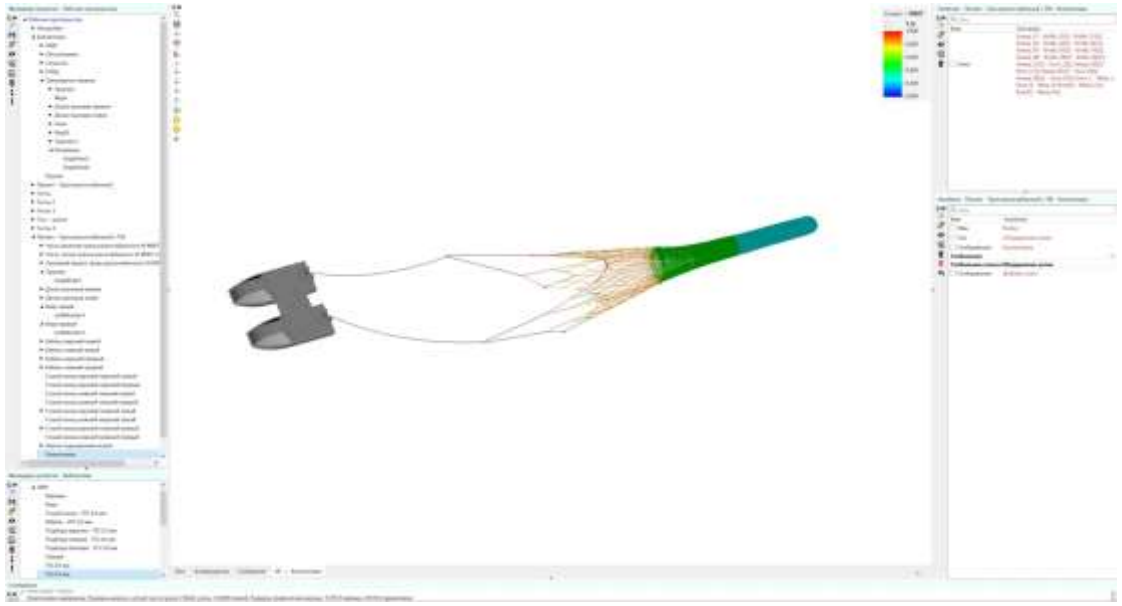
БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ

XIV Национальная научная конференция с международным участием
«Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии»

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОПОДПОРА В СЕТНОЙ КОНСТРУКЦИИ



Авторы:
к.т.н. Ражев Алексей Олегович
к.т.н., доцент Недоступ Александр Алексеевич
к.т.н., Насенков Павел Владимирович
к.т.н., Коновалова Карина Витальевна

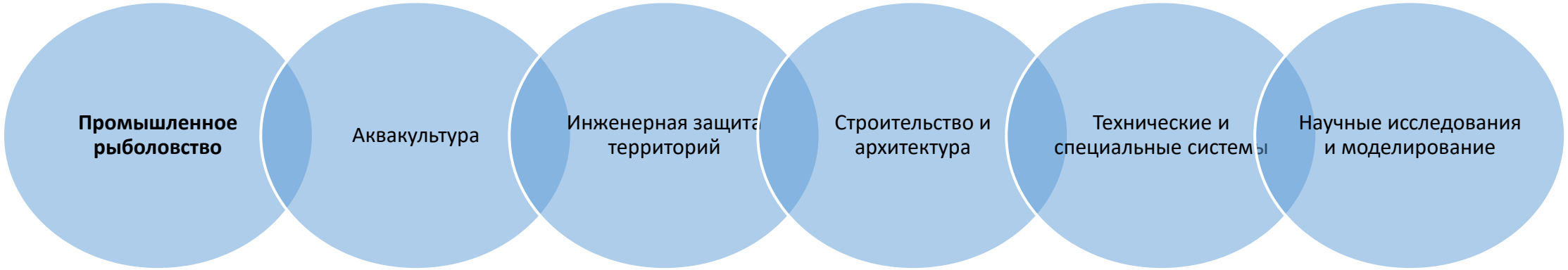
Докладчик:
Ражев Алексей Олегович

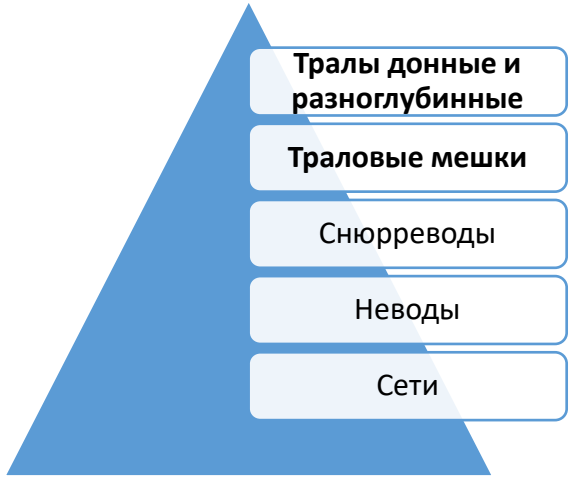
КГТУ
КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Исследование выполнено в ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-00008, https://rscf.ru/project/25-21-00008/

Введение

Области применения сетных инженерных конструкций





Гидроподпор - изменение поля скоростей и давления внутри и снаружи сетной конструкции.

Оказывает критическое влияние на:

- Форму тралового мешка,
- Селективность,
- Энергоэффективность траления.

Сайт проекта: https://лцт.рф/hydro

Разработанные программные модули внедрены в Систему автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства (САПР-ОР), разрабатываемую авторами исследования

DigiTech Laboratory

КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Научная проблема

Создание адекватной имитационной модели, способной одновременно учитывать три группы факторов:

- **гидродинамические силы**, действующие на сетную оболочку в условиях гидроподпора;
- **геометрию** и переменную жесткость сетной конструкции;
- **поведенческие реакции** гидробионтов, приближающихся к траловому мешку.

Существующие подходы, как правило, рассматривают эти аспекты изолированно, что снижает точность прогноза

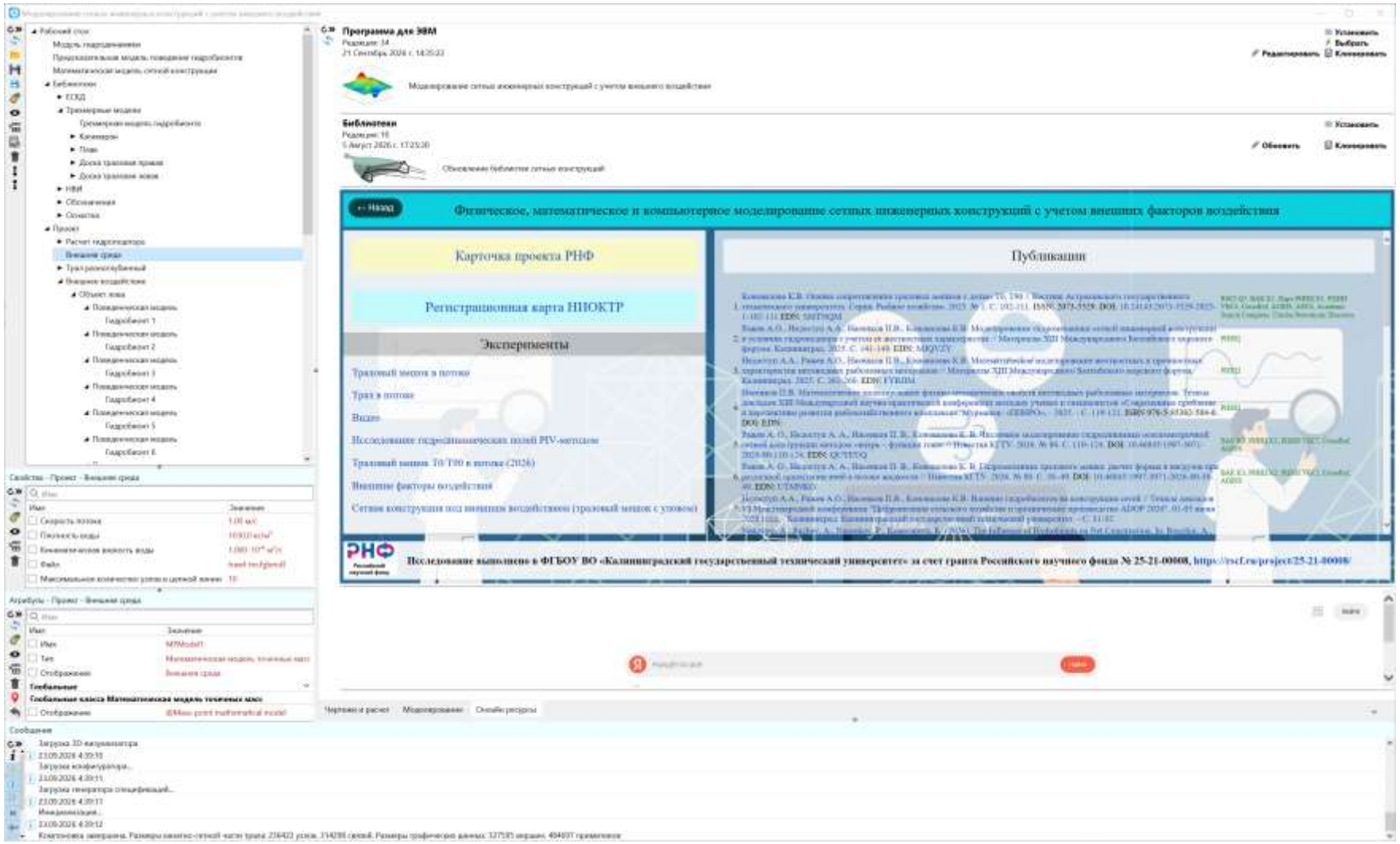
Решение

Разработка математических и имитационных модели, а и программного комплекса, объединяющих

- численные методы **гидродинамики**;
- **механику** гибких **сетных конструкций**;
- **модели поведения** гидробионтов.

Программа для ЭВМ

Моделирование сетных инженерных конструкций с учетом внешнего воздействия



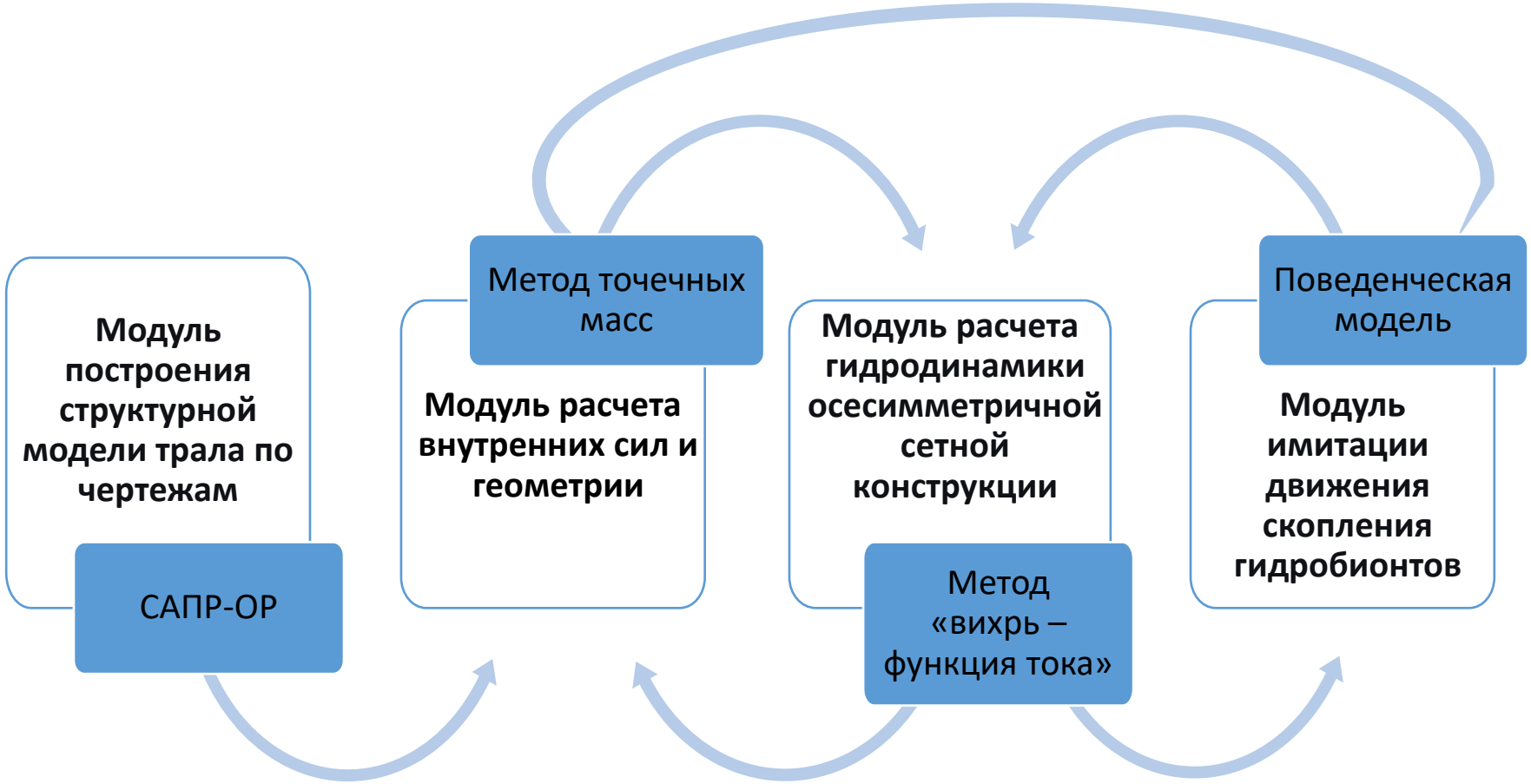
Разработанные программные модули внедрены в Систему автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства (САПР-ОР), разрабатываемую авторами исследования

DigiTech Laboratory

КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Методы решения

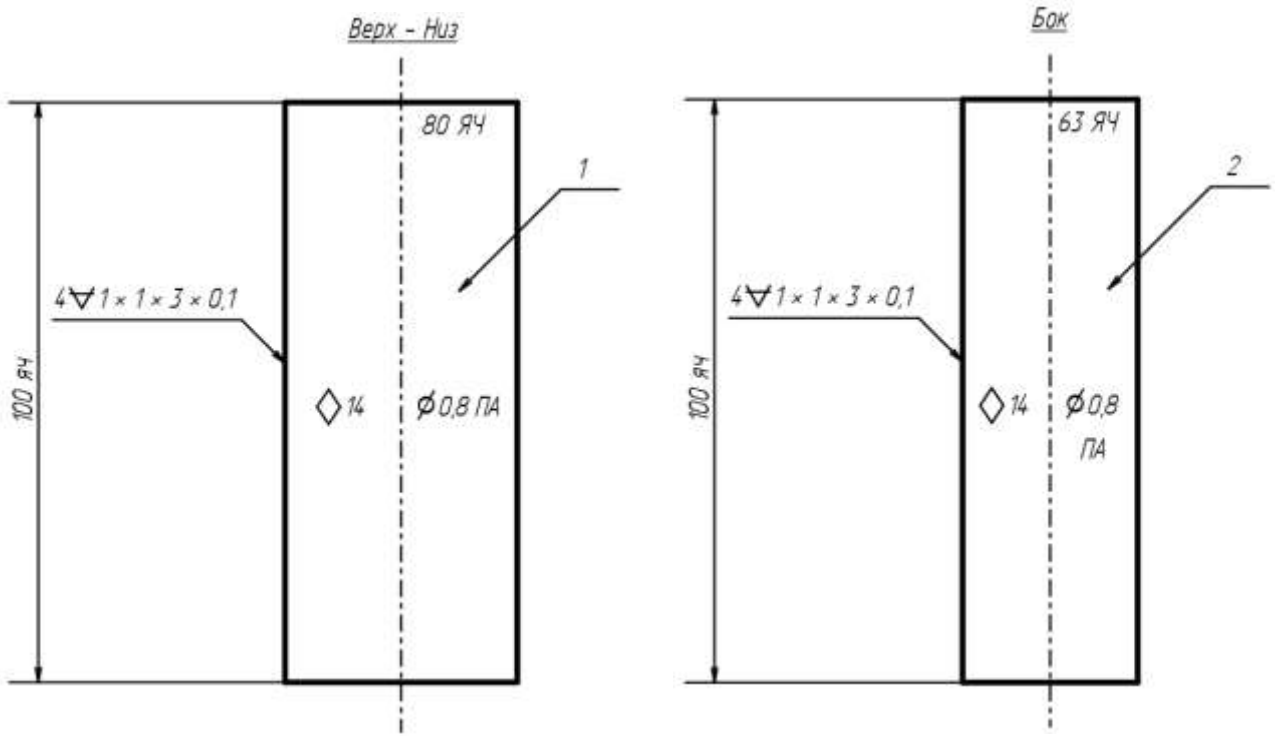
Четыре взаимосвязанных модуля, образующих единый вычислительный комплекс

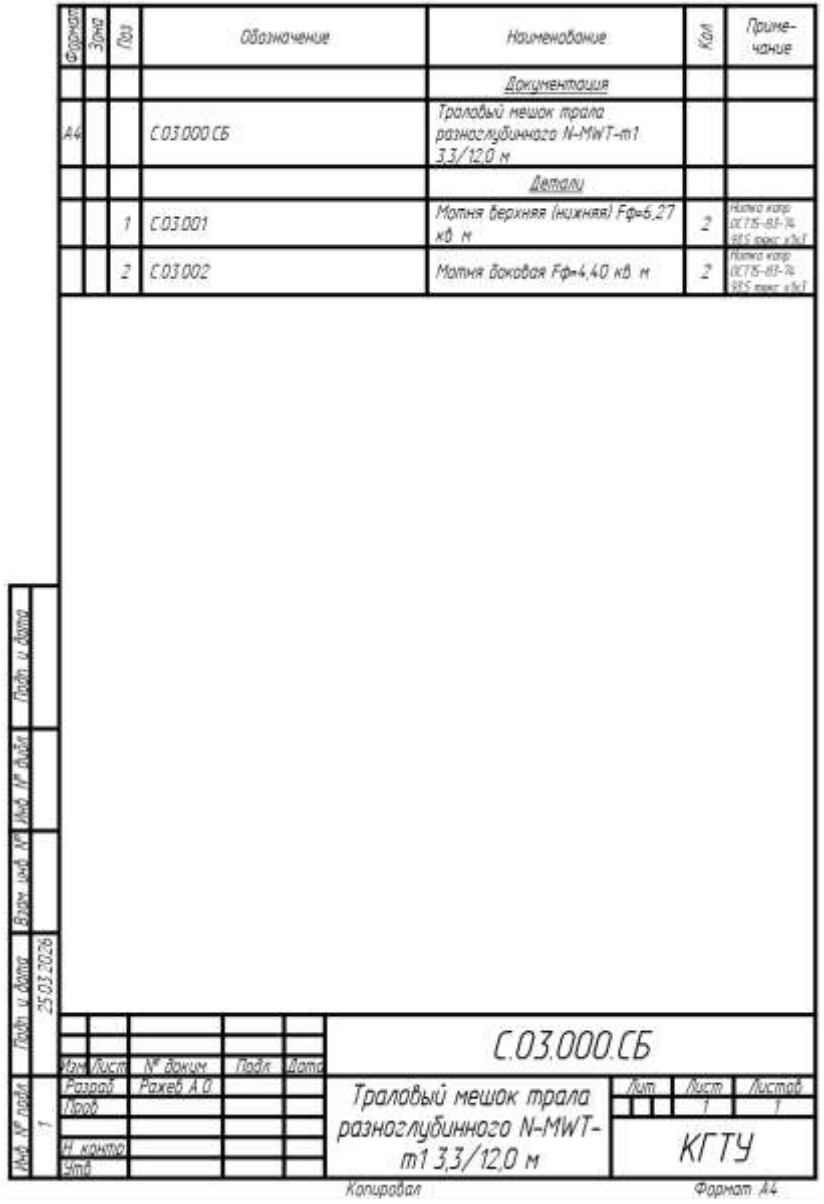


Построение структурной модели трала по чертежам

Графические примитивы и спецификация

Структурированные данные для математической модели





Формат	Зона	Поз	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
				Документация		
А4			С.03.000.СБ	Траловый мешок трала разноглубинного N-MWT-m1 3,3/12,0 м		
				Детали		
		1	С.03.001	Мотня верхняя (нижняя) Fф=6,27 кв. м	2	Нитка капр ОСТ15-83-74 93,5 текс х1х3
		2	С.03.002	Мотня боковая Fф=4,40 кв. м	2	Нитка капр ОСТ15-83-74 93,5 текс х1х3

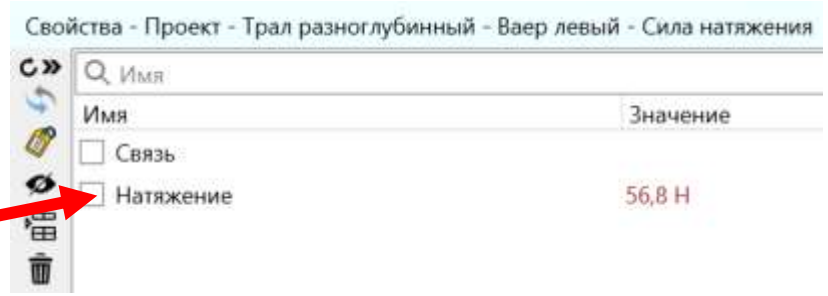
Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата 25.03.2026 | Инв. № подл. 1

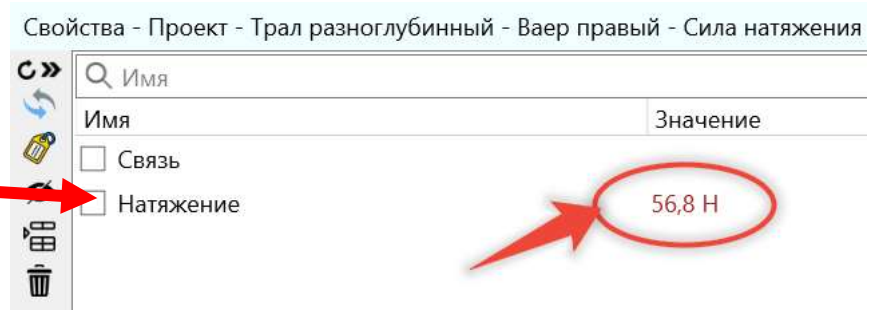
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	С.03.000.СБ		
Разраб.		Ражев А.О.			Траловый мешок трала разноглубинного N-MWT-m1 3,3/12,0 м	Лит.	Лист 1	Листов 1
Пров.						КГТУ	
Н. контр.							
Утв.							

Копировал | Формат А4

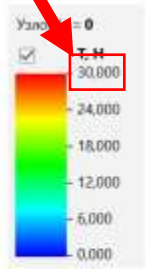
Расчет внутренних сил и геометрии

- Трал разноглубинный
  - Часть канатная трала разноглубинного N-MWT-m1 3,3/12,0 м
  - Часть сетная трала разноглубинного N-MWT-m1 3,3/12,0 м
  - Траловый мешок трала разноглубинного N-MWT-m1 3,3/12,0 м
  - Траулер
  - Доска траловая правая
  - Доска траловая левая
  - Ваер левый
    - Сила натяжения
  - Ваер правый
    - Сила натяжения
  - Кабель верхний левый
  - Кабель нижний левый
  - Кабель верхний правый
  - Кабель нижний правый
  - Голый конец верхний-верхний левый
  - Голый конец верхний-верхний правый
  - Голый конец нижний-нижний левый
  - Голый конец нижний-нижний правый
  - Голый конец верхний-нижний левый
  - Голый конец нижний-верхний левый
  - Голый конец верхний-нижний правый
  - Голый конец нижний-верхний правый
  - Щиток гидродинамический
  - Компоновка
  - Математическая модель



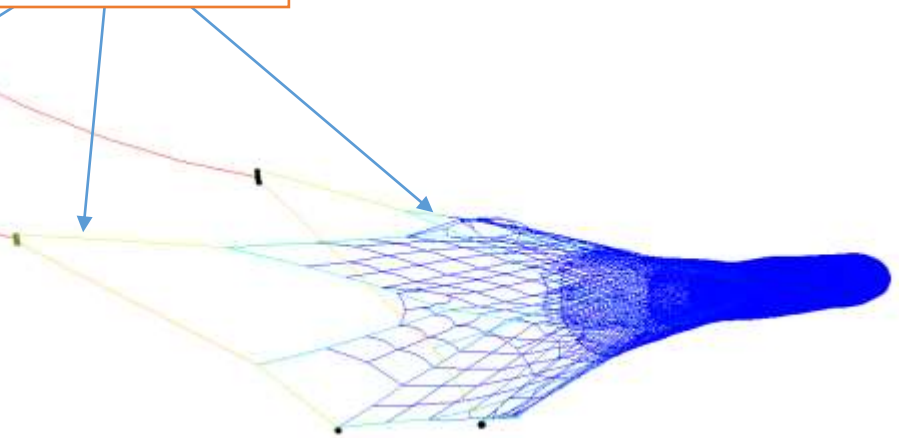


Ограничение визуализатора



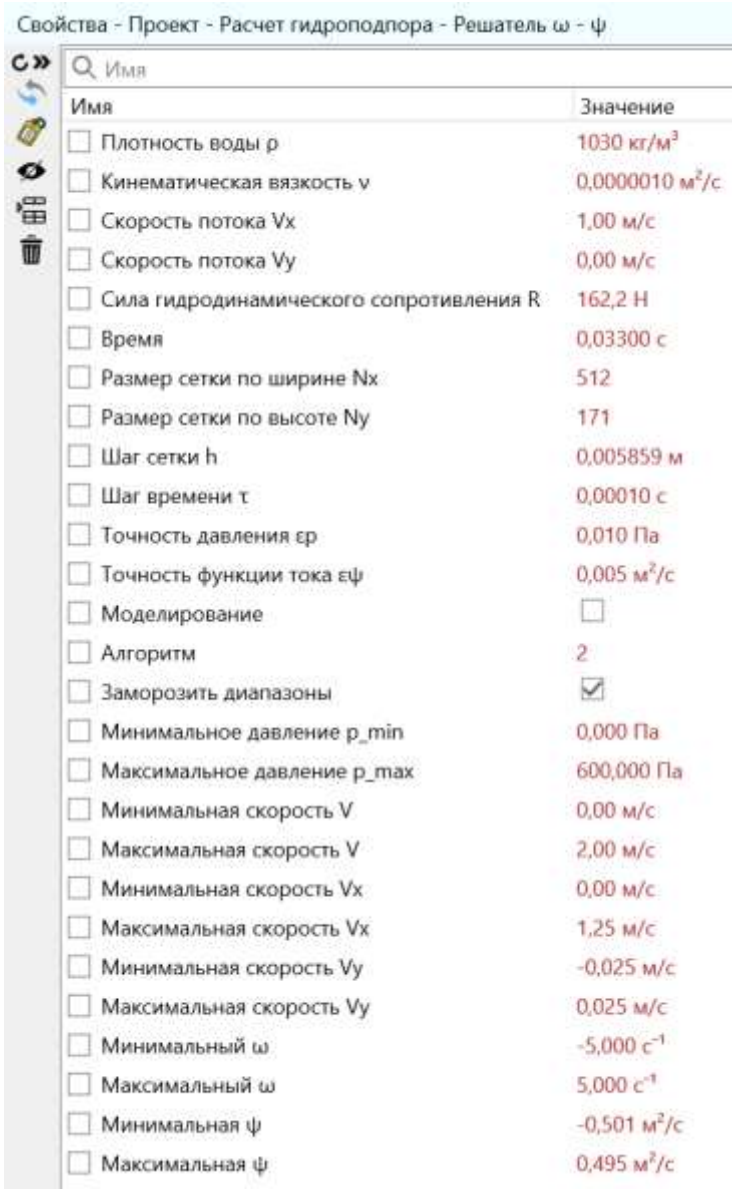


Цвет - Натяжение



Расчет гидродинамики осесимметричной сетной конструкции

Числовые входные и выходные параметры



Дерево решателя

- Расчет гидроподпора
  - Решатель ω - ψ
    - Траловый мешок
    - p - визуализатор
    - V - визуализатор
    - ψ - визуализатор
    - ω - визуализатор
    - Vx - визуализатор
    - Vy - визуализатор

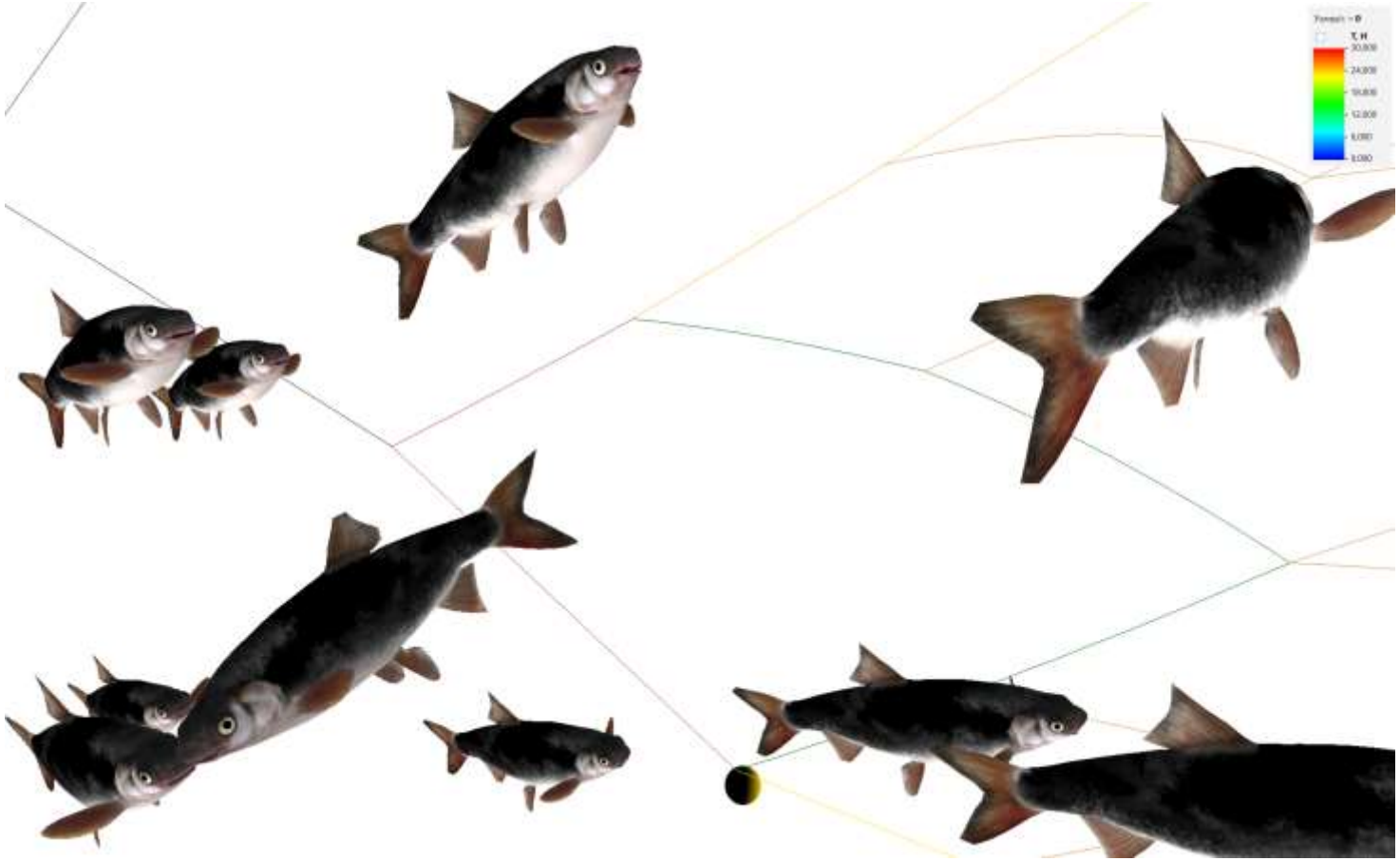
Применен численный метод «**вихрь – функция тока**».

Научная новизна – сведение задачи к расчету в **двухмерной системе координат**, что уменьшит трудоемкость вычислений и ускорит процесс моделирования и получения результата.

Имитация движения скопления гидробионтов

Поведенческие характеристики особи

Имя	Значение
Длина	0,200 м
Масса	0,150 кг
Номинальная скорость	0,119 м/с
Максимальная скорость	0,350 м/с
Коэффициент демпфирования	0,0366 кг·с/м^2
Активность	0,0100 Н
Активная видимость присутствия рыбы	0,0847 м
Предельная видимость присутствия рыбы	0,500 м
Реакция на ближнее присутствие рыбы	-0,0000620 кг·м/с^2
Реакция на дальнее присутствие рыбы	0,0000420 кг·м/с^2
Предельная видимость движения рыбы	0,500 м
Реакция на движение рыбы	0,002000 кг/с
Реакция при подходе к объекту	1,060 кг/м
Реакция при отходе от объекта	0,319 кг/м
Видимость при подходе к объекту	0,150 м
Видимость при отходе от объекта	0,400 м



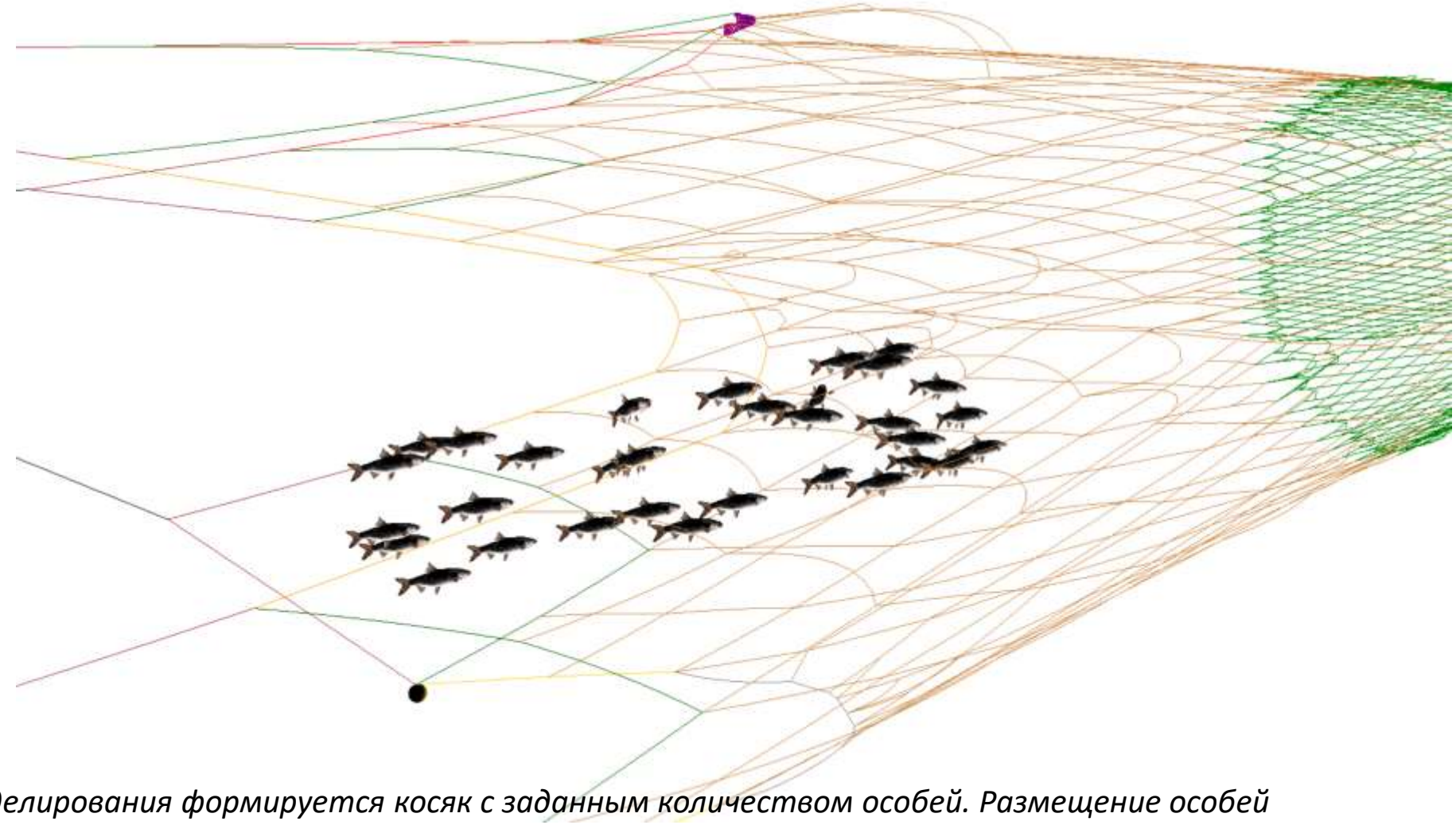
Задаются отдельно для каждой особи

Имитация движения скопления гидробионтов

Формирование косяка

- Внешнее воздействие
  - Объект лова
    - Поведенческая модель
      - Гидробионт 1
      - Поведенческая модель
      - Поведенческая модель
      - Поведенческая модель
        - Гидробионт 4
      - Поведенческая модель
      - Поведенческая модель
      - Поведенческая модель

Косяк – 40 особей



Перед процессом моделирования формируется косяк с заданным количеством особей. Размещение особей происходит автоматически по алгоритму случайного распределения положения и ориентации перед сетной конструкцией (рыболовным тралом)

Численный эксперимент

Условия эксперимента

Конструктивные характеристики тралового мешка

№	Параметр	Обозначение	Значение
1	Количество ячей вдоль оси сетной конструкции	m	20
2	Количество ячей вдоль окружности сетной конструкции	n	10
3	Диаметр левого ряда	D	50 мм
4	Диаметр веревки	d	2 мм
5	Коэффициент утолщения узла	k_y	3
6	Модуль упругости веревки	E	1,1 ГПа

Параметры внешнего воздействия

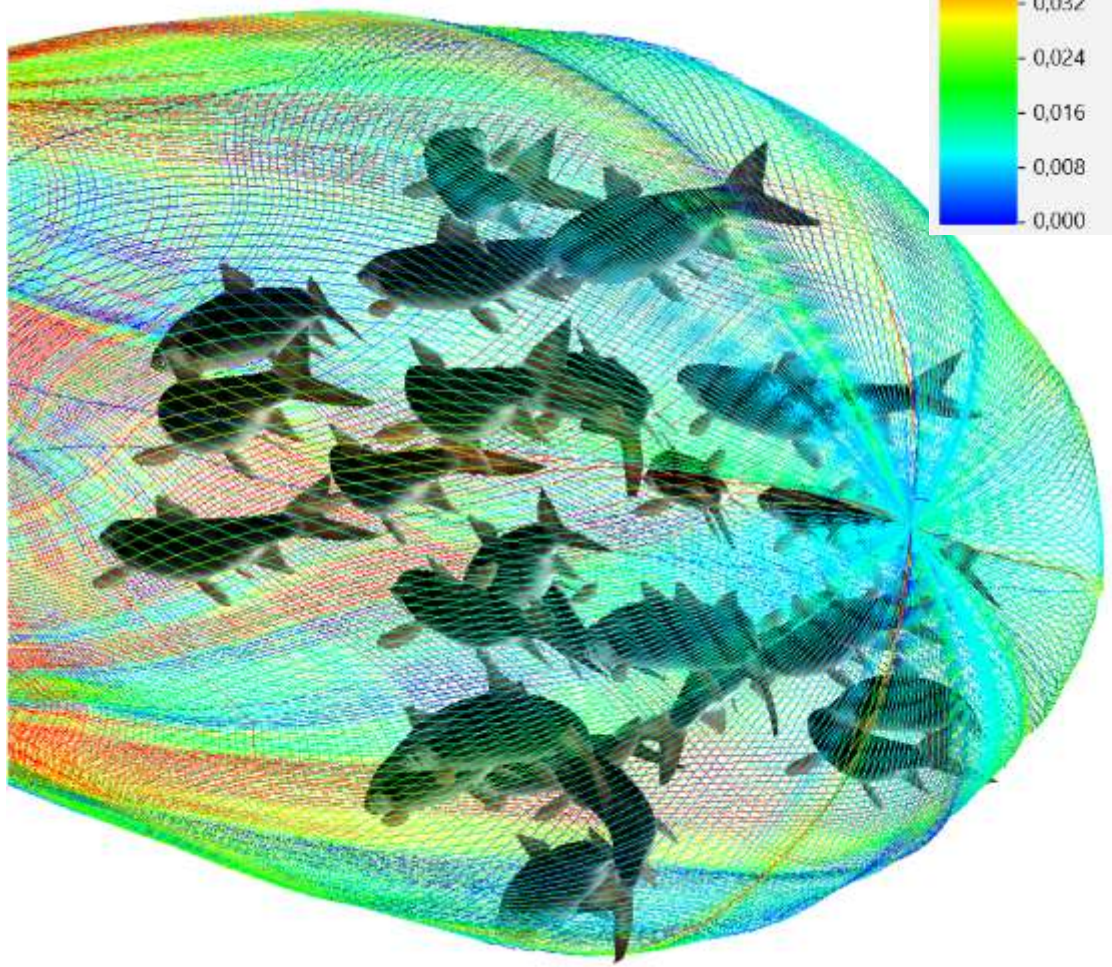
№	Параметр	Обозначение	Значение
1	Скорость траления	v	1 м/с
2	Плотность воды	ρ	1030 кг/м^3
3	Кинематическая вязкость воды	υ	1,000 мм^2/с
4	Объем улова	V	500 см^3

Визуализация результатов численного эксперимента

- Геометрия

- Внутренние силы (натяжения)

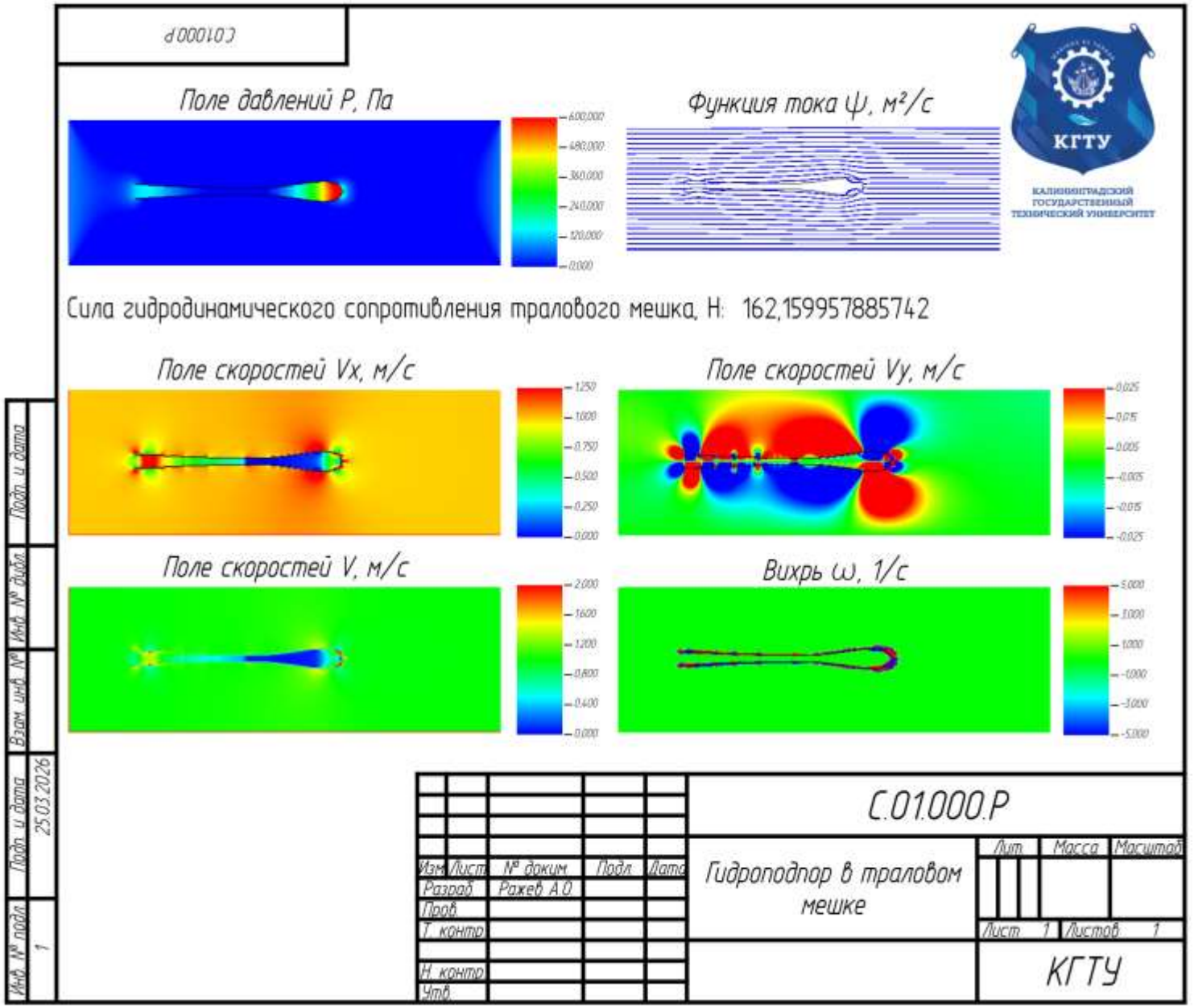




Визуализация результатов численного эксперимента

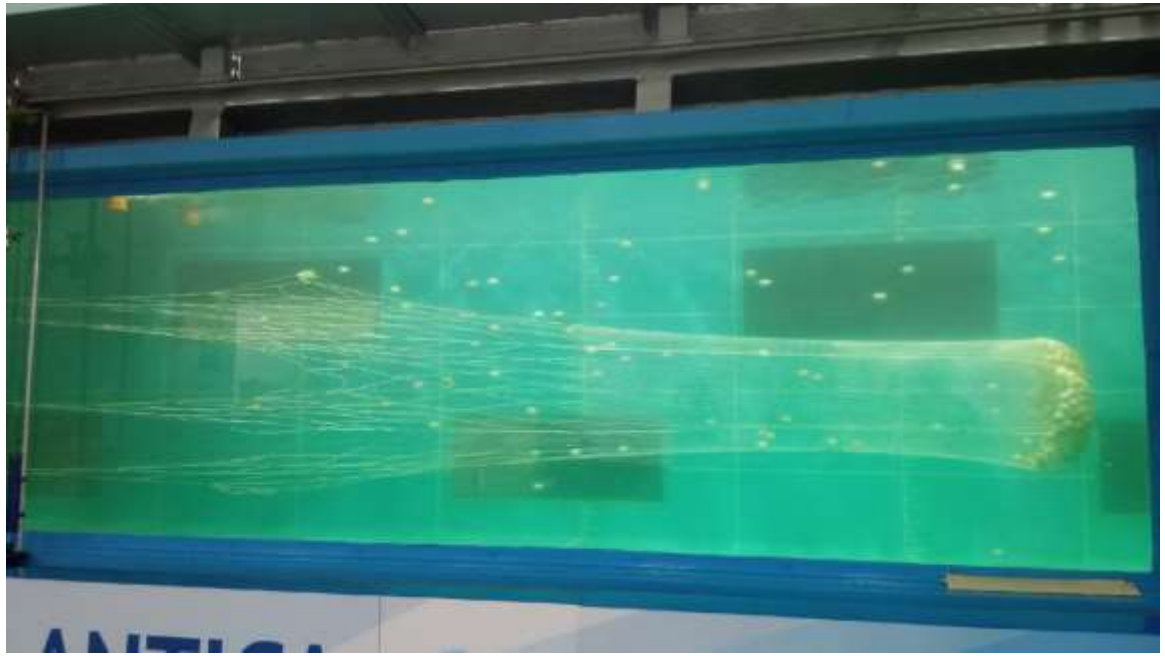
- Внешняя сила гидродинамического сопротивления сетной конструкции с объектом лова

- Гидродинамические поля давления, скорости, вихря и функции тока



Верификация

Натурный эксперимент с физической моделью



В качестве физических аналогов гидробионтов использовались шарики с нулевой плавучестью

Результаты

Параметр	Натурный эксперимент	Численный эксперимент	Расхождение
Гидродинамическое сопротивление без улова R	107,8 Н	113,6	5,1 %
Гидродинамическое сопротивление с уловом R_y	174,0 Н	162,2	7,3 %

Заключение

Результаты

На разработанной программе для ЭВМ проведен численной эксперимент.

Определено:

- минимальный диаметр тралового мешка при ориентации ячеи **Т0** составляет **21,6 мм**, что **меньше** диаметра при ориентации **Т90**, равного **29,0 мм**;
- длина зоны сужения при ориентации **Т90 меньше**, чем при **Т0;**
- при скорости потока **1 м/с**, ориентации ячеи **Т90** и в **отсутствие улова** сила натяжения в одном ваере составила **56,8 Н**, что в сумме соответствует силе гидродинамического сопротивления **113,6 Н;**
- **с учетом улова** сила гидродинамического сопротивления увеличилась и составила **162,2 Н**, что согласуется с результатами экспериментов в гидроканале.

Область применения

научные исследования, учебный процесс, проектирование и эксплуатация рыболовных тралов.

Результаты исследования можно применять при проектировании и эксплуатации рыболовных тралов, в системах виртуальной реальности (тренажерных комплексах), дальнейших фундаментальных и прикладных научных исследованиях в области гидромеханики сетных инженерных конструкций в целом и орудий рыболовства в частности.

Спасибо за внимание!