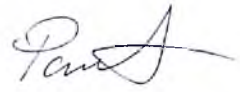


На правах рукописи



РАЖЕВ АЛЕКСЕЙ ОЛЕГОВИЧ

**МЕХАНИКА СЕТНЫХ ОРУДИЙ ВНУТРЕННЕГО И ПРИБРЕЖНОГО
РЫБОЛОВСТВА**

05.18.17 Промышленное рыболовство

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Калининград - 2020

Работа выполнена на кафедре промышленного рыболовства в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Калининградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «КГТУ»).

Научный руководитель: Недоступ Александр Алексеевич, кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Шевченко Анатолий Игнатьевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», профессор кафедры «Промышленное рыболовство»

Мельников Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», профессор кафедры «Аквакультура и рыболовство»

Ведущая организация

ООО «Фишеринг Сервис»

Защита диссертации состоится «11» декабря 2020 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 307.007.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Калининградский государственный технический университет» по адресу 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1, ауд. 255.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет».

<http://klgtu.ru/science/diss/soviets/dissertatsii/>

E-mail: olga.anohina@klgtu.ru

Факс: 8 (4012) 99–53-46

Автореферат разослан « ____ » _____ 2020 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат технических наук, доцент

Анохина Ольга Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования обусловлена недостаточностью исследований в задачах автоматизации расчета сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства, позволяющих увеличить эффективность их работы на этапах проектирования и эксплуатации. Исследование направлено на совершенствование имеющихся методов и методик расчета сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства, и их элементов при заданных условиях процесса рыболовства с использованием современных информационных и вычислительных технологий. Исследование в первую очередь ориентировано на: увеличение эффективности лова; улучшение качества сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства; ускорение процесса их проектирования; уменьшение трудозатрат при проектировании и в процессе эксплуатации; уменьшение стоимости разработки и себестоимости конечного продукта; импортозамещение в части программного обеспечения.

Степень разработанности темы исследования. Работы Баранова Ф.И., Фридмана А.Л. посвящены экспериментальному исследованию сетей и нахождения их коэффициентов сопротивления, как цельных конструкций. Научной проблемой расчета на ЭВМ орудий и процессов рыболовства и рыбоводства занимаются ученые разных стран: России, Германии, Норвегии, Испании, Италии, Японии, Южной Кореи, Китая, Филиппин, США, Дании, Великобритании. Данной проблеме посвящены работы таких российских и советских ученых, как Изнанкин, Иванов, Зинченко, Габрюк, Розенштейн, Осипов, Кулагин, Альтшуль, Ермакова, Наумов, Великанов, Недоступ, Павленко и др.

В работах Розенштейна М.М. и Осипова Е.В. впервые был предложен метод расчета с применением дискретной расчетной схемы сетной оболочки, основными элементами которой являются нити, образующие ромбическую ячею, и узел их соединения. В своей диссертационной работе Осипов Е.В. исследовал объектно-ориентированные методы расчета элементов рыболовных систем. Разработке методов расчета и оптимизации параметров ставных неводов

посвящены работы Ф.И. Баранова, Н.Н. Андреева, А.И. Трещева, А.Ф. Лексуткина, В.С. Калиновского, В.Н. Войниканис-Мирского, Е.Е. Шапунова, В.Ф. Канина, Ю.С. Сергеева, Е.Д. Каракоцкого, А.И. Зонова, В.В. Гулина, В.А. Ионаса, В.А. Маркина, В.М. Халилова, М.Н. Коваленко, О.М. Лапшина и других авторов. Из зарубежных ученых стоит отметить Enerhaug, Karlsen, Gjosund (Норвегия), Paschen и Winkel (Германия), Hansen (Дания), O'Neill (Великобритания), Mnassri, Touze, Vincent и Alessandrini, Bouhoubeiny, Druault и Germain (Франция), Myeong-ChulPark, Ok-KyoonHa, Seok-WunHa, Yong-KeeJun, Tauti and Nomura. Универсальных методов и алгоритмов расчета сетных орудий рыболовства с учетом неравномерности ячей, растяжения нитей при их натяжении, провисания нитей, изменяемых условиях места лова, включая наличие волнения и шторма, способных с высокой степенью детализации результатов расчета эффективно задействовать ресурсы современных вычислительных систем широкого применения, в настоящее время не предложено.

Цель и задачи. Цель - разработать универсальные методы, вычислительные алгоритмы и комплекс компьютерных программ для расчета сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства, состоящих из большого количества элементов с различными характеристиками, при статической и динамической постановке задачи, в условиях неравномерного течения, волнения и шторма.

Задачи: определить требования, накладываемые на расчет сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства; определить условия, при которых необходимо применение дискретных расчетных схем; определить условия, при которых возможно проведение расчета в статике; разработать методы расчета сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства при статической и динамической постановке задачи, а также в условиях волнения; разработать методы повышения точности и стойкости вычислительных алгоритмов; разработать алгоритмы расчета при статической и динамической постановке задачи; разработать методы оптимизации процесса расчета на многоядерных, гетерогенных и распределенных вычислительных системах; разработать

компьютерные программы и провести вычислительные эксперименты; провести анализ результатов численных экспериментов на предмет оценки сходимости теоретических положений.

Научная новизна. По результатам исследования впервые: представлена универсальная для канатно-веревочных изделий методология решения задач механики сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства; разработан универсальный метод расчета на основании дискретных расчетных схем при статической и динамической (в условиях изменяющегося во времени течения, волнения и шторма) постановке задачи; разработаны вычислительные алгоритмы, оптимизированные под работу в многопроцессорных, распределенных и гетерогенных системах в режиме реального времени.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработанные расчетные схемы, вычислительные алгоритмы и программы для ЭВМ позволят на стадии проектирования и в процессе эксплуатации орудий внутреннего и прибрежного рыболовства определять их характеристики для выбора оптимальных режимов работы.

Методология и методы исследования. Для достижения поставленной цели применялись методы математической формализации орудия лова, математического моделирования, информационные технологии, численные и натурные эксперименты, анализ результатов экспериментов.

Положения, выносимые на защиту. Методы расчета ставных сетей, крыла ставного невода и цилиндрических сетных конструкций при статической постановке задачи. Методы расчета ставных и плавных сетей, крыла ставного невода при динамической постановке задачи, в условиях изменяющейся во времени и по глубине скорости течения, волнения и шторма. Вычислительные алгоритмы расчета сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства и их элементов. Результаты вычислительных экспериментов. Сравнительный анализ результатов.

Степень достоверности. Достоверность результатов исследований обеспечивается применением основополагающих принципов и методов

механики, гидродинамики, математического анализа и информационных технологий. Результаты, полученные автором, экспериментальные и теоретические в основном согласуются с опубликованными данными других исследователей.

Апробация результатов. Основные положения диссертации были представлены и обсуждены в 22 докладах на российских и международных конференциях различного уровня: Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана» (Владивосток, 2012, 2016, 2018); Международной научно-практической конференции «Инженерные системы» (Москва, 2012); Международной научно-технической конференции «Наука и образование» (Мурманск, 2012); Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы техники и технологии» (Орел, 2012); Всероссийской заочной научно-технической конференции аспирантов, молодых ученых и специалистов «Комплексные исследования водных биоресурсов: рыболовство, аквакультура, экология, переработка, экономика и управление рыбохозяйственной отраслью» (Владивосток, 2012); Всероссийской научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование» (П. Камчатский, 2014, 2015, 2016); Международной конференции «Разностные схемы и их приложения» (Москва, 2013); Международной научной конференции «Инновации в науке, образовании и бизнесе» (Калининград, 2013, 2014); Международной конференции «DEMaT» (Германия, Росток, 2013); Всероссийской конференции «Наука, образование, инновации: пути развития» (П. Камчатский, 2015); Международного Балтийского морского форума (Калининград, 2015, 2016, 2018); Международной научной конференции «Инновации в науке, образовании и предпринимательстве» (Калининград, 2015, 2016); Национальной заочной научно-технической конференции «Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской

Федерации» (Владивосток, 2018); Международной конференции «Механика» (Литва, Каунас, 2018).

Диссертационное исследование выполнялось при поддержке РФФИ (2011-2013, 2015-2017, 2019-2022 гг.; проекты №11-08-00096-а, №15-08-00464-а, №19-48-390004-р_а) и госбюджетных НИОКР (2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 гг.; №№ 01201264354, 012012643543, 012012643544, 215052040003, АААА-А16-116072810020-4, 012012643547, АААА-А18-118050490059-0).

Результаты работы в виде 17 программ для ЭВМ и трех учебных пособий внедрены в учебный процесс на кафедре промышленного рыболовства ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» в курс лекций по дисциплине «Моделирование орудий и процессов рыболовства» для магистров направления подготовки 35.04.08 «Промышленное рыболовство». Результаты работы планируется использовать на предприятиях рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации при проектировании новых орудий промышленного рыболовства.

Личное участие автора. Соискатель ученой степени лично осуществлял: обоснование структуры диссертации и автореферата и написание их текста; планирование и проведение экспериментов; осуществление обработки и интерпретации полученных экспериментальных данных; подготовку к публикации научных результатов диссертационного исследования в статьях, тезисах, материалах конференций и др. печатных изданиях; представление научных результатов диссертационного исследования на конференциях различного уровня; разработку компьютерных программ.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 19 работ, из них 15 в изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России, из них 2 в изданиях, включенных в международную базу Web of Science. Разработаны и зарегистрированы в Роспатенте 17 программ для ЭВМ, которые приравниваются к публикациям ВАК. С участием автора диссертационного исследования изданы 3 монографии.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и пяти приложений. Работа изложена на 170 страницах машинописного текста, содержит 79 рисунков, 17 таблиц, 199 формул. Список использованной литературы включает 84 наименований, в том числе зарубежных авторов – 19.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, объект исследования, научная новизна, практическая ценность, положения, выносимые на защиту. Перечислены научные мероприятия, на которых была произведена апробация результатов исследования и публикации материалов исследования в соавторстве с соискателем в отечественных и зарубежных источниках, монографиях. Перечислены результаты, внедренные в образовательный процесс в виде компьютерных программ.

В **первой главе «Обзор известных исследований по проблеме расчета механики сетных орудий рыболовства»** рассмотрены объекты диссертационного исследования – сетные орудия внутреннего и прибрежного рыболовства, их классификация по принципу действия, конструкция, область применения; приведен обзор мировых исследований в данной области; рассмотрены континуальная и дискретная расчетные схемы, приведен их сравнительный анализ; указаны недостатки континуальных расчетных схем в сравнении с дискретными: размер и неравномерность ячей, растяжение нитей при их натяжении, провисание нитей не учитывается; возможен расчет только при статической постановке задачи; низкая трехмерная детализация силовых и геометрических характеристик; последовательные вычислительные алгоритмы (не распараллеливаются во времени). Погрешность расчета при помощи континуальных расчетных схем около 5 %, когда погрешность расчета при помощи дискретных расчетных схем – 3 %. Также в главе рассмотрена дискретная расчетная схема сетевого орудия рыболовства при статической постановке задачи, основанная на энергетических состояниях, предложенная

Rong Wan, Fuxiang Hu и Tadashi Tokai в работе «A static analysis of the tension and configuration of submerged plane nets».

Во второй главе «Постановка задач дискретного расчета сетных орудий рыболовства и методы их решения» определяются требования, накладываемые при расчете сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства, абиотические (течение; волнение; глубина водоема; характер и рельеф грунта; температура воздуха, воды; солнечная и лунная деятельность) и биотические (поведение скопления рыб, присутствие в районе промысла хищных рыб, морского зверя и птиц, наличие и распределение кормовых объектов) факторы воздействия и их влияние на процесс лова; поставлены задачи расчета сетных орудий рыболовства в статике (определение геометрии, нагрузок для выбора материала и диаметра ниток, селективности для выбора размера и формы ячеи, детальная визуализация) и динамике (к задачам в статике добавляются определение пространственно-временных характеристик с учетом времени, скорости перемещения элементов орудия и их массы); определены входные (место лова - глубина, плотность, вязкость воды, шероховатость дна водоема (для учета срыва якоря), скорость течения, параметры волнения, конструкция орудия, параметры его материалов) и выходные (геометрические, пространственно-временные и силовые) расчетные параметры; обоснована необходимость применения вычислительной техники (сокращение общего времени разработки и установки, уменьшение количества ошибок); описаны преимущества дискретной расчетной схемы при вычислениях на ЭВМ (одновременная обработка множества однотипных элементов с использованием современных вычислительных средств – гетерогенных систем, содержащих центральные и графические процессоры).

Рассмотрены дискретные расчетные схемы при статической постановке задачи:

- Сетной цилиндрической конструкции на основе систем уравнений, связывающих ее силовые и геометрические характеристики и сводящие трехмерную постановку задачи к двумерному решению;

- Ставной сети по 8 базовым точкам (рисунок 1) с последующей квадратичной интерполяцией по расчетной сетке (рассчитывается геометрия и силовые характеристики без учета растяжений и провисаний ниток); базовые точки определяются входными параметрами и системой уравнений, связывающих силовые и геометрические характеристики сети.

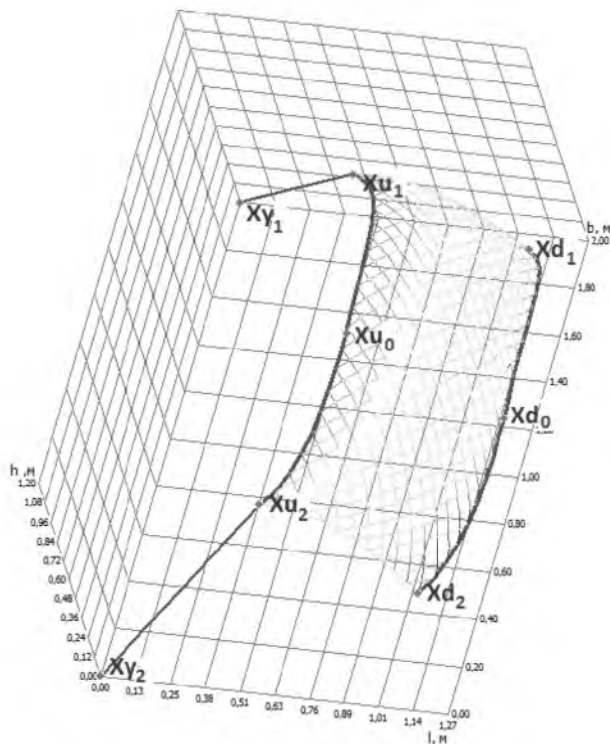


Рисунок 1 - Базовые расчетные точки ставной сети

- Ставной сети (рисунок 2) и крыла ставного невода (подвесного и с жестким каркасом) методом точечных масс, основанном на методе конечных элементов, с учетом растяжения и провисания ниток.

Рассмотрены дискретные расчетные схемы и метод расчета (метод точечных масс) (1) – (6) плавной сети (рисунок 3) и крыла ставного подвесного невода (рисунок 4) в условиях изменяющегося во времени течения при динамической постановке задачи.

$$\mathbf{F} = \sum (\mathbf{F}_i(T) + \mathbf{F}_e(\mathbf{r}, \mathbf{v}, \mathbf{E})), \quad (1)$$

$$\mathbf{S}(\mathbf{F}, \mathbf{v}) = \mathbf{v}\Delta t + \frac{\mathbf{F}\Delta t^2}{4m}, \quad \mathbf{v}(\mathbf{S}) = \mathbf{S} / \Delta t, \quad \mathbf{r}^{[k]} = \mathbf{r}^{[k-1]} + \mathbf{S}, \quad (2)$$

$$\Delta L = \frac{L(\mathbf{r}) - L_0(T)}{\max(n_1, n_2)}, \quad (3)$$

$$\mathbf{F}_{i+1} = \mathbf{F}_i + \frac{\mathbf{D}}{D} \Delta F, \quad \mathbf{F}_{2i+1} = \mathbf{F}_{2i} - \frac{\mathbf{D}}{D} \Delta F, \quad (4)$$

$$L_0(T) = L \left(1 + T \frac{4}{Ed^2} \right), \quad (5)$$

$$\Delta F = \frac{\Delta L}{\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \Delta t}, \quad T_{i+1} = T_i + \Delta F, \quad (6)$$

где \mathbf{F} – результирующая сила, \mathbf{F}_i – внутренние силы, \mathbf{F}_e – внешние силы, действующие на узел; \mathbf{v} – скорость узла; \mathbf{r} – координаты узла; m – масса элементов, сосредоточенная в узле; Δt – время шага алгоритма; \mathbf{S} – перемещение узла за текущий шаг; $\bar{\mathbf{v}}$ – средняя скорость на текущем шаге; k – номер шага; $L(\mathbf{r})$ – вычисленная по координатам узлов длина элемента, $L_0(T)$ – необходимая длина элемента после деформации, n_1 и n_2 – количество присоединенных к смежным узлам элементов; \mathbf{F}_1 и \mathbf{F}_2 – внутренние силы смежных узлов; ΔF – невязка внутренней силы; \mathbf{D} – смещение узла 2 относительно узла 1; E – модуль упругости элемента; d – диаметр элемента; T – сила натяжения элемента.

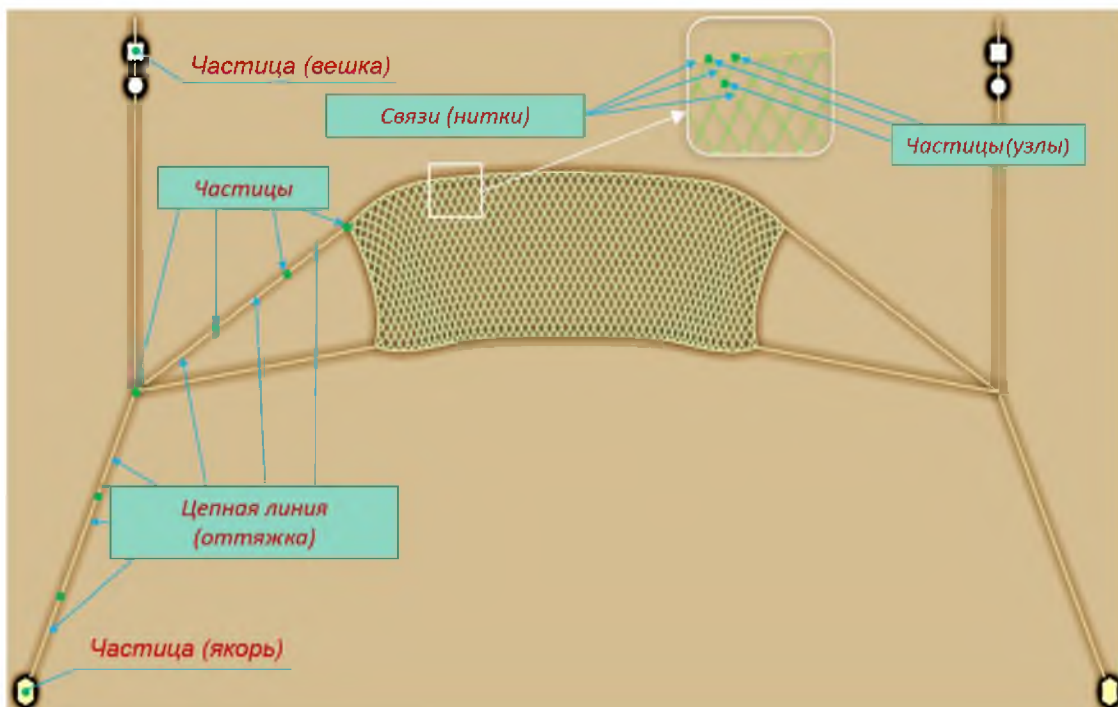
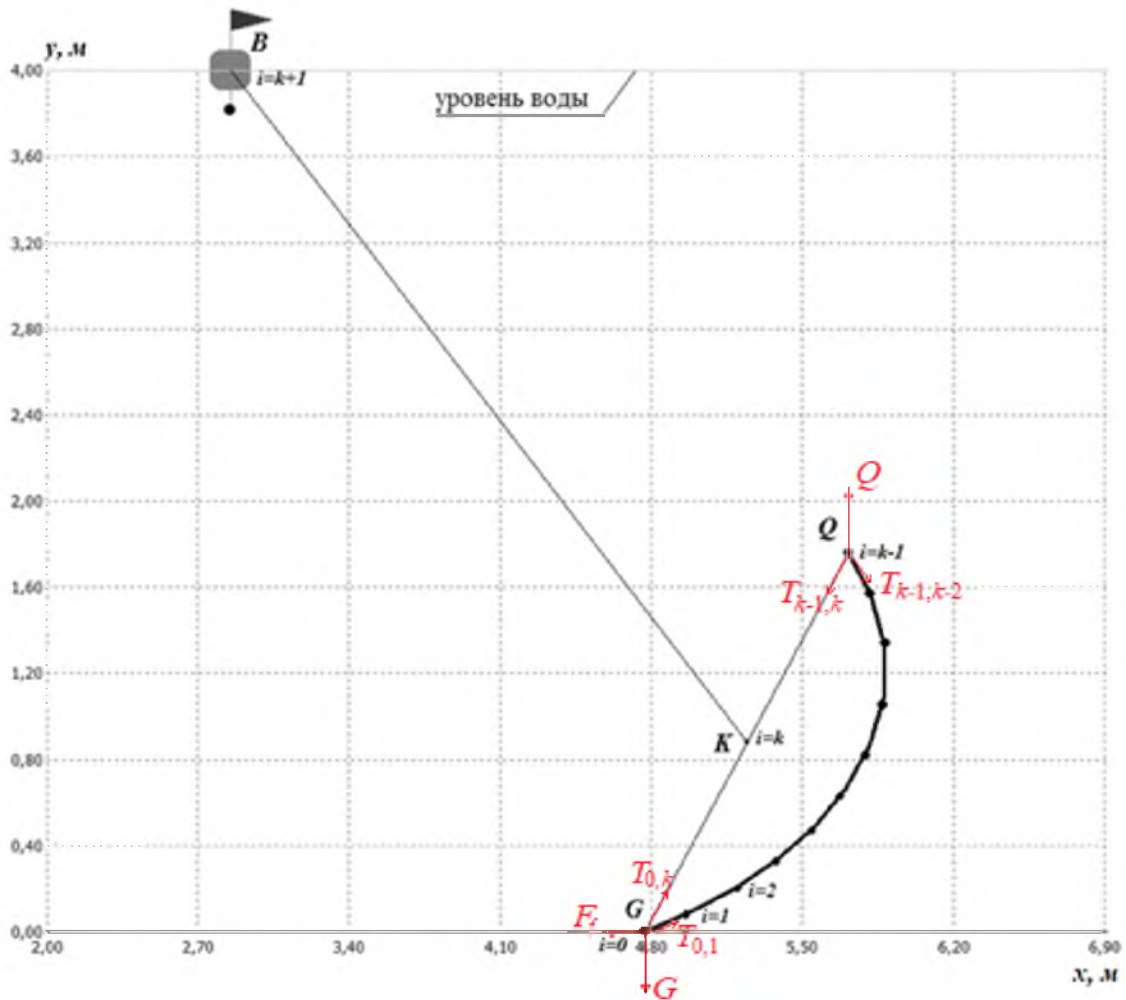


Рисунок 2 – Расчетная схема ставной сети



Q – верхняя подбора и действующая на нее гидростатическая сила; G – нижняя подбора и результирующая действующих на нее силы тяжести, гидростатической силы и силы отталкивания от грунта; B – вешка; K – точка соединения оттяжки вешки с поводцами; F_f – сила трения нижней подборы о грунт; $T_{0,k}$, $T_{k-1,k}$ – силы натяжения в нижнем и верхнем поводце; $T_{0,1}$, $T_{k-1,k-2}$ – силы натяжения в сетном полотне у нижней и верхней подборы

Рисунок 3 – Расчетная схема плавной сети в плоскости OXY

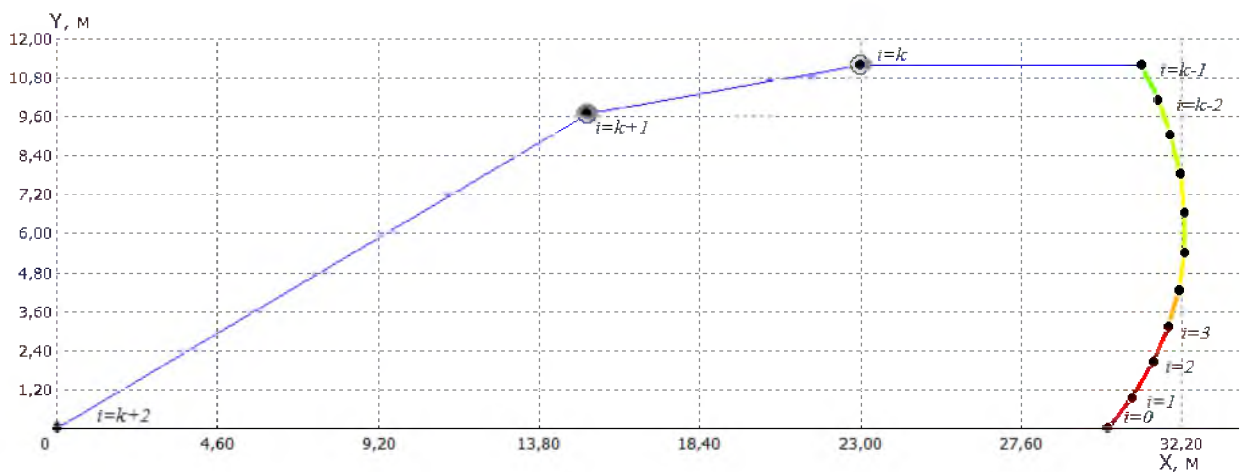


Рисунок 4 - Расчетная схема крыла ставного подвесного невода

Рассмотрена расчетная схема волнения при двумерной постановке задачи (7). На рисунке 5 показан профиль волны согласно модели Стокса-Релея.

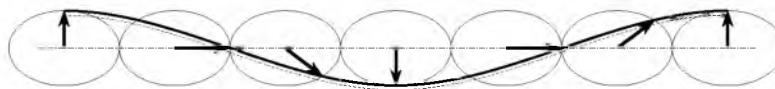


Рисунок 5 - Профиль волны, соответствующий модели Стокса-Релея

$$\left\{ \begin{array}{l} u_w = \frac{hg}{2c} \cdot \frac{\cosh(kz_0)}{\cosh(kH)} \cos t_w \\ w_w = \frac{hg}{2c} \cdot \frac{\sinh(kz_0)}{\cosh(kH)} \sin t_w \end{array} \right. , \left\{ \begin{array}{l} x = Rt_w + a_0 \sin t_w + ct \\ z = H + d_0 - b_0 \cos t_w \end{array} \right. , \quad (7)$$

где u_w , w_w - проекции скорости воды на оси прямоугольной декартовой системы координат; h - высота волны; c - скорость распространения волны; g - ускорение свободного падения; $k=2\pi/\lambda$; λ - длина волны; H - глубина места лова; z_0 - высота от дна водоема; t_w - промежуточная величина системы параметрических уравнений; t - время; a_0 - горизонтальная, b_0 - вертикальная полуоси эллипса; $d_0=0.25\pi h^2/\lambda$ - поднятие центра орбит, вызванное несимметричностью волны относительно линии, определяющей положение воды в покое.

Рассмотрена композиция расчетной схемы волнения и дискретной расчетной схемы методом точечных масс при динамической постановке задачи для ставной сети, плавной сети, крыла ставного подвешного невода; расчет сетных орудий рыболовства методом точечных масс с применением неявной конечно-разностной схемы при динамической постановке задачи.

В третьей главе «Алгоритмы расчета сетных орудий рыболовства» рассмотрены:

- требуемые вычислительная база на основе персонального компьютера с центральным и графическим процессорами, и инструментарий разработки программного обеспечения;

- вычислительные алгоритмы, основанные на методе точечных масс, для расчета сетных орудий рыболовства при статической и динамической постановке задачи;

- блок-схемы алгоритмов (рисунок 6) и пошаговое их описание; фрагменты кодов на центральном и графическом процессоре с использованием SIMD-инструкций. На рисунке 6 использованы следующие обозначения: F_i – внутренняя сила, приложенная к узлу; F_e – внешняя сила, приложенная к узлу; T – сила натяжения элемента (веревки); T_2 – итоговая сила натяжения элемента (результат); X_1 – координаты узла в начале расчетного шага; X_2 – координаты узла в конце расчетного шага; V – вектор средней скорости перемещения узла на период шага; $im = 1/m$ – обратная масса, сосредоточенная в узле (для фиксированных узлов $im=0$); D – покоординатный размер элемента после перемещения; $links1, links2$ – количество элементов, связанных с узлом; L – начальная длина элемента (без растяжения); E – модуль упругости элемента; A – площадь поперечного сечения элемента; dL – невязка по длине; dF_{ia} – невязка по натяжению; t – длительность расчетного шага; $epsX$ – заданная погрешность расчета перемещений. Индексы [1] и [2] обозначают первый и второй узел элемента.

- примеры реализации алгоритмов в компьютерных программах.

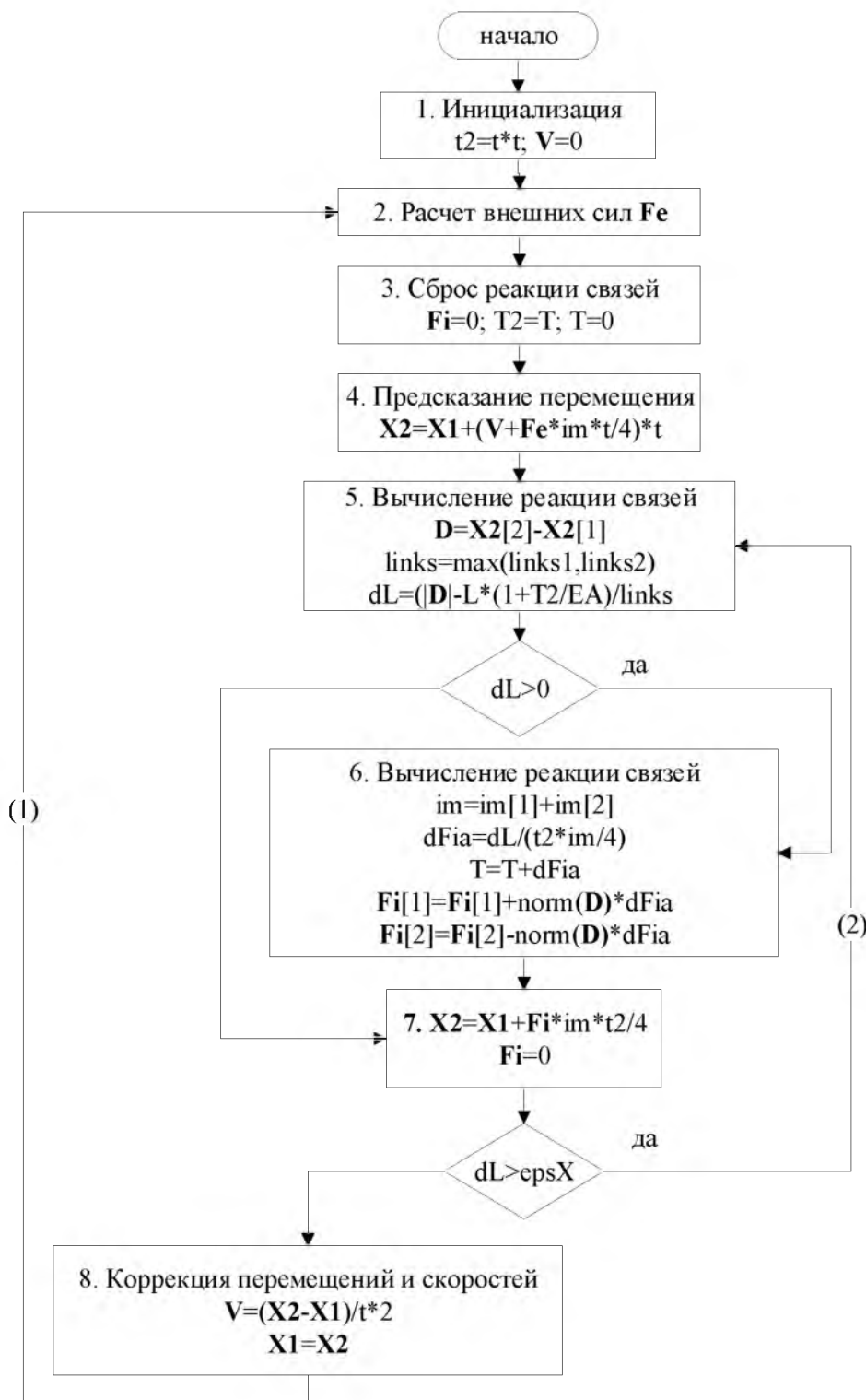


Рисунок 6 – БСА расчета КВИ в динамике

В четвертой главе «Верификация вычислительных экспериментов и анализ результатов»:

- приведены вычислительные эксперименты с цилиндрической сетной конструкцией; ставной сетью, разработанные на основе методов интерполяции и

точечных масс; плавной сетью, крылом ставного подвесного невода при статической и динамической (в условиях неравномерного во времени течения и волнения) постановке задачи;

- проведен анализ сходимости результатов численных и натуральных экспериментов с сетью; среднее отклонение по геометрии не превышает 9 % и вызвано: технологическим разбросом изготовления натурной сети; тем, что толщина узлов при численном эксперименте не учитывается; форма натуральных ячеек при небольших Ux не является геометрическим ромбом; ограниченной точностью измерений (при помощи линейки);

- проведен анализ сходимости результатов численных и натуральных экспериментов с сетью; отклонения по геометрии не превышают 8 %;

- проведен анализ сходимости результатов численных экспериментов с сетью с результатами, полученными расчетом эмпирическим методом (таблица 1); отклонения по геометрии (по значению вертикальной проекции сети h) не превышают 3 %, отклонения по силе гидродинамического сопротивления сети R_x не превышают 5 %;

Таблица 1 - Сравнительные результаты

Параметр	Вычислительный эксперимент	Эмпирический метод
Скорость течения $v=0,03$ м/с		
R_x	0,84 Н	0,87 Н
h	1,04 м	1,06 м
Скорость течения $v=0,1$ м/с		
R_x	1,59 Н	1,67 Н
h	0,79 м	0,81 м

- проведен анализ сходимости результатов численных и натуральных экспериментов с сетью при изменяющемся течении (в динамике); при графическом анализе результатов ошибка расхождения экспериментальных значений составила не более 8%.

Заключение

По результатам диссертационного исследования разработаны методы, вычислительные алгоритмы и программы для ЭВМ, позволяющие на стадии проектирования и в процессе эксплуатации сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства определять их характеристики для выбора оптимальных режимов работы. Результаты проведенного научного исследования позволяет сделать следующие выводы:

- Недостатки континуальных расчетных схем в сравнении с дискретными: размер и неравномерность ячей, растяжение и провисание нитей при их натяжении не учитывается; расчет только при статической постановке задачи; сложность, а то и невозможность двумерной и трехмерной детальной схематизации орудия лова; невозможность совместить во времени вычислительные алгоритмы на многоядерных, гетерогенных и распределенных системах.

- Задачи по расчету геометрии и сил натяжения в элементах сетной цилиндрической конструкции под действием гидростатических сил и сил тяжести при трехмерной постановке могут быть сведены к двумерному случаю для упрощения дискретной расчетной схемы.

- В задачах, по условиям которых нет необходимости детально рассчитывать форму сети и силы натяжения в ее нитках, а также при расчете без учета растяжений и провисаний ниток, можно применять предложенный огрубленный метод при помощи дискретной расчетной схемы по шести базовым расчетным точкам с последующим нахождением промежуточных значений методом интерполяции по расчетной сетке, сведя трехмерную постановку к псевдотрехмерной.

- Для задач расчета сетного орудия рыболовства при статической постановке, в которых необходимо учитывать натяжение в нитках, прогиб, перекося и провисание ниток, возможный их разрыв, отклонение в длине и диаметре ниток, вызванное погрешностью при изготовлении и процессом износа орудия лова, можно применять разработанный метод точечных масс.

- Для задач расчета формы и нагрузок сетного орудия рыболовства и его элементов в условиях изменяющегося во времени течения, учета переходных процессов и, возникающих при них, кратковременных перегрузок, необходимо вести расчет в динамике с учетом масс и скоростей элементов. Данная задача решается тем же методом точечных масс, что и при статической постановке, но в расчетной схеме уравнения равновесия заменяются дифференциальными уравнениями движения при заданных начальных и граничных условиях.

- Для расчета динамики орудий рыболовства в условиях волнения и шторма с учетом профиля волны на поверхности водоема, зависимостей поля скоростей водной среды от глубины лова, скорости вынужденного и ветрового течения и шероховатости дна водоема на базе волновой модели Стокса-Релея была разработана расчетная схема волнения. Применение разработанной расчетной схемы в композиции с методом точечных масс позволяет совместить во времени вычисления профиля волны и поля скоростей с расчетом силовых и пространственно-временных характеристик орудия рыболовства, тем самым увеличив скорость расчета, что критично для задач реального времени.

- Применение при расчете неявной конечно-разностной схемы позволяет увеличить точность вычислений, ускорить сходимость и увеличить устойчивость вычислительных алгоритмов. Предложенный метод решения с применением неявного метода Эйлера, противоточных производных, разложением силовой функции от скоростей и перемещений в ряд Тейлора с аппроксимацией первого порядка сводит систему нелинейных уравнений к системе линейных уравнений с последующим ее решением методом сопряженных градиентов.

- Разработанные вычислительные алгоритмы эффективно оптимизируются путем распределения вычислений между такими ресурсами ЭВМ, как центральные и графические процессоры (гетерогенная система).

- При анализе сходимости результатов численных экспериментов с результатами натуральных экспериментов погрешность вычислений геометрических и силовых характеристик не превышает 9 %.

Разработанные методы и алгоритмы направлены способствуют автоматизации процесса проектирования и эксплуатации орудий рыболовства, что приведет к увеличению эффективности лова, улучшению качества (за счет уменьшения ошибок проектирования, увеличения точности расчетов) сетных орудий рыболовства, ускорению процесса их проектирования, уменьшению трудозатрат при проектировании и в процессе эксплуатации, стоимости разработки и себестоимости конечного продукта. Разработанное с использованием результатов исследования программное обеспечение будет способствовать решению задачи импортозамещения программного обеспечения для рыбодобывающей отрасли.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Издания ВАК

1. Недоступ, А.А. Математическое моделирование сетного полотна, закрепленного к обручу / А.А. Недоступ, А.А. Павленко, **А.О. Ражев** // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. Орел. №. 2-2 (292). 2012. - С. 87-95.
2. Недоступ, А.А. Моделирование динамических характеристик ставной сети / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // *Рыбное хозяйство*. №2. - 2013. - С. 97-99.
3. Недоступ, А.А. Исследование геометрических и силовых характеристик ставной пространственной сети / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев**, Д.А. Володько // *Вестник Астраханского государственного технического университета*. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань. АГТУ. №2. 2013. - С. 116-121.
4. Недоступ, А.А. Математическое моделирование динамических процессов крыла ставного подвешного невода при изменяющемся течении типа / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // *Известия КГТУ*. №33. - 2014. - С. 44-52.
5. Недоступ, А.А. Создание компьютерной программы моделирования динамических процессов крыла ставного подвешного невода при изменяющемся течении типа / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // *Известия КГТУ*. №34. - 2014. - С. 95-102.
6. Недоступ, А.А. Разработка математической модели крыла ставного подвешного невода на волнении и в условиях шторма типа / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // *Известия КГТУ*. №35. - 2014. - С. 66-74.
7. Недоступ, А.А. Исследование силовых и пространственно-временных характеристик крыла ставного подвешного невода при изменяющемся течении типа / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // *Рыбное хозяйство*. №4. - 2014. - С. 110-112.
8. Недоступ, А.А. Исследование силовых и пространственно-временных характеристик крыла ставного невода на волнении / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // *Рыбное хозяйство*. №5. - 2014. - С. 86-88.
9. Недоступ, А.А. Разработка модели волнения при неравномерном течении на основании волнового профиля и скоростного поля водной массы типа / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // *Известия КГТУ*. №38. - 2015. - С. 45-52.

10. Недоступ, А.А. Создание имитационной модели погружения, всплытия ставного невода в условиях волнения при неравномерном течении / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // Рыбное хозяйство. №4. - 2016. - С. 95-99.
11. Недоступ, А.А. Расчет сил гидродинамического сопротивления сетных орудий рыболовства в задачах имитационного их моделирования / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // Известия КГТУ. №42. - 2016. - С. 185-192.
12. Недоступ, А.А. Математическое моделирование работы плавной сети в условиях волнения реки / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань. АГТУ. №3. 2016. - С. 45-52.
13. Недоступ, А.А. Оптимизация расчета сил гидродинамического сопротивления при компьютерном моделировании садков аквакультуры / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань. АГТУ. №4. 2016. - С. 20-25.
14. Недоступ, А.А. Моделирование композитных сетных конструкций методом точечных масс при динамической постановке задачи / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев**, В.К. Коротков // Морские интеллектуальные технологии (в базе Web of Science). №4(42) Т.4. 2018. - С. 254-258.
15. Недоступ, А.А. Моделирование напряжений в жестких сетных конструкциях методом конечных элементов / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев**, В.К. Коротков // Морские интеллектуальные технологии (в базе Web of Science). №4(42) Т.4. 2018. - С. 259-264.

Издания РИНЦ

1. Недоступ, А.А. Практическое применение расчета сетных оболочек с использованием дискретной модели / А.А. Недоступ, А.А. Павленко, **А.О. Ражев** // Материалы сборника «Научные труды Дальрыбвтуза». Промышленное рыболовство. Акустика. Т. 25. Владивосток, Дальрыбвтуз, 2012. - С. 44-53.
2. Недоступ, А.А. Математическое моделирование динамических процессов плавной сети / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // Материалы сборника «Научные труды Дальрыбвтуза». - Т. 29. - Владивосток. - Дальрыбвтуз. - 2013. - С. 46-56.
3. Недоступ, А.А. Создание компьютерной программы по расчету динамических характеристик плавной сети / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // Материалы сборника «Научные труды Дальрыбвтуза». - Т. 29. - Владивосток. - Дальрыбвтуз. - 2013. - С. 57-66.

Международные издания

1. Недоступ, А.А. Правила подобия сложных динамических систем / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // Теоретическая и прикладная механика : международный научно-технический сборник : Вып. 31 / главный редактор А.В. Чигарев. - Минск: БНТУ, 2016. – С. 73-78.

Монографии

1. Недоступ, А.А. Математическое моделирование орудий и процессов рыболовства / А.А. Недоступ, В.А. Наумов, **А.О. Ражев**, А.В. Белых // Ч.І: Монография. Калининград: Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. - 253 с.
2. Недоступ, А.А. Математическое моделирование орудий и процессов рыболовства / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев** // Ч.ІІ: Монография. Калининград: Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. - 249 с.
3. Недоступ, А.А. Математическое моделирование орудий и процессов рыболовства / А.А. Недоступ, **А.О. Ражев**, Е.В. Соколова, В.В. Макаров // Ч.ІІІ: Монография. Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ», 2016. - 184 с.

Программы для ЭВМ

1. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2014610319 (9 января 2014 г.) «**Расчет динамических характеристик ставной разноглубинной сети**». Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**

2. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2014610320 (9 января 2014 г.) **«Донная ставная сеть»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
3. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2014610321 (9 января 2014 г.) **«Расчет динамических характеристик плавной сети с буями»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
4. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2014610325 (9 января 2014 г.) **«Расчет динамических характеристик ставной разноглубинной сети с оттяжками и поводцами»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
5. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2014610318 (9 января 2014 г.) **«Расчет динамических характеристик ставной разноглубинной сети с вешками»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
6. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2014610054 (9 января 2014 г.) **«Расчет динамических характеристик ставной донной сети»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
7. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2014610317 (9 января 2014 г.) **«Динамика крыла ставного подвешного невода»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
8. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2014610196 (9 января 2014 г.) **«Расчет динамических характеристик плавной сети»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
9. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2015613052 (3 марта 2015 г.) **«Динамика крыла ставного подвешного невода на волнении»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
10. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2016662583 (15 ноября 2016 г.) **«Расчет динамических характеристик плавной сети на волнении»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
11. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2016663339 (05 декабря 2016 г.) **«Расчет динамических характеристик ставной разноглубинной сети с оттяжками и поводцами на волнении»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
12. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2016662391 (9 ноября 2016 г.) **«Расчет динамических характеристик плавной сети с буями на волнении»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
13. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2016662584 (15 ноября 2016 г.) **«Расчет динамических характеристик ставной разноглубинной сети на волнении»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
14. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2016662783 (22 ноября 2016 г.) **«Расчет динамических характеристик ставной разноглубинной сети с вешками на волнении»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
15. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2016663268 (29 ноября 2016 г.) **«Расчет динамических характеристик ставной донной сети на волнении»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
16. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2017610404 (10 января 2017 г.) **«Динамика крыла ставного подвешного невода на волнении версия 2»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**
17. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2018618725 (19 июля 2018 г.) **«Механика орудий внутреннего и прибрежного рыболовства – Менеджер программ»**. Авторы: Недоступ А.А., **Ражев А.О.**

Подписано в печать _____ 2020 г. Заказ № _____, объем 1 п.л., Бумага 60×84(1/16). Тираж 100 экз.

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ» 236022, Калининград, Советский пр-т, 1