tau$	$\xi$	$\frac{\tau}{\xi}$
1	38,2/39,4 м.	0,162	170	0,21	7,4	0,084	0,043	1,95
2	17,7 м.	0,157	8,0	0,22	8,4	0,190	0,082	2,30
3	34,8 м.	0,357	9,8	0,26	8,9	0,257	0,156	1,64
4	17,4 м.	0,318	7,7	0,27	9,3	0,401	0,326	1,23

Рис. 2. График зависимости  $A(\tau)$ .Рис. 3. График зависимости  $A(\xi)$ .



Как видно из приведённых данных, значения параметра  $A$  (и, следовательно, значения коэффициента сопротивления  $C_x$ ) для конусообразной сетной конструкции и реального донного трала совпадают лишь при малых величинах распорной силы доски и подъёмной силы оснастки верхней подборы, которые составляют соответственно 8,4% и 4,3% от силы сопротивления сетной части трала. С увеличением распорной силы доски и подъёмной силы куктылей возрастает значение параметра  $A$ , а, следовательно, - и угла атаки траловой сети  $\alpha_f$  и коэффициента сопротивления  $C_x$ , что согласуется с имеющимися представлениями о механике трала.

Зависимости  $A(\tau)$ ,  $A(\xi)$  рис. 2 и рис. 3 наилучшим образом аппроксимируются выражениями:

$$A(\tau) = e^{1,861 + 1,863 \cdot \tau - 2,345 \cdot (\tau)^2} \quad (6)$$

$$A(\xi) = 7,027 + 15,696 \cdot \xi - 26,16 \cdot (\xi)^2 \quad (7)$$

Эмпирические формулы (2), (5), (6) и (7) для расчёта коэффициента сопротивления сетной части трала справедливы для донных сетных тралов в следующем диапазоне геометрических и силовых их характеристик:

$$Re \geq 10^3; F_o = 0,05 \div 0,36; P = (7,7 \div 2120) \cdot 10^{-4}; \tau = 0,084 \div 0,4;$$

$$\xi = (4,3 \div 32,6) \cdot 10^{-2}; \frac{\tau}{\xi} = 1,23 \div 2,3; \alpha \leq 15^\circ$$

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям коэффициента сопротивления канатно-сетной части разноглубинного трала.

В результате оценки целесообразной точности расчёта гидродинамического коэффициента сопротивления траловой оболочки, был сделан вывод, что ошибка в расчёте  $C_x$  не должна превышать 13,2%.

Для установления зависимости  $C_x$  от геометрических характеристик рыболовного трала, распорной силы траловой доски, подъёмной силы

оснастки верхней подборы, заглубляющей силы оснастки нижней подборы и грузов-углубителей нами были проведены эксперименты в гидроканале ОАО "МариНПО".

Так как цель экспериментов была направлена на изучение сопротивления канатно-сетных тралов, то и строить сетные конструкции (модели тралов) необходимо было так, чтобы они по своим параметрам обеспечивали полный охват диапазона изменения среднего взвешенного значения угла атаки меридиана натуральных орудий. Сетные конструкции оснащались таким образом, чтобы обеспечить в широком диапазоне изменение распорных сил траловых досок, подъёмных сил оснастки верхней подборы и заглубляющих сил оснастки нижней подборы и грузов-углубителей. В результате в экспериментах удалось обеспечить изменение среднего взвешенного значения угла атаки  $\alpha_f$  меридиана сетных оболочек в диапазоне от  $5,5^\circ$  до  $12^\circ$ , который полностью перекрывает значения угла атаки  $\alpha_f$  для существующих конструкций донных и разноглубинных тралов.

При планировании эксперимента было принято, что зависимость  $C_x = f(\alpha_f)$  определяется формулой (2). Среднее взвешенное значение угла атаки меридиана канатно-сетной части современных тралов находится в пределах  $5^\circ \div 9^\circ$ . Зависимость  $C_x = f(\alpha_f)$  была разбита, начиная с  $5^\circ$  до  $12^\circ$ , на пять одинаковых отрезков, каждый отрезок - полтора ( $1,5^\circ$ ) градуса. Для проведения экспериментов в рамках каждого отрезка использовалась соответствующая сетная конструкция.

Объектами исследований являлись сетные конструкции, которые представляют собой аналоги разноглубинных тралов, испытанные "МариНПО" и эксплуатируемые рыболовным флотом по настоящий день.

Сетные конструкции включали в себя крылья, мотённую часть и куток. Они отличались линейными размерами, ассортиментом делей (т. е.



диаметром нити  $d$ , шагом ячеек  $a$ ), посадочными коэффициентами  $u_x, u_y$ , формой и размерами канатной части, числом и размерами сетных пластей, циклами кройки сетных пластей, а также размерами мешка.

Диапазоны геометрических характеристик экспериментальных сетных конструкций:  $F_o = 0,066 \div 0,282$ ;  $P = (6,96 \div 391,5) \cdot 10^{-4}$ .

Габариты сетных конструкций были выбраны исходя из технических возможностей экспериментальной установки, т. е. рабочего участка гидроканала ( $14 \times 3 \times 2,5 \text{ м}^3$ ).

Непосредственно перед началом работы в гидроканале сетные конструкции тщательно проверялись, измерительная аппаратура градуировалась. Сетные конструкции испытывались в два этапа: с траловыми досками и без траловых досок.

Двухэтапность экспериментов обусловлена недостаточным количеством тензодатчиков для одновременного измерения усилий в ваерах и кабелях моделей. Поэтому на первом этапе измерялось горизонтальное раскрытие между траловыми досками, а на втором этапе эксперименты проводились с установленными значениями горизонтального раскрытия между траловыми досками.

С целью обеспечения единства измерений к условиям их проведения были предъявлены жёсткие требования, соответствующие единым, так называемым, нормальным условиям.

Сетная конструкция, оснащённая куктылями, траловыми досками, грузкой нижней подборы, грузами-углубителями, кабелями и ваерами, устанавливалась в гидроканале. К ваерам крепился динамометр на 10 кгс, который находился выше уровня воды. Включение потока воды сопровождалось визуальным наблюдением за тем, чтобы не было перехлёстов, запутывания, обрывов сетной конструкции. Когда поток устанавливался, снимались показания усилий в ваерах, углы наклона ваера,

кабелей в вертикальной и горизонтальной плоскостях, горизонтальное раскрытие между траловыми досками, горизонтальное и вертикальное расстояния между голыми концами и подборами. На втором этапе кабели крепились к раздвижным ножам, расстояние между которыми было определено после первого этапа. Тензодатчик ДК-300 непосредственно крепился к кабелю и раздвижному ножу, после измерения натяжения кабеля тензодатчик крепился к другому кабелю и т. д. Когда скорость потока соответствовала значению скорости на первом этапе, снимались показания сил натяжения верхних и нижних кабелей, углов наклона кабелей в вертикальной и горизонтальной плоскостях, горизонтального и вертикального расстояния между голыми концами и подборами, скорости потока воды.

Эксперименты показали, что разница в определении угла атаки  $\alpha_f$  между донными и разноглубинными тралами должна состоять в том, что при расчёте значений  $\alpha_f$  разноглубинных тралов необходимо учитывать существенно влияющие на этот угол, помимо прочего, силы загрузки нижней подборы и веса грузов-углубителей. Эти силы в безразмерном виде обозначались как

$$\chi = \frac{2 \cdot P_g + P_z}{R_x}, \quad (8)$$

Измеренные и расчётные силовые характеристики приведены в табл. 2.

Среднее значение ошибки измерения гидродинамического коэффициента сопротивления по всем проведённым экспериментам составляет 11,5 %, что меньше установленного выше предельного значения ошибки.

В ходе экспериментов были исследованы силовые характеристики сетных конструкций в диапазонах, (см. табл. 2):

$$\tau = 0,096 \div 0,231; \quad \xi = (2,8 \div 7,97) \cdot 10^{-2}; \quad \chi = 0,144 \div 0,297; \quad \frac{\tau}{\chi} = 0,438 \div 1,25$$



Силловые характеристики экспериментальных  
сетных конструкций

Сетная конструкция, №	$\nu$ , м/с	$R_x$ , Н	$R_{yd}$ , Н	$Q$ , Н	$\tau$	$\xi$ $\times 10^{-2}$	$\psi$	$\zeta$ $\times 10^{-2}$	$\chi$	$\frac{\tau}{\chi}$	$c_x$
1	1,207	55,82	9,5	3,64	0,17	6,5	0,147	2,3	0,17	0,999	0,188
	1,200	56,43	8,23	3,53	0,145	6,2	0,271	2,3	0,294	0,493	0,194
	1,100	52,52	8,23	3,64	0,157	6,9	0,156	2,5	0,181	0,867	0,211
	1,200	55,78	7,68	1,57	0,137	2,8	0,274	2,3	0,297	0,461	0,191
2	1,200	52,45	9,86	4,03	0,187	7,7	0,292	2,5	0,317	0,589	0,153
	1,200	51,14	8,71	4,08	0,17	7,97	0,132	2,5	0,157	1,083	0,148
	1,200	44,78	8,07	2,33	0,18	5,2	0,114	3,0	0,144	1,250	0,131
3	1,200	73,28	8,46	4,28	0,115	5,8	0,209	1,8	0,227	0,506	0,333
4	1,200	75,62	7,26	4,47	0,096	5,9	0,202	1,7	0,219	0,438	0,38
5	1,200	47,46	5,57	2,3	0,117	4,8	0,215	2,8	0,243	0,482	0,252
	1,200	45,39	8,83	2,3	0,195	5,1	0,187	2,9	0,216	0,903	0,241
	1,200	50,22	10,5	2,3	0,231	4,6	0,169	2,6	0,195	1,184	0,227

Таким образом, диапазоны средневзвешенных значений геометрических характеристик  $F_o, P$  сетных конструкций попадают в диапазоны  $F_o, P$  разноглубинных и донных тралов, а диапазоны силовых характеристик сетных конструкций  $\tau, \xi, \chi, \eta$  перекрывают диапазоны этих характеристик разноглубинных и донных тралов.

Четвёртая глава посвящена определению зависимости среднего взвешенного значения угла атаки меридиана траловой оболочки от величины подъёмной силы оснастки верхней подборы, величины силы загрузки нижней подборы, величины заглубляющей силы грузов-углубителей и распорной силы траловой доски. Было установлено, что параметр  $A$  находился как:

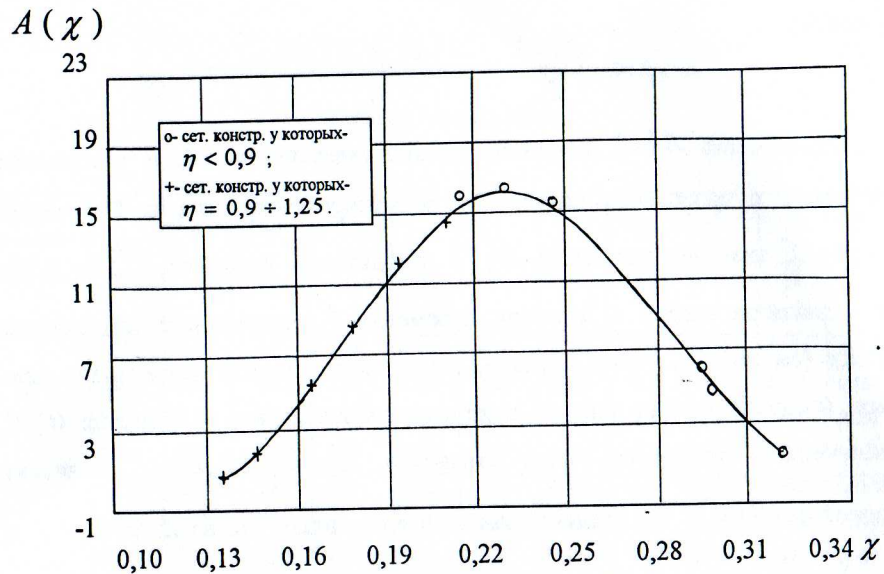
$$A = \frac{A(\tau)}{2} + \frac{A(\xi) + A(\chi)}{4}, \quad (9)$$

Зависимость  $A(\tau)$  аппроксимирована выражением (6), и изображена на рис. 2 с нанесением полученных в экспериментах данных. Как видно из рис. 2, значение параметра  $A(\tau)$  находится в диапазоне (7,52 ÷ 8,72), этот диапазон входит в диапазон параметра  $A$ , полученного для донных тралов (см. рис. 2). Таким образом, имеет место полное соответствие данных, изображённых на рис. 2, и данных рассчитанных по формуле (6). С увеличением распорной силы траловой доски возрастает значение параметра  $A(\tau)$ , а, следовательно, - и угла атаки траловой сети  $\alpha_f$  и коэффициента  $c_x$ .

Зависимость  $A(\xi)$  аппроксимирована выражением (7), изображена на рис. 3, где также приведены полученные в экспериментах данные. Как видно из рис. 3 значение параметра  $A(\xi)$  находится в диапазоне (7,45 ÷ 8,12), этот диапазон входит в диапазон параметра  $A$ , полученного для донных тралов (см. рис. 3). Аналогично предыдущему случаю, имеет место полное соответствие данных изображённых на рис. 3 и данных рассчитанных по формуле (7). С увеличением подъёмной силы оснастки верхней подборы возрастает значение параметра  $A(\xi)$ , а, следовательно, - и угла атаки траловой сети  $\alpha_f$  и коэффициента  $c_x$ .

Зависимость  $A(\chi)$ , полученная в результате выполненных экспериментов, изображена на рис. 4. Из рис. 4 видно, что величина параметра  $A(\chi)$  может быть одинаковой при разных значениях безразмерной заглубляющей силы  $\chi$ .



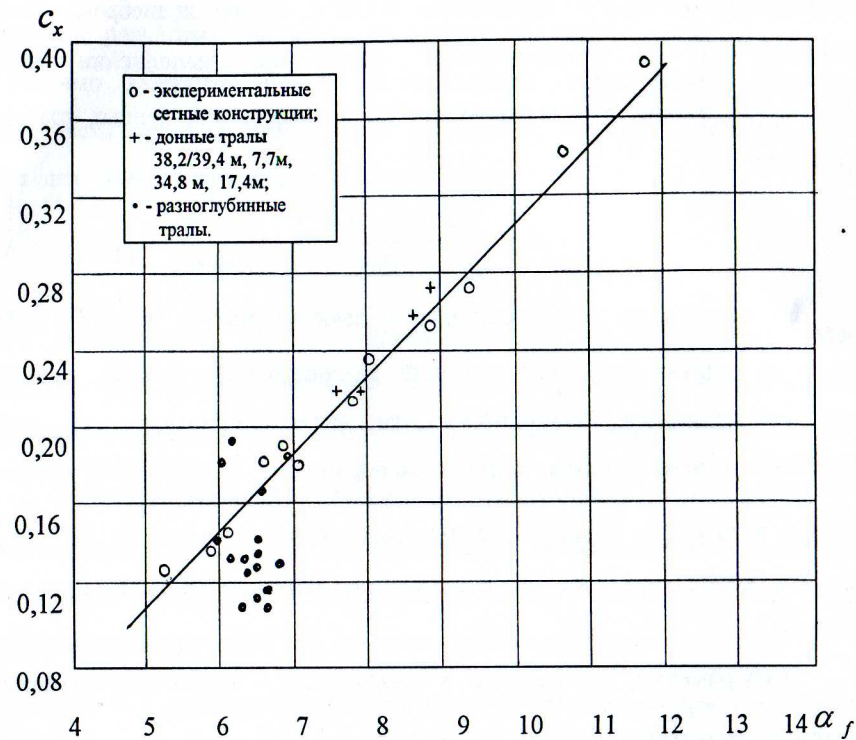
Рис. 4. График зависимости  $A(\chi)$ .

Величина  $A(\chi)$ , помимо значения  $\chi$ , зависит от соотношения безразмерных сил  $\eta = \frac{\tau}{\chi}$ . Точки, расположенные на правой ветви кривой графика соответствуют условию  $\eta < 0,9$ , а точки расположенные на левой ветви кривой условию  $\eta = 0,9 \div 1,25$ .

Аппроксимация зависимости  $A(\chi)$  осуществлялась по нескольким функциям: линейная (были взяты отдельно правая и левая ветви зависимости  $A(\chi)$ ), тригонометрической, нормального распределения и параболической, так как они отвечают данным рис. 4. Минимальная погрешность (9,2 %) при определении параметра  $A(\chi)$ , с учётом  $\eta \leq 1,25$ , имеет место при использовании тригонометрической зависимости:

$$A(\chi) = 25 \cdot \sin^2(8,73 \cdot \chi) \cdot \cos^2(11,93 \cdot \chi) - 0,6. \quad (10)$$

На основании выполненных экспериментов получена зависимость  $c_x = f(\alpha_f)$ , изображённая на рис. 5.

Рис. 5. График зависимости  $c_x = f(\alpha_f)$ .

Как видно из рис. 5, экспериментальные данные хорошо соответствуют эмпирической зависимости (2). Максимальная ошибка в определении коэффициента  $c_x$  по формуле (2) при вероятности 0,9 составляет  $\delta = 5,6\%$ , что свидетельствует о высокой точности аппроксимации экспериментальных данных этой формулой. Запланированный диапазон по углу атаки  $\alpha_f$  исследован полностью.

Соответствующими расчётами нами установлено, что при условии  $\eta > 1,25$  влияние заглубляющей силы  $\chi$  на угол атаки траловой сети

$\alpha_f$  не значительно (при увеличении скорости течения влияние  $\chi$  на  $\alpha_f$  уменьшается, т. к. нагрузка разноглубинных тралов гидростатическая). Поэтому при  $\eta > 1,25$  параметром  $A(\chi)$  можно пренебречь. Отсюда следует, что для разноглубинных тралов при выполнении условия  $\eta > 1,25$ , параметр  $A$  определяется так же как и для донных тралов по формуле:

$$A = \frac{A(\tau) + A(\xi)}{2} \quad (11)$$

На полученную экспериментальную зависимость  $c_x = f(\alpha_f)$  были нанесены динные морских испытаний разноглубинных тралов, выполненных специалистами "МариНПО". Эти данные приведены на рис. 5. Учитывая низкую точность морских экспериментов (проводилось измерение усилий в ваерах и по их значениям рассчитывалась величина  $c_x$ ), можно сделать вывод, что они не противоречат полученным в экспериментах данным.

Эксперименты, проводимые в гидроканале, обеспечили следующий диапазон изменения значения  $\alpha_f = 5,52^\circ \div 11,75^\circ$ .

Диапазоны характеристик разноглубинных и донных тралов следующие:

$$F_o = 0,011 \div 0,36; P = (0,43 \div 170) \cdot 10^{-4}; \alpha_f = 6,1^\circ \div 8,8^\circ$$

$$\tau = 0,084 \div 0,401; \xi = (3,1 \div 32,6) \cdot 10^{-2}; \chi = 0,07 \div 0,169; \frac{\tau}{\xi} = 0,73 \div 2,58.$$

Таким образом, несмотря на то что, полученные формулы соответствуют более узким диапазонам геометрических и силовых характеристик чем у донных и разноглубинных тралов, они полностью охватывают диапазон средних взвешенных значений углов атаки их меридианов.

Пятая глава посвящена разработке метода и алгоритма расчёта коэффициента сопротивления канатно-сетной части трала. Разработанный метод может быть представлен в виде алгоритма, предусматривающего выполнение расчётных операций, показанных на рис. 6.

Помимо алгоритма расчёта коэффициента сопротивления канатно-сетной части трала в пятой главе в качестве примера выполнен этот расчёт для конкретного разноглубинного трала.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Поставленная задача, заключающаяся в установлении возможности применения формулы (2) для расчёта коэффициента сопротивления современных канатно-сетных тралов в целом выполнена.

2. Экспериментами установлено, что на величину угла атаки  $\alpha_f$  канатно-сетной части влияют конструктивные особенности канатно-сетной части трала (посадочные коэффициенты, число пластей, циклы края пластей). Охарактеризовать это влияние можно следующим образом:

- угла атаки  $\alpha_f$  канатно-сетной части трала увеличивается при увеличении значения посадочного коэффициента по горизонтали  $u_x$  и числа пластей  $I$  сетной части по периметру трала;

- увеличение значения цикла края сетных пластей  $C$  (увеличение количества ячеек скроенных по прямой) ведёт за собой уменьшение угла атаки  $\alpha_f$ ;

Совместное влияние конструктивных особенностей канатно-сетной части трала на угол атаки  $\alpha_f$  характеризуется значением комплекса  $P$ , определённого зависимостью (3). Увеличение значения комплекса  $P$  ведёт за собой увеличение угла атаки  $\alpha_f$  канатно-сетной части трала.



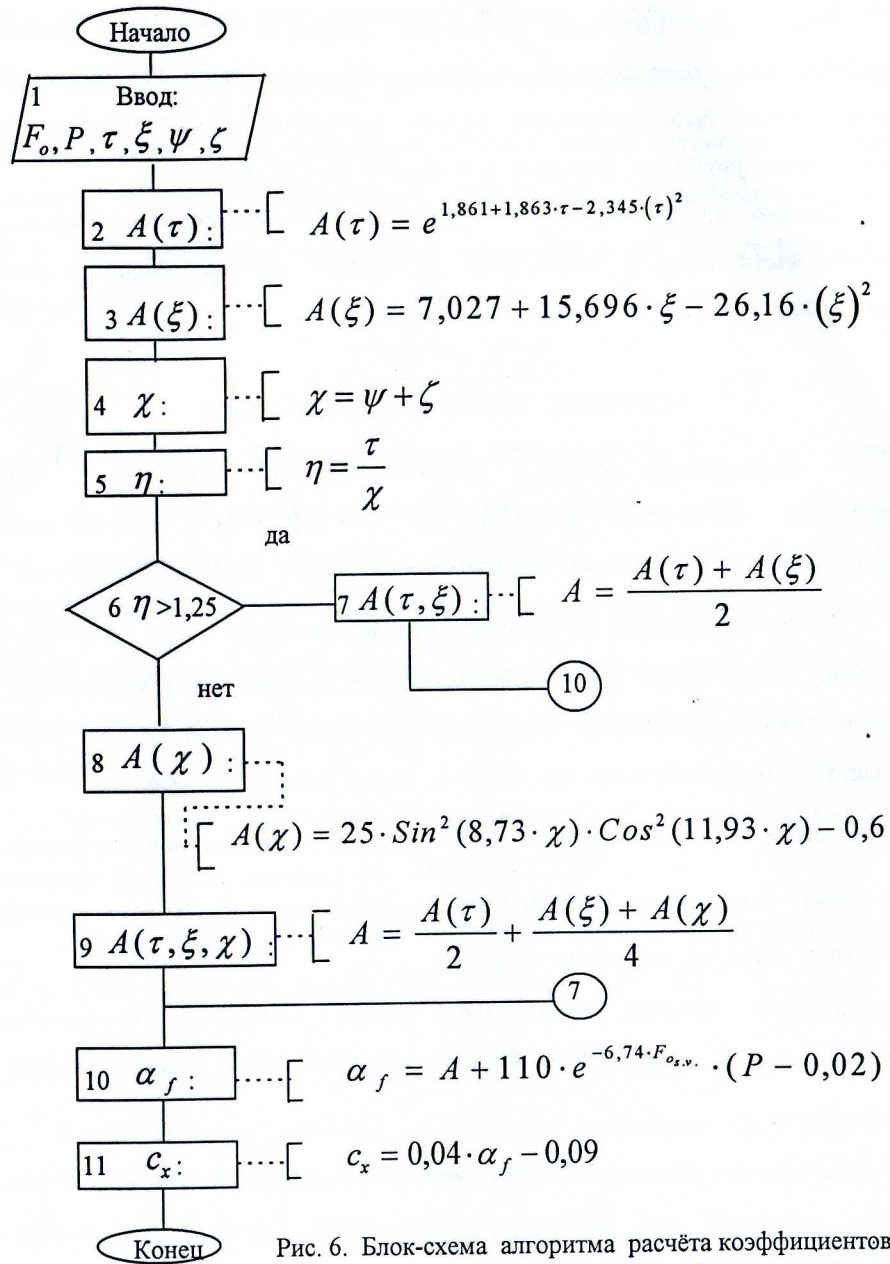


Рис. 6. Блок-схема алгоритма расчёта коэффициентов сопротивления канатно-сетной части донных и разноглубинных тралов.

3. Экспериментами установлено, что на величину угла атаки  $\alpha_f$  канатно-сетной части трала влияют силовые характеристики тралового комплекса (силы оснастки подбор трала, заглубляющая сила грузов-углубителей и распорная сила траловых досок). Влияние сил характеризуется следующим:

- увеличение подъёмной силы оснастки верхней подборы ведёт за собой увеличение коэффициента сопротивления трала, но когда происходит изменение формы устья трала (из круговой в эллиптическую) - уменьшение коэффициента сопротивления. Это связано с уменьшением площади устья трала;
- аналогично изменяется коэффициент сопротивления с увеличением заглубляющей силы оснастки нижней подборы и грузов-углубителей;
- при увеличении распорной силы траловых досок значение коэффициента сопротивления канатно-сетной части трала также увеличивается. Когда форма устья трала переходит из круговой в эллиптическую происходит уменьшение коэффициента сопротивления.

4. Получена эмпирическая формула (5) для расчёта среднего взвешенного значения угла атаки  $\alpha_f$  меридиана канатно-сетной оболочки трала в зависимости от геометрических (сплошность  $F_0$  и комплекс  $P$ ) и силовых (безразмерной распорной силы траловой доски  $\tau$ , безразмерной подъёмной силы оснастки верхней подборы  $\xi$  и безразмерной заглубляющей силы оснастки нижней подборы и грузов-углубителей  $\chi$ ) характеристик орудия.

5. Предпринятая оценка точности проведённых экспериментов дала вполне удовлетворительный результат: ошибка не превышает - 11,5%. В свою очередь предельная погрешность расчёта должна составлять 13,2%. Оценка точности зависимости (5) не выходит за рамки точности проведённых экспериментов. Отклонение экспериментальных данных от прямой, определённой формулой (2), составляет 5,6%.



6. В проведённых экспериментах полностью охвачен диапазон средних взвешенных значений углов атаки меридиана траловой оболочки, соответствующий применяемым в настоящее время на практике канатно-сетным тралам.

7. Разработана методика расчёта, позволяющая по чертежу трала и схем его оснастки определить коэффициент сопротивления канатно-сетной части трала с достаточной для инженерных приложений точностью.

8. Методика расчёта коэффициента сопротивления канатно-сетной части трала программно реализована и передана для использования в отечественные и зарубежные проектные организации "МариНПО", "Фишеринг сервис", "MARINTEK".

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Розенштейн М. М., Недоступ А. А. Обоснование метода расчёта коэффициента сопротивления сетной части трала // Бесступенчатые передачи, приводы машин и промышленное оборудование / Сборник тезисов докладов первой международной научно-технической конференции. - Калининград, 1997. - 156 с.

2. Розенштейн М. М., Недоступ А. А. Метод расчёта коэффициента сопротивления сетной части // Рыбное хозяйство. - 1997. - № 4. - С. 47-48.

3. Розенштейн М. М., Недоступ А. А. Методы расчёта сил сопротивления канатно-сетной части трала // Рыбное хозяйство. - Серия "Промышленное рыболовство": Обзорная информация ВНИЭРХ. - М., 1998. - Вып. 2. - С. 1-23.

4. Розенштейн М. М., Недоступ А. А. Обоснование метода расчёта коэффициента сопротивления канатно-сетной части трала // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции посвящённой 40-летию пребывания КГТУ на Калининградской земле и 85-

летию высшего рыбохозяйственного образования в России, часть 1, КГТУ, - Калининград, 1999. - С. 71-72.

5. Недоступ А. А. Экспериментальное исследование зависимости коэффициента сопротивления разноглубинных тралов от сил их оснастки // Гидромеханика орудий лова: Сборник научных трудов / КГТУ. - Калининград, 1999.

6. Rozenstein M. M. Nedostup A. A. Investigation of hydro-mechanical characteristic of rope-and-net part of trawl // Report on international symposium on responsible fisheries and fishing techniques. - Insko, Poland - June 16-19, 1999.

Подписано в печать 27. 12. 99 г.

Формат бумаги 60 x 84 (1/16)

Объём 1,68 п. л.

Тираж 90 экз.

Заказ № 1198.