

3. Яковлев Ю.М., Осипов Е.В., **Бородин П.А.** Состояние и возможности промысла ропилемы в зал. Петра Великого // *Материалы науч.-практ. конф. "Приморье – край рыбацкий"*. Владивосток: ТИНРО–Центр, 2002. С. 65–69.
4. **Бородин П.А.**, Осипов Е.В. Устройство для лова медузы: Свидетельство на полезную модель № 26368. М., 2002.
5. Габрюк В.И., **Бородин П.А.** Определение проектных характеристик тралов и их элементов // Тез. докл. 4-й Междунар. науч.-практ. конф. «НАУКА–ТЕХНИКА–ТЕХНОЛОГИИ». Находка, 2002. С. 8.
6. **Бородин П.А.**, Осипов Е.В. Методика определения параметров мешка трала для лова *Rhopilema esculentum* // *Рыбохозяйственные исследования Мирового океана*: Тр. 2-й междунар. науч. конф. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2002. Т. 1. С. 5–7.
7. **Бородин П.А.**, Осипов Е.В. Физико-механические характеристики медузы *Rhopilema esculentum* // Тр. ДВГТУ. 2003. Вып. 113. С. 85–87.
8. **Бородин П.А.**, Осипов Е.В., Яковлев Ю.М. Пути проникновения и распределения медузы *Rhopilema esculentum* в зал. Петра Великого // *Изв. ТИНРО*. 2003. Т. 133. С. 236–239.
9. **Borodin P.A.**, Osipov E.V. New Technologies and catch equipment for medusas' fishery // *International conference "Marine environment: Nature, Communication and Business"*. Korea maritime University, 2003. P. 3–4.

Б-КК

На правах рукописи


УДК 639.2.081.117

**Бородин Павел Андреевич**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЫБОЛОВНЫХ СИСТЕМ  
ДЛЯ ПРОМЫСЛА МЕДУЗЫ *Rhopilema esculentum***

05.18.17 – Промышленное рыболовство

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Владивосток 2004

Работа выполнена в Дальневосточном государственном техническом рыбохозяйственном университете

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
Осипов Е.В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Друзь Б.И.

кандидат технических наук  
Бойцов А.Н.

Ведущая организация: ФГУП «ТИНРО-Центр»

Защита диссертации состоится "9" июля 2004 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета в Дальневосточном государственном техническом рыбохозяйственном университете по адресу: 690950, г. Владивосток, ул. Луговая, 52, корпус "Б".

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного технического рыбохозяйственного университета.

Автореферат разослан "02" июля 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** В связи с уменьшением запасов основных промысловых объектов в традиционных районах промысла актуальным становится освоение нетрадиционных объектов промысла, к которым относится медуза.

Медузы в России до последнего времени не добывали и не исследовали как потенциальный продукт питания. А в странах Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) медуза с древних времен входит в рацион питания. Только Япония ежегодно импортирует полусухую медузу в объёме 8400–10000 т на сумму около 25,5 млн дол. США. В водах России с 1999 г. начат промысел медузы ропилемы (*Rhopilema esculentum*), которая является самым добываемым, деликатесным и дорогим объектом среди 12 съедобных видов медуз мира. При этом прямой перенос в Приморье технологий промысла медузы, используемых в странах АТР, не дал ощутимого результата.

**Цель работы:** Разработка методики моделирования рыболовных систем для промысла медузы *Rhopilema esculentum*.

**Задачи исследований.** Для реализации поставленной цели необходимо:

- исследовать поведение и распределение медузы *Rh. esculentum* в водах зал. Петра Великого;
- выполнить анализ конструкций орудий лова для промысла ропилемы;
- исследовать физико-механические свойства тела ропилемы;
- разработать методику проектирования рыболовных систем для промысла ропилемы;
- разработать математические модели и программы моделирования рыболовных систем для лова ропилемы;
- экспериментально подтвердить адекватность разработанных математических моделей рыболовных систем.

**Общая методика исследования.** В диссертации использованы теоретические и экспериментальные методы исследования. Основной материал диссертации получен в результате анализа информации по биологии медузы *Rh.*

*esculentum*, её распределению в толще воды, изучения поведения ее в зоне действия орудия лова, исследования физико-механических свойств тела медузы.

#### Научная новизна:

- исследовано поведение медузы *Rh. esculentum* при взаимодействии с орудиями лова;
- исследованы физико-механические свойства тела ропилемы и получена модель процесса разрушения ее зонтика сетным полотном;
- разработана методика модульного проектирования рыболовных систем для лова ропилемы;
- разработаны математические модели и программы расчета специализированного подхвата, ставной сети, ставного невода и устройства для лова ропилемы;
- выполнены экспериментальные исследования устройства для лова медузы для подтверждения разработанных математических моделей и программ.

**Практическая ценность.** В результате исследований разработаны элементы орудий рыболовства, позволяющие оперативно собирать разные орудия лова, которые эффективно работают на каждом этапе хода медузы. Разработана и официально зарегистрирована программа "Trawl Resistance & Weight" (свидетельство № 2001611163, 2001), позволяющая выполнять расчет основных технических характеристик устройства для лова медузы. На устройство получено свидетельство на полезную модель № 26368 от 2002 г.

**Личный вклад автора.** Автору принадлежит разработка математических моделей и программ моделирования специализированного подхвата, ставной сети, ставного невода и устройства для лова ропилемы, методики экспериментальных исследований, проектирование и создание экспериментального образца устройства для лова медуз, получение основных результатов, их обработка и интерпретация. В работах, выполненных в соавторстве, автор принимал равноценное участие в постановке задач, в анализе и интерпретации результатов измерений и моделирования.

**Апробация работы.** Основные положения работы докладывались автором на следующих научных и научно-практических конференциях: 4-й международная научно-практическая конференция «НАУКА—ТЕХНИКА—ТЕХНОЛОГИИ» (Находка, 2002); научно-практическая конференция «ПРИМОРЬЕ – КРАЙ РЫБАЦКИЙ» (Владивосток, 2002); 2-я международная научная конференция "Рыбохозяйственные исследования Мирового океана" (Владивосток, 2002); International conference "Marine environment: Nature, Communication and Business" (Korea maritime University, 2003).

**Внедрение результатов.** Разработанное математическое и программное обеспечение рыболовных систем для промысла медуз широко используется в учебном процессе на кафедре "Промышленное рыболовство" ДВГТРУ при проведении лекционных и практических занятий по дисциплинам: «механика орудий рыболовства» и «проектирование орудий рыболовства», оно также используется в Р/К «Приморец», «Новый Мир» и РПК «Посейдон» при организации промысла медуз.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 работ.

**Структура и объем работы.** Работа выполнена на 119 страницах, состоит из введения, 3 глав, библиографического списка из 90 наименований, 1 приложения, 69 рисунков и 5 таблиц.

#### СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность проблемы, поставлена цель и определены основные задачи исследований, приведена общая методика исследований, показана теоретическая и практическая ценность исследований.

**В первой главе** дается краткая историческая справка развития промысла медузы.

Промысел медуз развивался в странах Юго-Восточной Азии повсеместно с распространением китайской культуры на протяжении 1700 лет. В конце XIX века в Приморье велся промысел медузы и в полусушеном виде она экспортировалась в Китай.

В мире с 1988 по 1999 г. каждый год вылавливается около 321 тыс. т медуз (Omori, Nakano, 2001). По данным FAO, мировой вылов медузы в 1997–1999 гг. составлял около 500 тыс. т (рис. 1), при этом  $\frac{3}{4}$  мировой добычи медузы приходится на Китай.

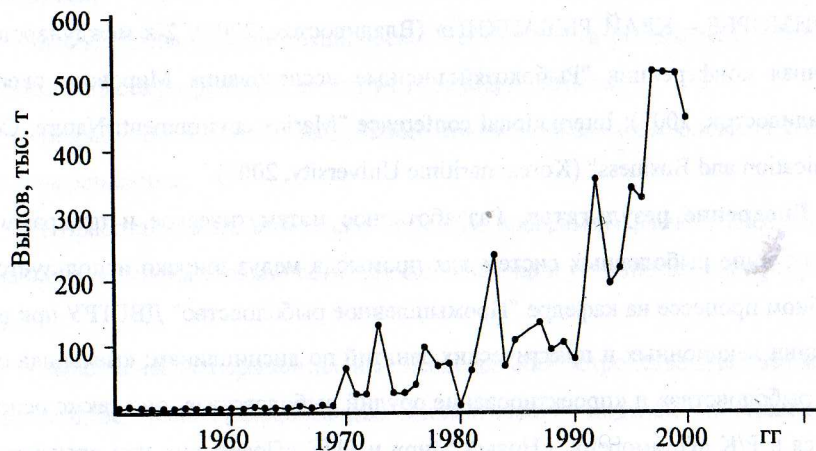


Рис. 1. Динамика вылова медузы (FAO, 2001)

Промысел в Китае, Японии и Южной Корее ведется в спокойных бухтах и в устьях рек, август считается лучшим промысловым периодом. На основе использования приливно-отливных течений существует способ лова медузы растяжными сетями, очень распространенный в Китае. Сеть, установленная на глубине 5–15 м поперек направления течения, в период прилива заполняется медузами. Во время стояния воды, открыв сеть, собирают медуз, и при отливе, поменяв направление сети, вылов снова повторяется. Из-за ожидания конца прилива на каждую операцию уходит 3–4 ч (Omori, 1981). Конструктивный шаг ячеи сети 100–350 мм, высота 7,5 м и коэффициент посадки  $U = 0,707$ . Кроме того, используют сложные растяжные сети, кошки, закидные, кошельковые и ставные невода. Применяют также сачки диаметром около 1 м. В Японии используют соединение 15–20 сетей длиной 40 м и высотой 5–8 м, которые ставятся под прямым углом к приливному течению (Subasinghe, 1992). В странах

Юго-Восточной Азии часто применяются бамбуковые заграды, различные типы растяжных сетей и ставных неводов.

С появлением *Rh. esculentum* в 1999 г. у берегов Приморья вновь начался ее промысел. Медуза *Rhopilema esculentum* (ропилема) впервые описана К. Кишиноу в 1891 г., относится к роду *Rhopilema*, семейству *Rhizostomatidae*, отряду *Rhizostomidae*, классу *Scyphozoa* типа кишечнополостных (рис. 2).

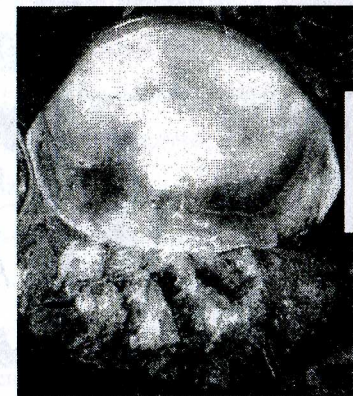


Рис. 2. Промысловая медуза *Rh. esculentum* (Бородин и др., 2003)

Основным фактором появления ропилемы у берегов России является ее миграция с юга вместе с поверхностными теплыми водами (Яковлев и др., 2002). Появляется медуза в Приморье с середины августа. На рис. 3. показаны поверхностные вихри Японского моря в августе–сентябре.

Распределение ропилемы непосредственно в зал. Петра Великого зависит от интенсивности и направлений локальных течений, на которые, в свою очередь, влияют направление и скорость ветра (Бородин и др., 2003).

Во время исследований было выявлено, что ход медузы в бухты зал. Петра Великого можно разбить на четыре этапа: 1 – подход небольших по численности скоплений медуз (конец августа, начало сентября); 2 – резкое увеличение плотности скоплений до больших; 3 – поддержание численности в течение нескольких недель на среднем уровне; 4 – окончание хода медузы, резкий спад

численности (попадают отдельные экземпляры). При этом временной интервал может смещаться на  $\pm 10-15$  дней.

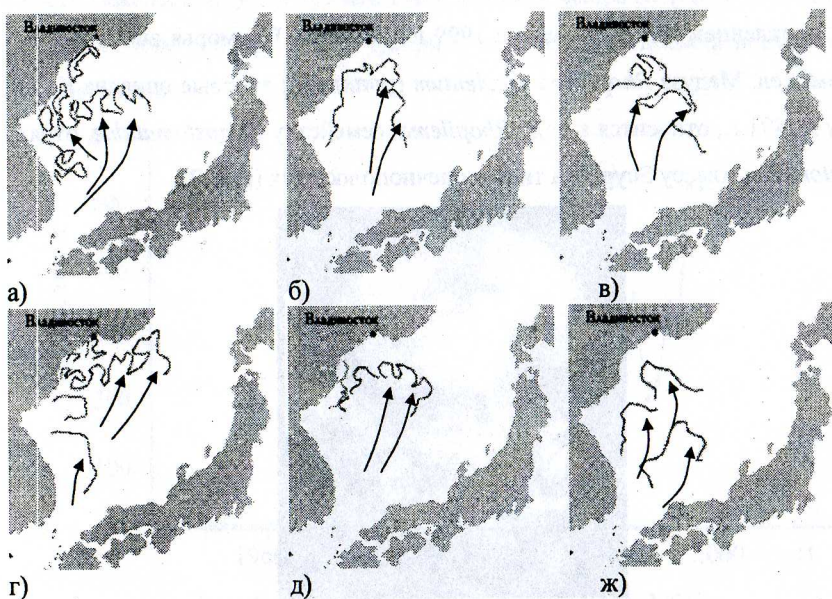


Рис. 3. Струйные вторжения и вихревые образования в Японском море (обработаны со снимков спутников NOAA): а – 21.08.2000; б – 02.09.2000; в – 14.08.2001; г – 14.09.2001; д – 18.08.2002, ж – 18.09.2002

Во второй главе излагается методика проектирования орудий лова для промысла ропилемы с учетом ее поведения и требований к качеству сырья.

В настоящее время при проектировании орудий рыболовства (ОР) используют в основном две методики. В первой новая конструкция орудия лова создается на основе прототипа. Этот подход долгие годы развивал А.Л. Фридман.

Другое направление было предложено Л.В. Журавлевым. В его основе лежат исследование и анализ множества прототипов конструкций орудий лова.

Но эти методики не могут быть применимы для создания орудия лова, позволяющего эффективно работать на всех этапах хода медузы, так как эти методы изначально направлены на проектирование новых конструкций орудий лова только одного типа, а задача подразумевает создание орудий лова различ-

ных типов, для чего необходимо рассматривать создаваемое орудие лова как сложную техническую систему (СТС). Применительно для рыболовства такой подход развивает В.И. Габрюк.

В последние годы при создании СТС применяется объектно-ориентированный подход (ООП).

Исходя из требований ООП необходимо проанализировать функции всех элементов орудий лова и рассмотреть модели взаимодействий медуз с применяемыми рыболовными системами (РС).

В ходе анализа функционально-морфологических деревьев всех орудий лова, применяемых на промысле медузы, можно выделить основные функции и элементы, их обеспечивающие:

- подборы → обеспечение рабочей формы;
- сетное полотно → удержание гидробионта.

Эти элементы могут быть положены в основу универсальной рыболовной системы, схема соединений которых показана на рис. 4.

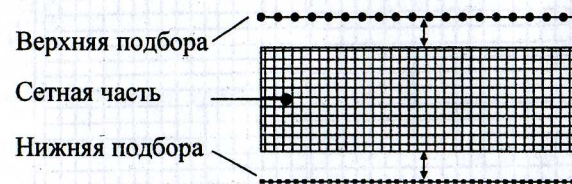


Рис. 4. Схема соединений основных элементов рыболовных систем

Такая конструкция (рис. 4) ограничена по длине, поэтому назовем ее рыболовным компонентом (РК). Остальные элементы рыболовных систем также могут быть использованы при изготовлении разных конструкций рыболовных систем (рис. 5).

Выбор квадратной формы ячеек предполагает максимальную фактическую площадь сетного полотна, что дает экономию сетематериалов и материалов оснастки верхней и нижней подбор, а также позволяет сохранить проектную форму орудия лова при воздействии на него гидродинамических нагрузок. Поскольку нагрузки на рыболовные системы на промысле медузы небольшие, то

при соединении РК рекомендуется использовать распускные швы и скобы (карабины), что позволяет на промысле за короткое время компоновать различные орудия лова.

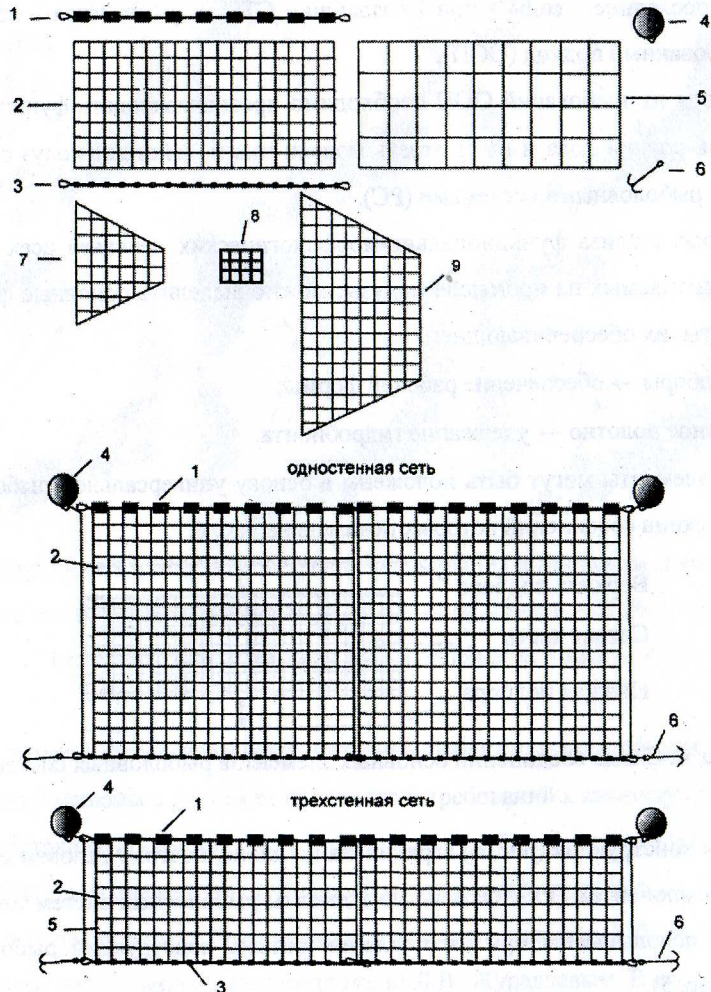


Рис. 5. Сборка рыболовных систем из РК:

1 – верхняя подбора, оснащенная плавучестью; 2 – дель размер  $L \times H$ ,  $a = 50$ ;  
3 – нижняя подбора, оснащенная грузкой; 4 – буй; 5 – дель размер  $L \times H$ ,  
 $a = 200$ ; 6 – якорь; 7 – мотня высотой  $H$ ; 8 – мешок; 9 – мотня высотой  $2H$

Для обоснования внутренней геометрии РК были проведены исследования по изучению прочностных характеристик зонтика медузы, так как в случае его повреждения стоимость сырья значительно снижается. Для этого была изготовлена установка, представляющая собой полый усеченный конус с углом между осью и образующей  $\alpha = 2,5^\circ$ . Методика эксперимента заключалась в том, что в нижней части закреплялся съемный обруч, с помощью которого фиксировались образцы сетных полотен, на которые помещалась медуза, а сверху целлофановый пакет. Пакет, заполняющийся жидкостью, под действием гидростатических сил облегал образец и заполнял весь объем усеченного конуса. Исследования проводились до момента разрушения эктодермы (внешнего покрова) медузы.

В ходе исследований по разрушению зонтика медузы выявлено, что процесс его разрушения является следствием истечения воды из мезоглеи, через некоторое время  $t$  эктодерма, потеряв влагу, становится хрупкой и разрушается.

Время разрушения тела медузы определяется по формуле

$$t = \frac{d_s^2 h k_n}{k_v S_1 \sqrt{\frac{2 p_s}{\rho}}}, \quad (1)$$

где  $k_v$  – коэффициент, характеризующий пропускную способность мезоглеальных клеток;  $S_1$  – площадь элемента (рис. 6);  $d_s$  – диаметр нитки;  $h$  – толщина зонтика медузы;  $k_n$  – коэффициент, характеризующий отношение всего объема к объему, при котором эктодерма теряет упругие свойства и становится хрупкой;  $p_s$  – давление, оказываемое нитью на элемент зонтика медузы,  $\rho$  – плотность жидкости.

Давление  $p_s$ , действующее на медузу при тралении или под влиянием течения, определяется по следующим зависимостям:

$$R = C_m \frac{\rho v^2}{2} S_m; \quad p_s = R S_m a / d, \quad (2)$$

где  $C_m$  – коэффициент сопротивления медузы;  $S_m$  – площадь медузы соприкасающейся с делью;  $d$  – диаметр нитки;  $a$  – конструктивный шаг ячеи.

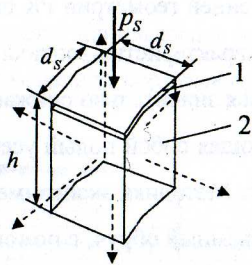


Рис. 6. Характеристики элемента зонтика медузы под воздействием давления нити: 1 – эктодерма; 2 – мезоглея.

Сравнение данных модели (2) и экспериментов показано на рис. 7.

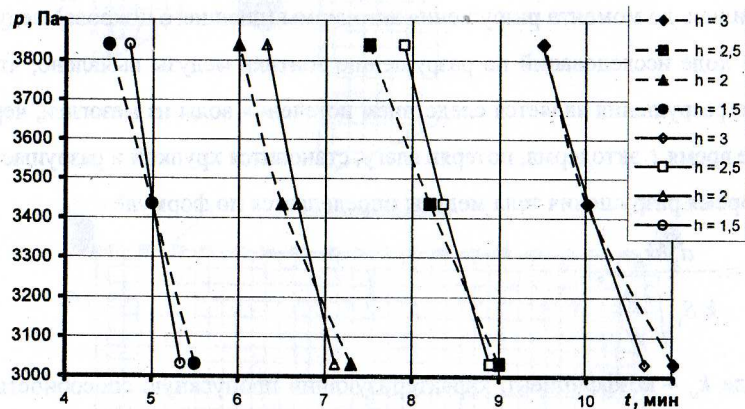


Рис. 7. Прочностные характеристики зонтика медузы: --- экспериментальные данные; — рассчитанные по формуле (2)

Высота РК зависит от распределения медузы по глубине (рис. 8).

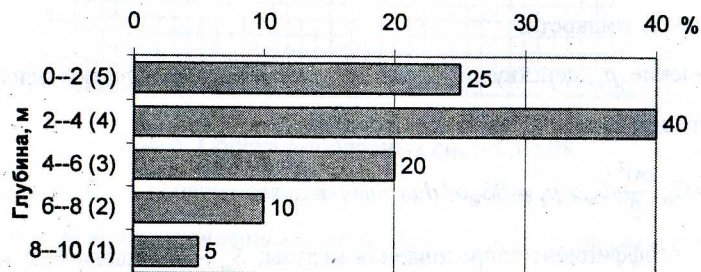


Рис. 8. Распределение медузы по глубине на основе уловов трехстенными сетями

Так как глубины в бухтах Нарва, Северная, Суходол и в районе рек Шкотово и Артемовка (основные районы промысла медузы) колеблются от 2 до 10 м, по распределению медузы по глубине (рис. 8) высоту РК выбираем равной 2 или 4 м. Это позволяет рационально компоновать различные конструкции рыболовных систем. Для обеспечения легкости компоновки рыболовных систем на промысле медузы выбирается длина РК 10 или 20 м, в зависимости от способа лова и рельефа дна.

Исходя из выбранных размеров РК конструктивный шаг ячеей сетной части может быть 20, 40, 50 или 100 мм (при большем шаге ячеей мелкие медузы могут пройти через ячею).

Проектирование рыболовных систем должно опираться на модели взаимодействия "рыболовная система – гидробионт", поэтому в ходе работ в 2002-2003 гг. нами было исследовано поведение ропилемы при лове сачками, ставными сетями и ставными неводами. Реакция избегания при вертикальном опускании сачка на ропилему проявлялась в 15 % случаев. При горизонтальном перемещении сачка к ропилеме реакция не отмечалась. При уходе от опасности ропилема заглублялась на 0,5–1,0 м, совершая при этом 1–2 сокращения зонтиком.

При касании ропилемой сети она продолжала двигаться в выбранном ею направлении, растягивая сеть. Через некоторое время (от 2 до 5 мин) медуза начинала поворачиваться, проплывая небольшое расстояние по горизонтали вдоль сети, и только 25 % из них застревало, зацепляясь своими щупальцами. Направление перемещения вдоль сети определялось в основном направлением существующего течения. При попадании в трехстенную сеть ропилема практически сразу застревала.

Анализ использования ставных неводов показал, что ропилема почти не застревает в крыльях, что связано с небольшим шагом ячеей 100 мм и толстой ниткой. При этом ропилема, как в случае со ставной сетью, перемещалась вдоль сетного полотна.

Поскольку используемые для промысла медузы рыболовные системы выполнены из РК из сетного полотна с квадратной ячейей, то необходимо получить математические модели для таких конструкций.

Как отмечено выше, рыболовные системы для промысла медузы имеют общие элементы. Ниже для каждого элемента записаны их математические модели и граничные условия.

**Математическая модель сетной оболочки с квадратной формой ячеек без учета кривизны в поперечном направлении** (рис. 9) имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{T}_{kp} &= -R_{xv}^{kp} \cos \alpha_N + R_{yv}^{kp} \sin \alpha_N; \dot{x} = \cos \alpha_N; \dot{y} = \sin \alpha_N; \\ \dot{\alpha}_N &= (R_{xv}^{kp} \sin \alpha_N + R_{yv}^{kp} \cos \alpha_N) / T_{kp}; S_H^{(1)} = d_1 h n_1; S_H^{(2)} = d_2 n_2, \end{aligned} \quad (3)$$

$$R_{xv}^{kp} = C_{90}^H \frac{\rho v^2}{2} S_H^{(1)} + C_{xv}^H(\alpha_N) \frac{\rho v^2}{2} S_H^{(2)}; R_{yv}^{kp} = C_{yv}^H \frac{\rho v^2}{2} S_H^{(2)};$$

$$C_{xv}^H(\alpha_N) \equiv -(C_{11} \sin^2 \alpha_N + C_{12} \sin^4 \alpha_N + C_{13} \cos^2 \alpha_N);$$

$$C_{90}^H = C_{xv}(90) = -(C_{11} + C_{12}); C_{yv}^H = (C_{31} \sin \alpha_N \cos \alpha_N + C_{32} \sin^3 \alpha_N \cos \alpha_N),$$

где  $R_{xv}^{kp}$ ,  $R_{yv}^{kp}$  – сила сопротивления и боковая сила сетной оболочки, приходящаяся на единицу его длины;  $\alpha_N$  – угол атаки сетной оболочки;  $C_{90}^H$  – коэффициент сопротивления поперечных нитей (перпендикулярных потоку);  $C_{xv}^H(\alpha_N)$ ,  $C_{yv}^H$  – коэффициент сопротивления продольных нитей и боковой силы нити;  $d_1$ ,  $d_2$  – диаметры поперечных и продольных ниток;  $n_1$  – количество поперечных ниток, приходящихся на единицу длины сетной оболочки ( $n_1 = 1/a_1$ );  $n_2$  – количество продольных ниток, приходящихся на всю высоту  $h$  сетной оболочки ( $n_2 = h/a_2$ ).

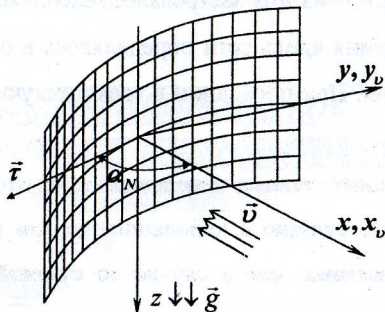


Рис. 9. Характеристики сетной оболочки без учета кривизны в поперечном направлении

**Математическая модель сетной оболочки с квадратной формой ячеек с учетом кривизны как в продольном, так и в поперечном направлениях** (рис. 10) имеет вид:

$$\dot{T}_{kp} = -R_{xv}^{kp} \cos \alpha_N + R_{yv}^{kp} \sin \alpha_N; \dot{x} = \cos \alpha_N; \dot{y} = \sin \alpha_N; \quad (4)$$

$$\dot{\alpha}_N = (R_{xv}^{kp} \sin \alpha_N + R_{yv}^{kp} \cos \alpha_N) / T_{kp}; R_x^{kp} = T_{kp} \cos \alpha_N - T_0^{kp} \cos \alpha_0^N;$$

$$R_{xv}^{kp} = R_{xv}^{n,n} n_1 + C_{xv}^H(\alpha_N) \frac{\rho v^2}{2} S_H^{(2)}; R_{yv}^{kp} = R_{yv}^{n,n} n_1 + C_{yv}^H \frac{\rho v^2}{2} S_H^{(2)};$$

$$C_{xv}^H(\alpha_N) \equiv -(C_{11} \sin^2 \alpha_N + C_{12} \sin^4 \alpha_N + C_{13} \cos^2 \alpha_N);$$

$$C_{yv}^H \equiv (C_{31} \sin \alpha_N \cos \alpha_N + C_{32} \sin^3 \alpha_N \cos \alpha_N);$$

$$R_{xv}^{n,n} = T^n \sin \alpha^n - T_0^n \sin \alpha_0^n; R_{yv}^{n,n} = T^n \cos \alpha^n - T_0^n \cos \alpha_0^n,$$

где  $R_{xv}^{n,n}$ ,  $R_{yv}^{n,n}$  – сопротивление и боковая сила одной поперечной нити;  $T^n$ ,  $T_0^n$ ,  $\alpha^n$ ,  $\alpha_0^n$  находятся по формулам гибкой нити в потоке (Габрюк и др., 2004).

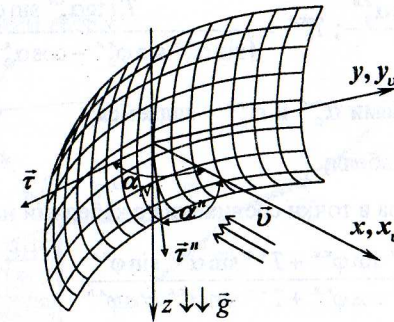


Рис. 10. Характеристики сетной оболочки с учетом кривизны в поперечном направлении

**Модель расчета устройства для лова медуз** (рис. 11):

1. Находим  $T_0^M$  мотенной части и мешка;
2. Находим  $T_0^b$ ,  $T_0^z$  бую и груза;

3. Рассчитываем натяжения  $T_0^N$  для крыла:  $T_0^N = \frac{T_0^M + n^b T_0^b + n^z T_0^z}{2 \cos \alpha_0^N}$ ;

4. Рассчитываем параметры крыла по формулам (3) с учетом оснastки



$$R_{xy}^{kp} = R_{xy}^{kp} + n^6 R_x^6 + n^2 R_x^2; R_{yv}^{kp} = R_{yv}^{kp} + n^6 R_y^6 + n^2 R_y^2;$$

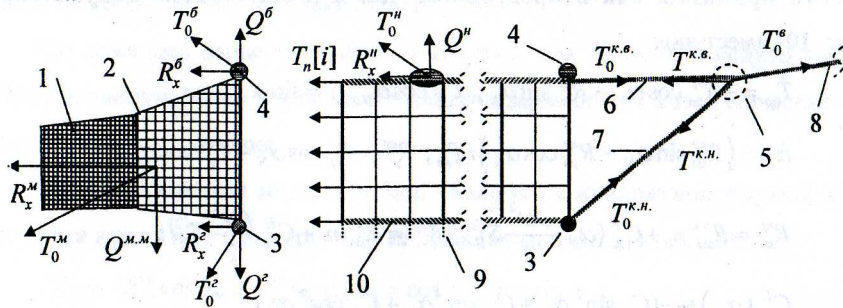


Рис. 11. Устройства для лова медуз (Бородин, Осипов, 2002): 1 – мешок; 2 – мотня; 3 – груз; 4 – буй; 5 – соединение верхнего и нижнего кабелей с ваером; 6 – кабель верхний; 7 – кабель нижний; 8 – ваер; 9 – распределенная загрузка по нижней подборе; 10 – крыло

5. Параметры кабелей  $T_0^{к.с.}$  и  $T_0^{к.н.}$  находим из соотношения:

$$T_0^{к.с.} = \frac{T_1 + T_0^{к.н.} \cos \alpha_0^{к.н.}}{\cos \alpha_0^{к.с.}}; T_0^{к.н.} = \frac{T_1 (\operatorname{tg} \alpha_0^{к.с.} \sin \varphi_0^{к.с.})}{(\sin \alpha_0^{к.н.} \sin \varphi_0^{к.н.} - \cos \alpha_0^{к.н.} \operatorname{tg} \alpha_0^{к.с.} \sin \varphi_0^{к.с.})}$$

где  $\varphi_0^{к.с.} = \varphi_0^{к.н.} = \alpha_N$ , углами  $\alpha_0^{к.н.}$  и  $\alpha_0^{к.с.}$  – задаемся;

6. Рассчитываем кабеля;

7. Параметры ваера в точки соединения с кабелями находим по формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi_0^e = \frac{T^{к.с.} \sin \alpha^{к.с.} \sin \varphi^{к.с.} + T^{к.н.} \sin \alpha^{к.н.} \sin \varphi^{к.н.}}{T^{к.с.} \sin \alpha^{к.с.} \cos \varphi^{к.с.} + T^{к.н.} \sin \alpha^{к.н.} \cos \varphi^{к.н.}};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_0^e = \frac{T^{к.с.} \sin \alpha^{к.с.} \sin \varphi^{к.с.} + T^{к.н.} \sin \alpha^{к.н.} \sin \varphi^{к.н.}}{(T^{к.с.} \cos \alpha^{к.с.} + T^{к.н.} \cos \alpha^{к.н.}) \sin \varphi_0^e};$$

$$T_0^e = \frac{T^{к.с.} \cos \alpha^{к.с.} + T^{к.н.} \cos \alpha^{к.н.}}{\cos \alpha_0^e};$$

8. Рассчитываем ваера;

9. Проверяем прохождение ваеров через ваерные блоки с заданной погрешностью. Если погрешность больше допустимой, то путем вариации углом  $\alpha_0^N$  добиваемся прохождения ваера через ваерный блок.

Модель расчета специализированного подхвата для лова медуз (рис. 12).

12).

1. Определяем натяжение  $T_0^M$  мотенной части и мешка;
2. Определяем параметры буя и нахождения  $T_0^{6л}$ ,  $\alpha_0^{6л}$ ,  $\varphi_0^{6л}$ ;
3. Рассчитываем параметры буйлиния;
4. Рассчитываем кабеля;
5. Параметры ваера в точке соединения с кабелями найдем по формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi_0^e = \frac{T^{к.с.1} \sin \alpha^{к.с.1} \sin \varphi^{к.с.1} + T^{к.с.2} \sin \alpha^{к.с.2} \sin \varphi^{к.с.2} + T^{к.н.} \sin \alpha^{к.н.} \sin \varphi^{к.н.}}{T^{к.с.1} \sin \alpha^{к.с.1} \cos \varphi^{к.с.1} + T^{к.с.2} \sin \alpha^{к.с.2} \cos \varphi^{к.с.2} + T^{к.н.} \sin \alpha^{к.н.} \cos \varphi^{к.н.}};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_0^e = \frac{T^{к.с.1} \sin \alpha^{к.с.1} \sin \varphi^{к.с.1} + T^{к.с.2} \sin \alpha^{к.с.2} \sin \varphi^{к.с.2} + T^{к.н.} \sin \alpha^{к.н.} \sin \varphi^{к.н.}}{(T^{к.с.1} \cos \alpha^{к.с.1} + T^{к.с.2} \cos \alpha^{к.с.2} + T^{к.н.} \cos \alpha^{к.н.}) \sin \varphi_0^e};$$

$$T_0^e = \frac{T^{к.с.1} \cos \alpha^{к.с.1} + T^{к.с.2} \cos \alpha^{к.с.2} + T^{к.н.} \cos \alpha^{к.н.}}{\cos \alpha_0^e};$$

6. Рассчитываем ваера.

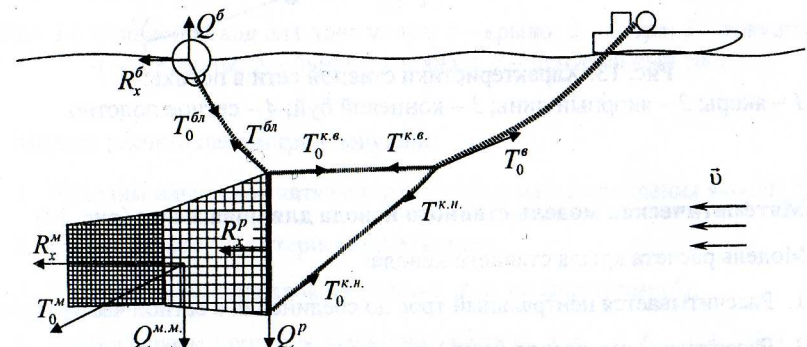


Рис. 12. Специализированный подхват для лова медузы

Математическая модель ставной сети (рис. 13):

1. Находим натяжение якоря  $T_{\max}^я$ ;
2. Рассчитываем параметры якорного линия:  $T_j$ ,  $\alpha_j$ ,  $\varphi_j$ ;
3. Рассчитываем параметры концевой буя;
4. Рассчитываем параметры сетного полотна по формулам (4);
5. Рассчитываем параметры концевой буя;

6. Рассчитываем параметры якорного линия  $T_l, \alpha_l, \varphi_l$ ;

7. Проверяем попадание якорного линия в место нахождения якоря с заданной погрешностью, если этого не происходит, то, изменив  $\alpha_0^N$ , начинаем расчет с пункта 4.

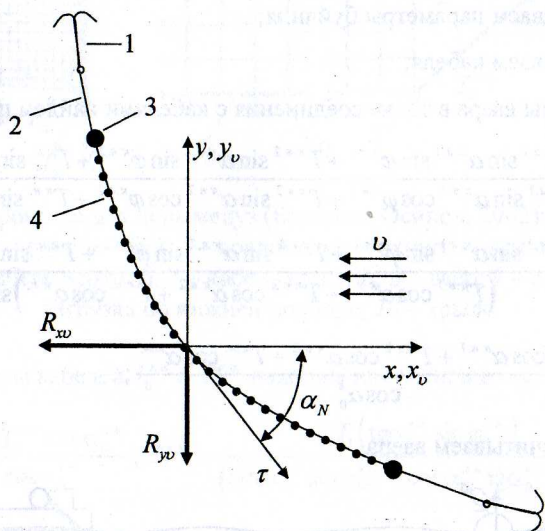


Рис. 13. Характеристики ставной сети в потоке:

1 – якорь; 2 – якорный линия; 3 – концевой буй; 4 – сетное полотно

#### Математическая модель ставного невода для лова медуз (рис. 14)

Модель расчета крыла ставного невода:

1. Рассчитывается центральный трос до соединения с сетной частью крыла;
2. Рассчитывается сетная часть крыла по формулам (4) до соединения с

оттяжками:

3. Рассчитываются оттяжки;
4. Рассчитывается узловое соединение в точке  $A_0$  по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_0^N = \frac{T^l \sin \alpha^l \sin \varphi^l + T^N \sin \alpha^N}{(T^l \cos \alpha^l + T^N \cos \alpha^N)}; T_0^N = \frac{T^l \cos \alpha^l + T^N \cos \alpha^N}{\cos \alpha_0^N};$$

5. Рассчитывается центральный трос до соединения с оттяжками;
6. Рассчитываются оттяжки.

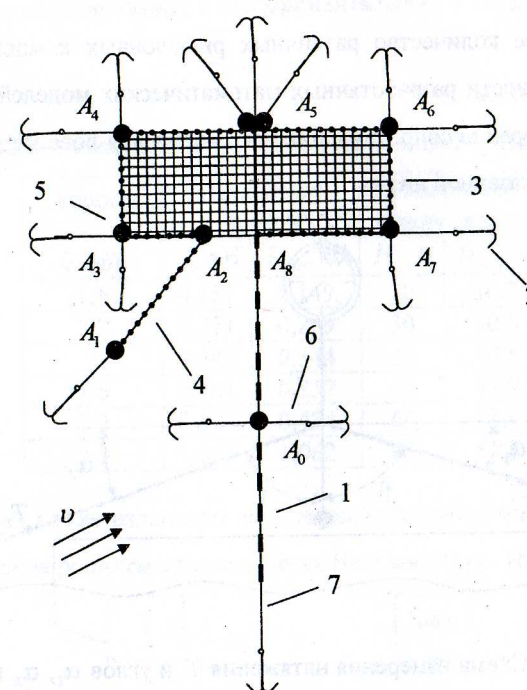


Рис. 14. Ставной невод для лова медуз: 1 – крыло; 2 – якоря; 3 – ловушка; 4 – открылок; 5 – буй; 6 – оттяжки; 7 – центральный трос

Модель расчета параметров ловушки:

1. Находим начальное натяжение оттяжек в месте крепления якорей  $T_{\max}^N$ ;
2. Рассчитываем характеристики оттяжек;
3. Рассчитываем открылок на участке  $A_1A_2$  по формулам (4);
4. Рассчитываем стенки ловушки на участках  $A_3A_2, A_3A_4, A_4A_3, A_5A_6, A_6A_7$  и  $A_7A_8$  по формулам (4);
5. Проверяем совпадение стенок ловушки в точках их соединения с заданной погрешностью. Если погрешность больше допустимой, то, варьируя углом  $\alpha_0^N$  для каждой стенки, добиваемся совпадения их в точках соединений.

Для проверки работоспособности рыболовных систем, набранных из РК, в 2003 г. на судах ООО "Ариран" в зал. Петра Великого были проведены экспериментальные исследования. Поскольку устройство для лова медуз (см. рис. 11)

имеет наибольшее количество различных рыболовных компонентов, то для проверки адекватности разработанных математических моделей было выбрано именно оно. Измерение сопротивления устройства для лова медуз осуществлялось по схеме, показанной на рис. 15.

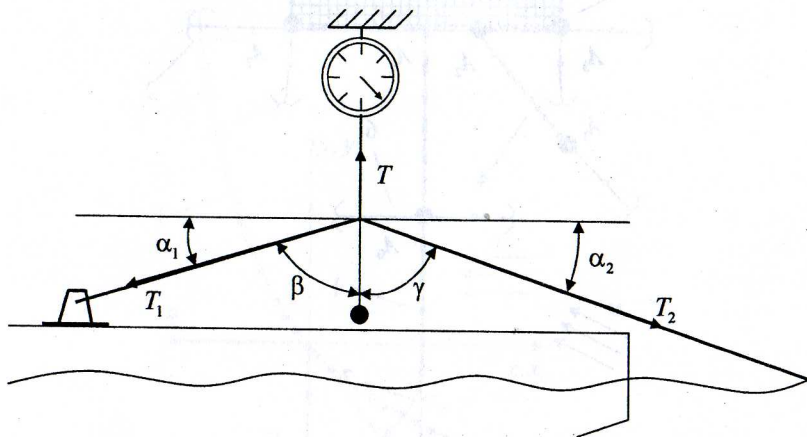


Рис. 15. Схема измерения натяжения  $T$  и углов  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  ваера

Для определения натяжений  $T_1$  и  $T_2$  используем соотношения:

$$T_1 = T / (\sin \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \cos \alpha_1); T_2 = T_1 \cos \alpha_1 / \cos \alpha_2. \quad (5)$$

Данные эксперимента и результаты расчетов по формуле (5) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Данные эксперимента и результаты расчетных формул (5)

$v$ , м/с	$T$ , кН	$T_1$ , кН	$T_2$ , кН	$\alpha_1$ , град	$\alpha_2$ , град
Расстояние между судами $H=30$ м					
1,6	0,06	0,149	0,151	10	13
2,2	0,08	0,269	0,271	7	10
3	0,09	0,344	0,345	7	8
Расстояние между судами $H=60$ м					
1,6	0,075	0,237	0,241	6	12
2,2	0,11	0,484	0,487	5	8
2,9	0,13	1,062	1,066	2	5

Результаты моделирования и экспериментальных исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Данные эксперимента и результаты моделирования

Скорость $v$ , м/с	Натяжение ваера		Расстояние между судами	
	$T_2$ , кН	$T_{\text{мод}}$ , кН	$H$ , м	$H_{\text{мод}}$ , м
1,6	0,151	0,149	30	30,7
2,2	0,271	0,269	30	30,6
3	0,345	0,344	30	30,5
1,6	0,241	0,237	60	59,9
2,2	0,487	0,484	60	59,9
2,9	1,066	1,062	60	59,8

В третьей главе излагается модель выбора рыболовной системы с учетом распределения ропилемы по зал. Петра Великого (рис. 16).

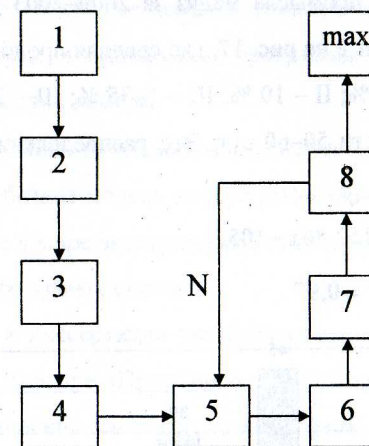


Рис. 16. Модель выбора рыболовной системы:  $N$  – количество типов рыболовных систем; 1 – определение численности медузы; 2 – нахождение распределения медузы по зал. Петра Великого; 3 – определение численности медузы на этапах ее хода; 4 – определение плотности медузы по глубине; 5 – выбор и расчет рыболовной системы; 6 – определение объема вылова; 7 – определение затрат; 8 – определение прибыли

Для определения численности медузы пользовались моделью, предложенной В.И. Арнольдом (1984, 2000):

$$\dot{x} = ax - bx^2,$$

где  $a$  – коэффициент скорости роста популяции,  $b$  – коэффициент внутривидовой конкуренции.

После стробилиации (бесполое размножение) часть стробил превращается в полипы, которые зимуют, а затем опять становятся стробилами, способными к размножению (Ding, Chen, 1981), в результате чего численность медузы не зависит прямо от численности предыдущего поколения. Чтобы учесть этот фактор, используем уравнение

$$x_{t+1}^n = \lambda x_{t-1},$$

где  $\lambda$  – коэффициент, учитывающий ту часть стробил от общего количества, которые превратились в полип и участвовали в процессе размножения на следующий год.

На основе анализа промысла медуз за 2000–2003 гг. получены графики распределения, показанные на рис. 17, где средняя продолжительность каждого этапа составляет: I – 10 %; II – 10 %; III – 1–35 %; III – 2–25 %; IV – 20 % при общей продолжительности 50–60 сут. Это распределение можно описать следующим уравнением

$$y = 5x^3 - 52,143x^2 + 157,86x - 105,$$

где  $x$  – номер этапа;  $\sigma^2 = 0,97$ .

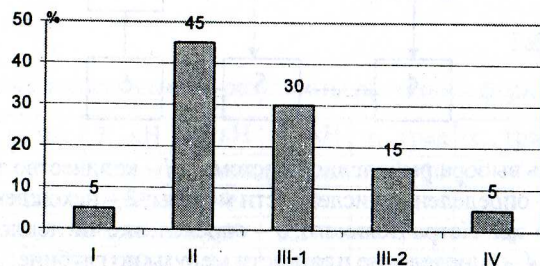


Рис. 17. Распределение медузы в зависимости от этапов ее хода

Распределение медузы по глубине (см. рис. 8) можно описать следующим уравнением

$$y = -3,3333x^3 + 27,857x^2 - 58,81x + 40,$$

где  $x$  – номер участка, который соответствует глубинам: 1 – 8-10 м; 2 – 6-8 м; 3 – 4-6 м; 4 – 2-4 м; 5 – 0-2 м;  $\sigma^2 = 0,95$ .

Улов определяется виртуально. В расчет затрат входят стоимость рыболовной системы и затраты на ее эксплуатацию. Также учитываются затраты на оплату труда в зависимости от улова. После перебора всех рыболовных систем выбирается та, что может принести максимальную прибыль.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Исследованные в диссертации физико-механические свойства тела медузы *Rh. esculentum* и разработанная модель процесса разрушения зонтика медузы позволили обосновать характеристики сетных полотен и допустимые скорости тралений.
2. Разработанные в диссертации математические модели рыболовных систем для лова медузы и прикладные программы позволяют осуществлять расчет и оптимизацию этих систем.
3. На основе изучения путей миграции медузы и ее распределения по зал. Петра Великого разработана модель выбора рыболовной системы.
4. Выполненные в море эксперименты подтвердили адекватность математических моделей рыболовных систем.
5. Изложенные в диссертации результаты исследования используются в учебном процессе на кафедре «Промышленное рыболовство» Дальрыбвтуза на лекционных и практических занятиях, при курсовом и дипломном проектировании, на предприятиях рыбной промышленности (Р/К «Приморец», Р/К «Новый Мир», ООО РПК «Посейдон»).

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Бородин П.А. Определение проектных характеристик тралов / Науч. сб. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2001. С. 121–123.
2. Бородин П.А. Определение проектных характеристик элементов траля. Официальная регистрация программы № 2001611163. М., 2001.

3. Яковлев Ю.М., Осипов Е.В., **Бородин П.А.** Состояние и возможности промысла ропилемы в зал. Петра Великого // *Материалы науч.-практ. конф. "Приморье – край рыбацкий"*. Владивосток: ТИНРО–Центр, 2002. С. 65–69.

4. **Бородин П.А.**, Осипов Е.В. Устройство для лова медузы: Свидетельство на полезную модель № 26368. М., 2002.

5. Габрюк В.И., **Бородин П.А.** Определение проектных характеристик тралов и их элементов // Тез. докл. 4-й Междунар. науч.-практ. конф. «НАУКА–ТЕХНИКА–ТЕХНОЛОГИИ». Находка, 2002. С. 8.

6. **Бородин П.А.**, Осипов Е.В. Методика определения параметров мешка трала для лова *Rhopilema esculentum* // *Рыбохозяйственные исследования Мирового океана*: Тр. 2-й междунар. науч. конф. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2002. Т. 1. С. 5–7.

7. **Бородин П.А.**, Осипов Е.В. Физико-механические характеристики медузы *Rhopilema esculentum* // Тр. ДВГТУ. 2003. Вып. 113. С. 85–87.

8. **Бородин П.А.**, Осипов Е.В., Яковлев Ю.М. Пути проникновения и распределения медузы *Rhopilema esculentum* в зал. Петра Великого // Изв. ТИНРО. 2003. Т. 133. С. 236–239.

9. **Borodin P.A.**, Osipov E.V. New Technologies and catch equipment for medusas' fishery // International conference "Marine environment: Nature, Communication and Business". Korea maritime University, 2003. P. 3–4.

Б-КК

На правах рукописи

УДК 639.2.081.117

**Бородин Павел Андреевич**


**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЫБОЛОВНЫХ СИСТЕМ  
ДЛЯ ПРОМЫСЛА МЕДУЗЫ *Rhopilema esculentum***

05.18.17 – Промышленное рыболовство

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

  
Владивосток 2004