



Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Применение распределенных вычислительных технологий в корабельной гидродинамике и динамике корабля

Ткаченко И.В., Стецюк И.В., Дукарский А.О., Тряскин Н.В.

Введение

Реализация программы «Университетский кластер» в СПбГМТУ

- *Создание новых учебных курсов;*
- *Проведение научных исследований.*

Структурные подразделения СПбГМТУ, принимающие участие в программе «Университетский кластер»:

- *Кафедра гидроаэромеханики и морской акустики;*
- *Кафедра прикладной математики и математического моделирования;*
- *Кафедра строительной механики корабля;*
- *Кафедра конструкции судов;*
- *ВЦ СПбГМТУ.*



Введение

В рамках учебного процесса:

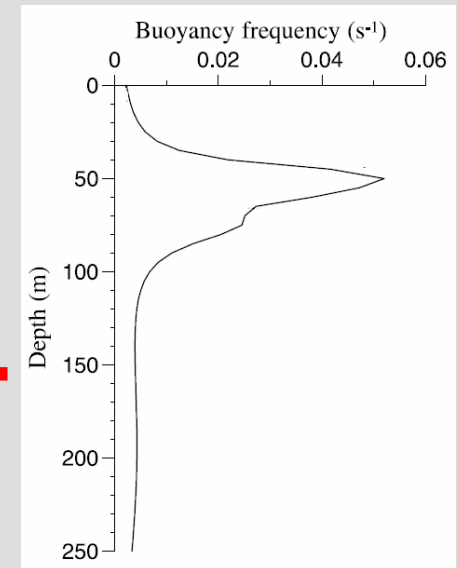
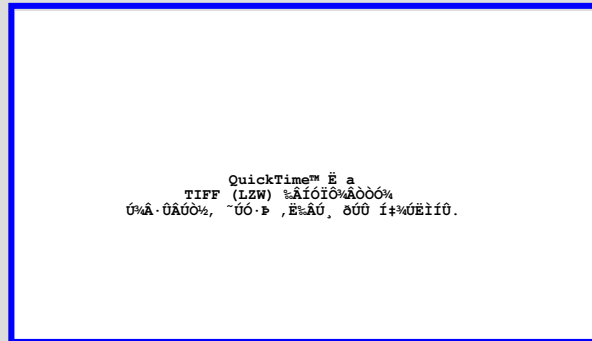
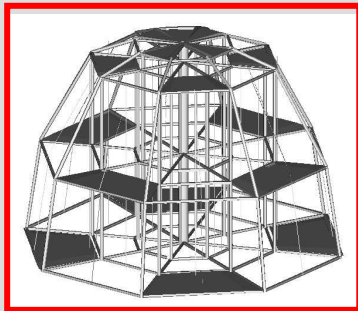
- Выполнение дипломных проектов с применением технологий высокопроизводительных вычислений (специальность «Гидроаэромеханика»);
- Постановка новых курсов:
 - Высокопроизводительные вычисления в гидродинамике корабля (специальность «Кораблестроение», подготовка бакалавров и магистров);
 - Параллельное программирование (специальность «Гидроаэромеханика»).

Введение

Направления научных исследований в рамках программы «Университетский кластер»:

- Разработка и создание программного комплекса «**Динамика корабля в натуральных условиях**»:
 - *Динамика океана;*
 - *Гидродинамика корабля;*
 - *Динамика корабля;*
 - Прочность корабля.
 - Сопряженные задачи:
 - *Динамика океана - гидродинамика корабля;*
 - Гидродинамика корабля - динамика корабля;
 - Гидродинамика корабля - прочность корабля.
- Создание математической модели «**Виртуальный морской объект**»

Динамика океана - гидродинамика корабля



Гидродинамика корабля
(высокие числа Рейнольдса и Фруда,
широкий диапазон масштабов)

Гидродинамика океана
(большая пространственная
протяженность, широкий диапазон
масштабов, различные виды движений)

Гидрофизика океана
(неоднородность поля
плотности)

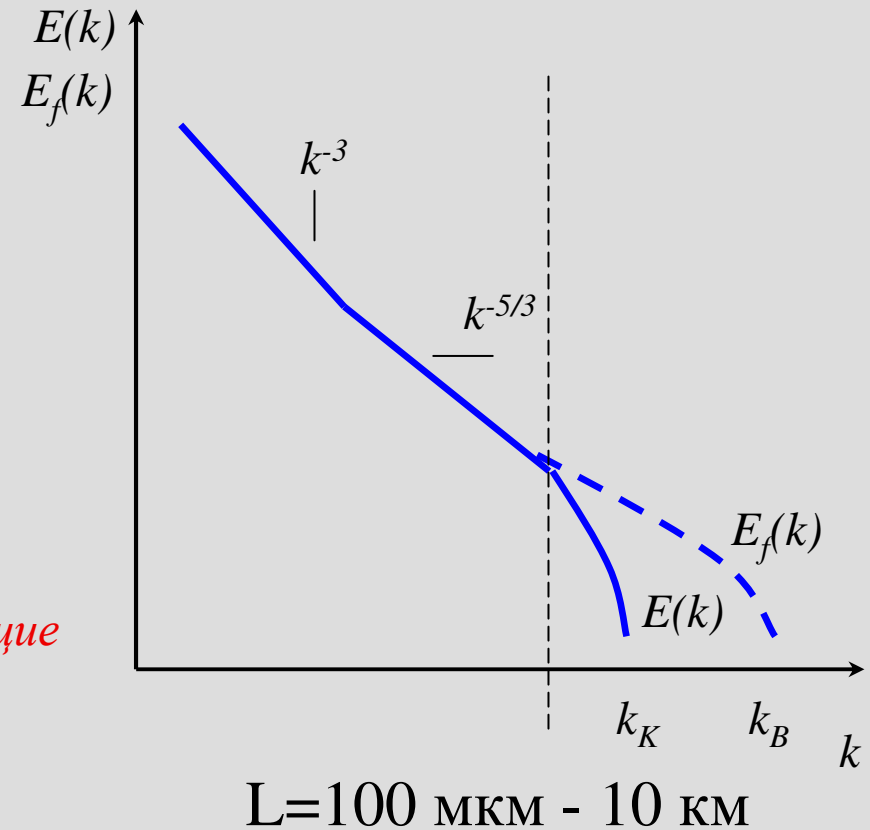
Динамика океана - гидродинамика корабля

Гидрофизические процессы в океане, влияющие на гидродинамику морских сооружений:

- § Поверхностные ветровые и приливные волны;
- § Гидравлические скачки;
- § Гравитационные течения;
- § Стратификация;
- § Внутренние волны;
- § Океанская турбулентность.

Основные виды движения жидкости, возникающие при обтекании морских инженерных объектов:

- § Отрывные турбулентные течения, следы;
- § Поверхностные и внутренние корабельные волны.



Динамика океана - гидродинамика корабля

Решение задачи

Математическая модель:

Уравнение неразрывности, уравнения переноса импульса (уравнения Навье-Стокса) и скаляра - ДУЧП;

URANS или LES модели турбулентности.

CFD аспекты:

Адаптация открытых кодов (**OpenFOAM**, **Paraview**, **Salome**);

Использование собственных разработок (**FlowFES**);

Интеграция с CAD системами;

Распределение вычислительных ресурсов (**Re=10⁷-10⁹** => 10 - 90 млн. ячеек) и выработка стратегии распараллеливания.

Динамика океана - гидродинамика корабля

*1 - Область моделирования локальных
гидрофизических процессов (кластер 1)*

*Модель морской
среды*

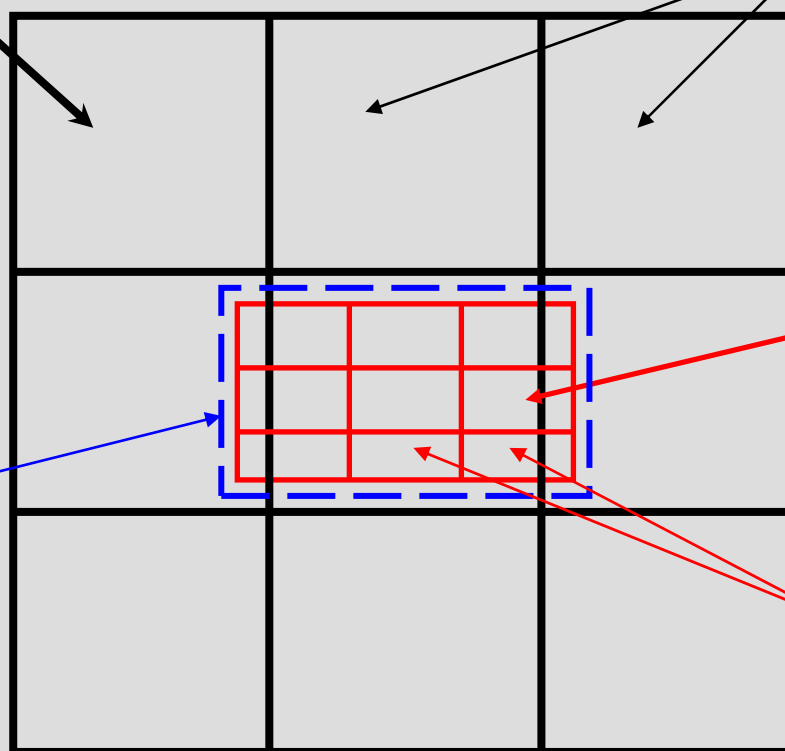
*Декомпозиция расчетной
области 1 (узлы,
процессоры)*

*2 - Область моделирования
гидродинамики корабля
(кластер 2)*

*Гидродинамическая
модель корабля*

*Декомпозиция
расчетной области 2
(узлы, ядра)*

*Граница обмена
решением*



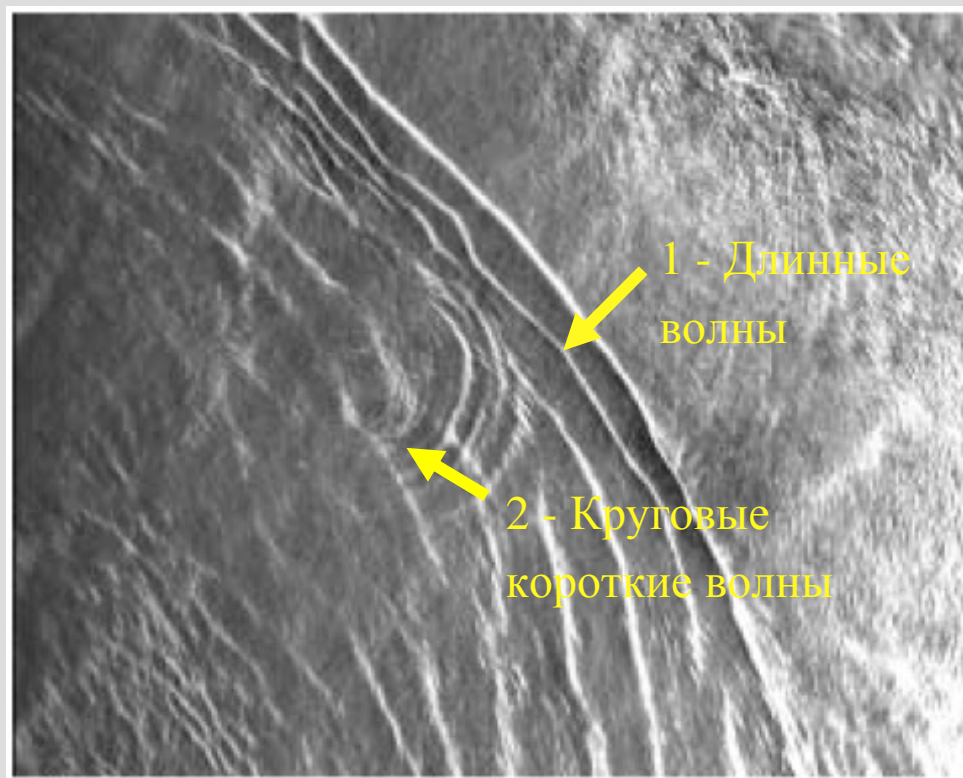
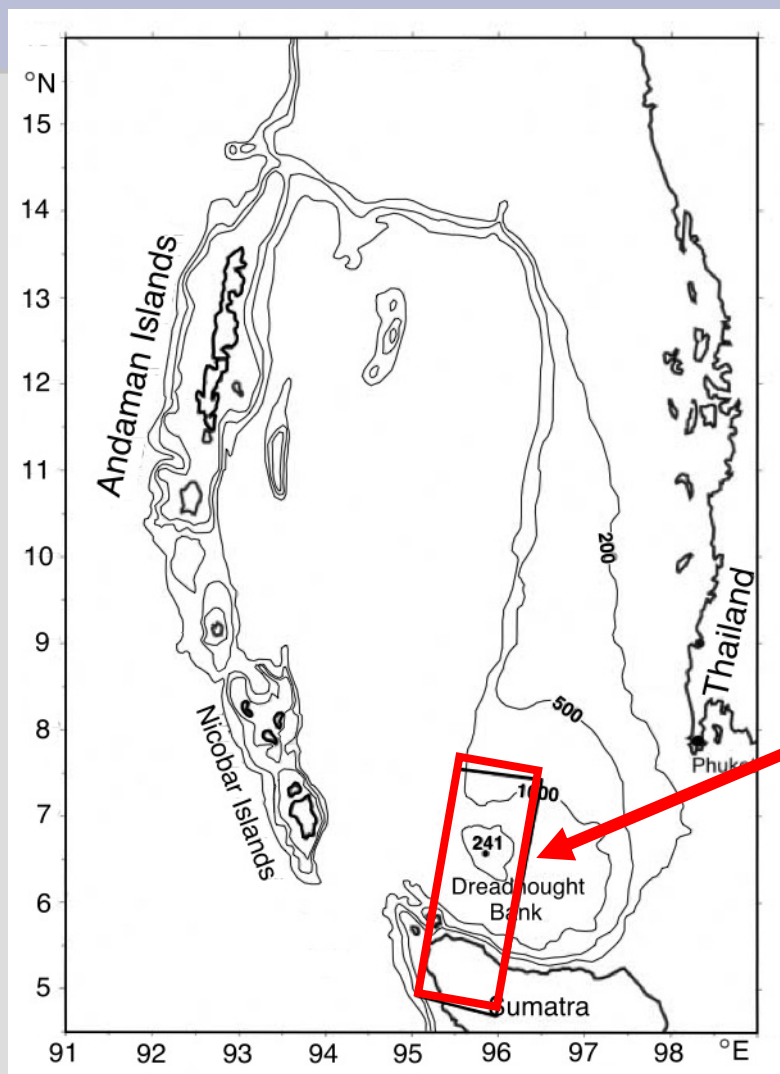
Динамика океана - гидродинамика корабля

Примеры решения задач динамики морской среды на
«Университетском кластере»:

- Моделирование внутренних приливных волн;
- Моделирование гравитационных течений в шельфовой зоне;
- Моделирование гидравлических скачков.

Динамика морской среды

Моделирование внутренних приливных волн

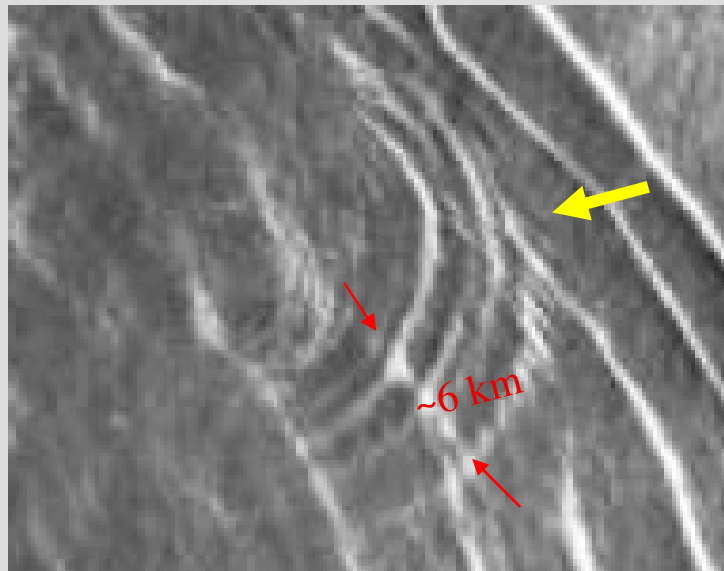


Спутниковый снимок (SAR imagery) системы ВВ. Дредноут Банка. Андаманское море. Две системы ВВ: 1 и 2

Динамика морской среды

Моделирование внутренних приливных волн

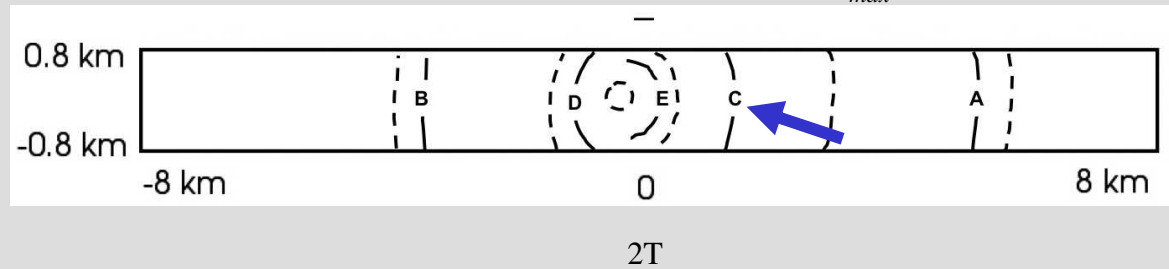
Спутниковый снимок. 11.02.1997 0360 UTC



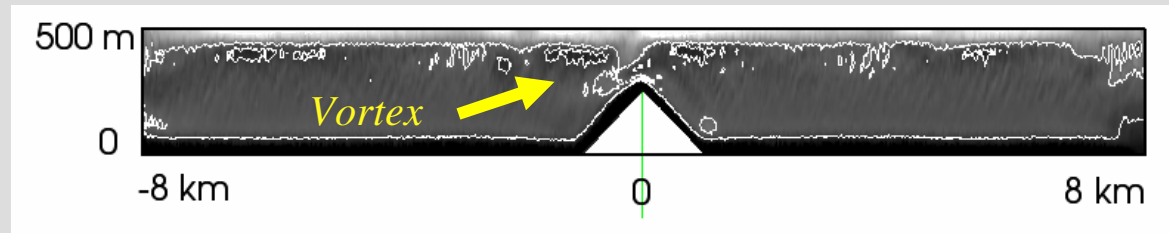
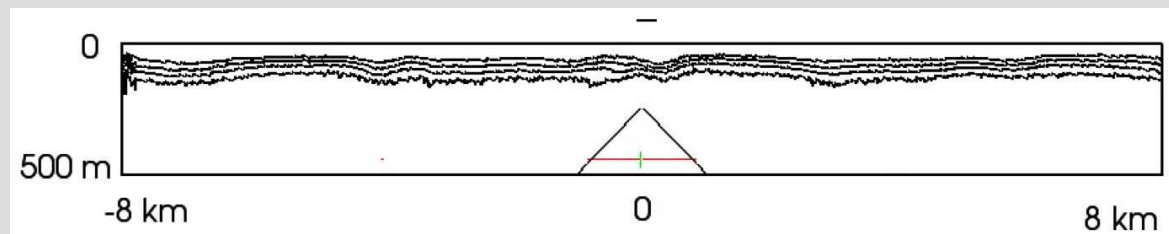
FlowFES-MPI, LES, SMTU Cluster,
8 млн. расчетных ячеек

Проявление ВВ на поверхности моря

$u_{max} = 1 \text{ m/s}$ $T = 12.4 \text{ h}$

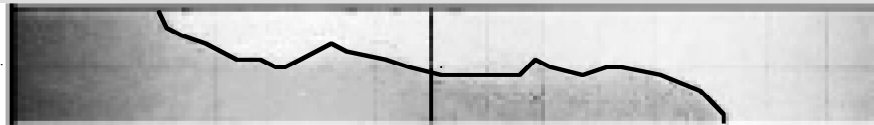


Распределение полей плотности и завихренности по глубине

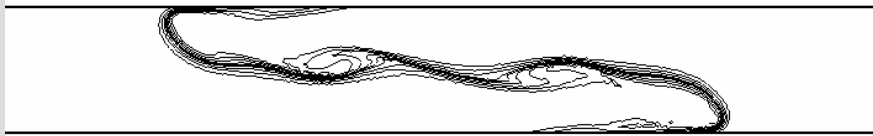


Динамика морской среды

Моделирование гравитационных течений в шельфовой зоне



Experiment Lowe et. al., 2005



FlowFES-MPI, LES, SMTU Cluster

5 млн. ячеек

Изучение процессов

формирования ВВ,

неустойчивости Кельвина-

Гельмгольца, турбулентности в

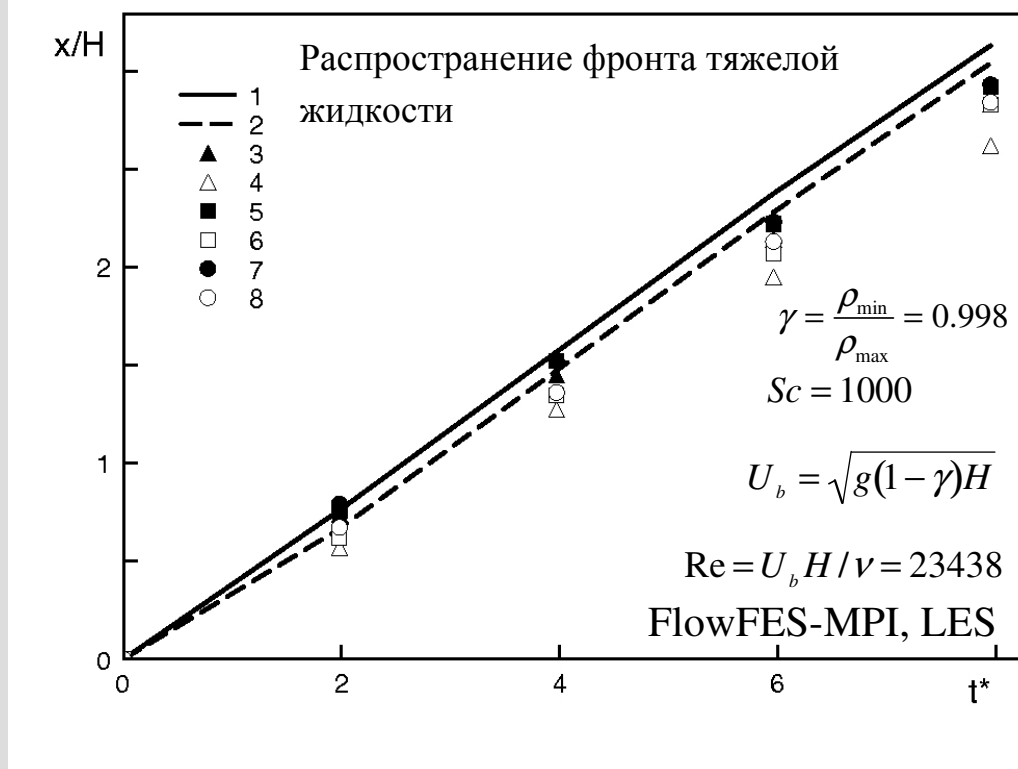
стратифицированных средах

Zur Anzeige wird der QuickTime™
Dekompressor „DV - PAL“
benötigt.

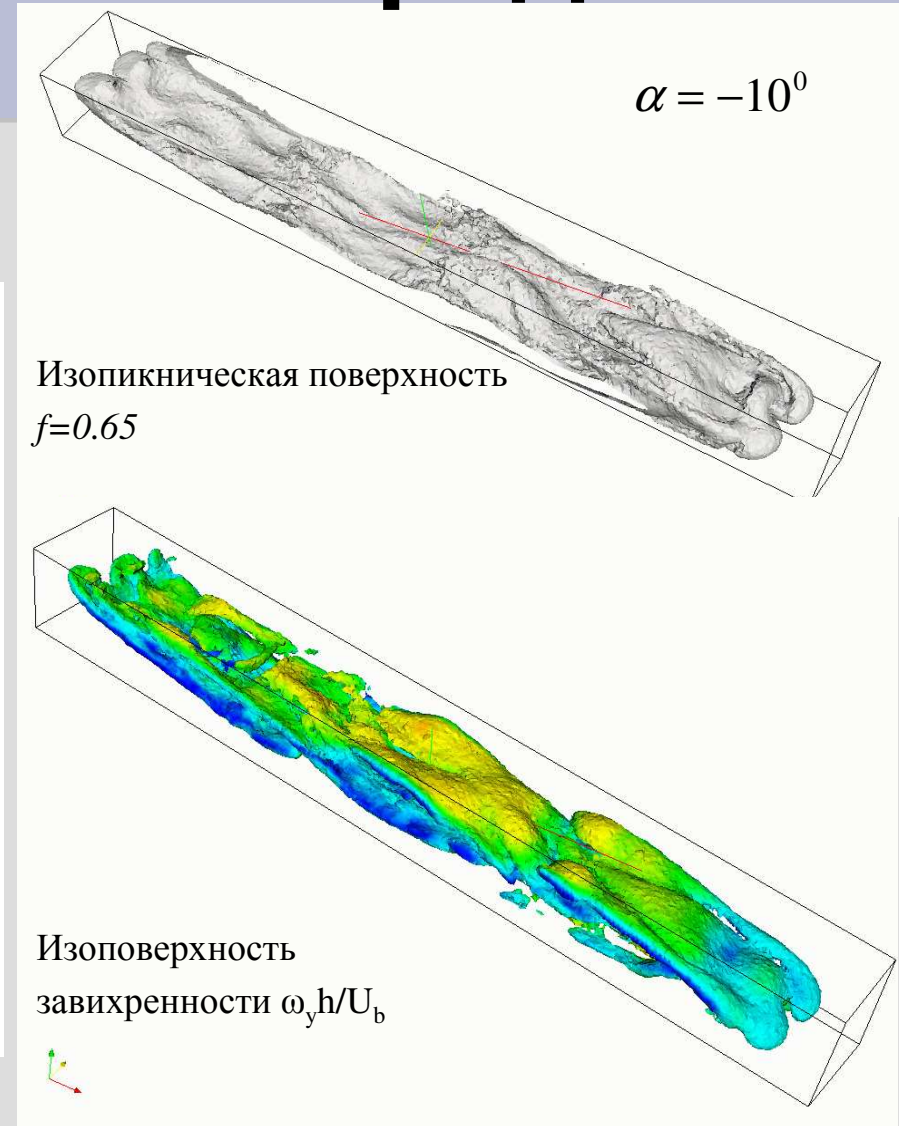
Параметры течения: $\gamma = \rho_1 / \rho_2 = 0.998$

Динамика морской среды

Моделирование гравитационных течений в шельфовой зоне



Эксперимент - Lowe et. al., 2005



Динамика морской среды

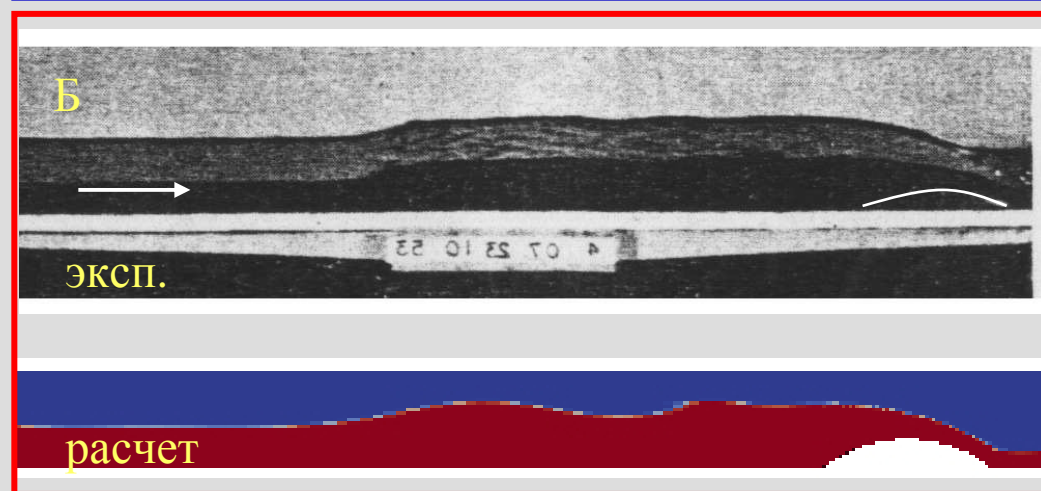
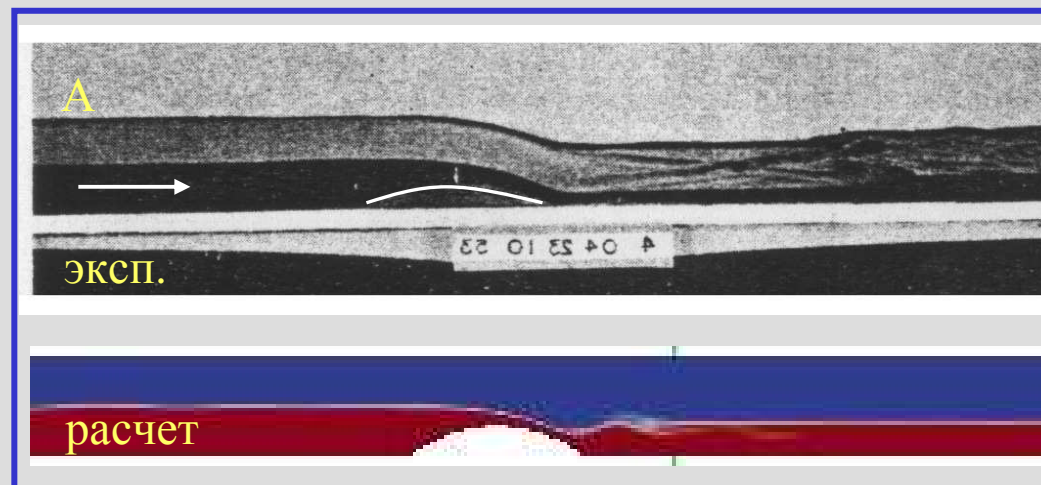
Моделирование гидравлического скачка на свободной поверхности

А) *Докритический режим* - скачок на подветренной стороне, $Fr=0.394$

Б) *Сверхкритический режим* - поднятие жидкости перед препятствием, $Fr=0.937$

Эксперимент - Long, 1954

Расчет - OpenFOAM, VoF, LES, SMTU Cluster



Динамика океана - гидродинамика корабля

Примеры решения задач гидродинамики корабля на
«Университетском кластере»:

- Моделирование поворота тела в набегающем потоке однородной жидкости;
- Моделирование стратифицированных течений;
- Моделирование движения тела вблизи свободной поверхности.

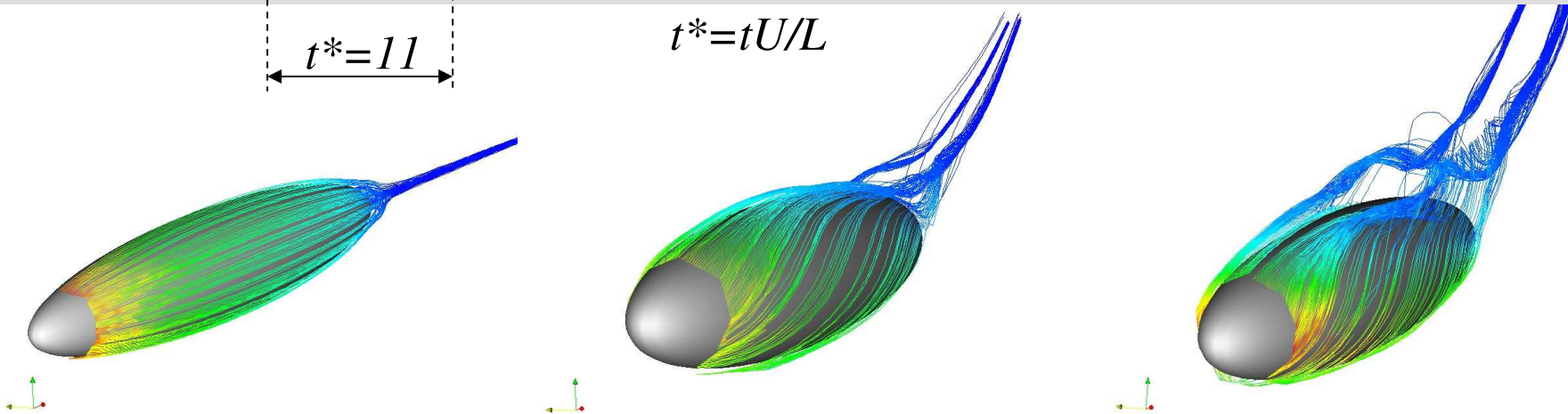
Гидродинамика корабля

Моделирование динамического поворота тела по углу атаки

FlowFES-MPI, LES, SMTU Cluster, 7 млн. ячеек,
Re=4 200 000



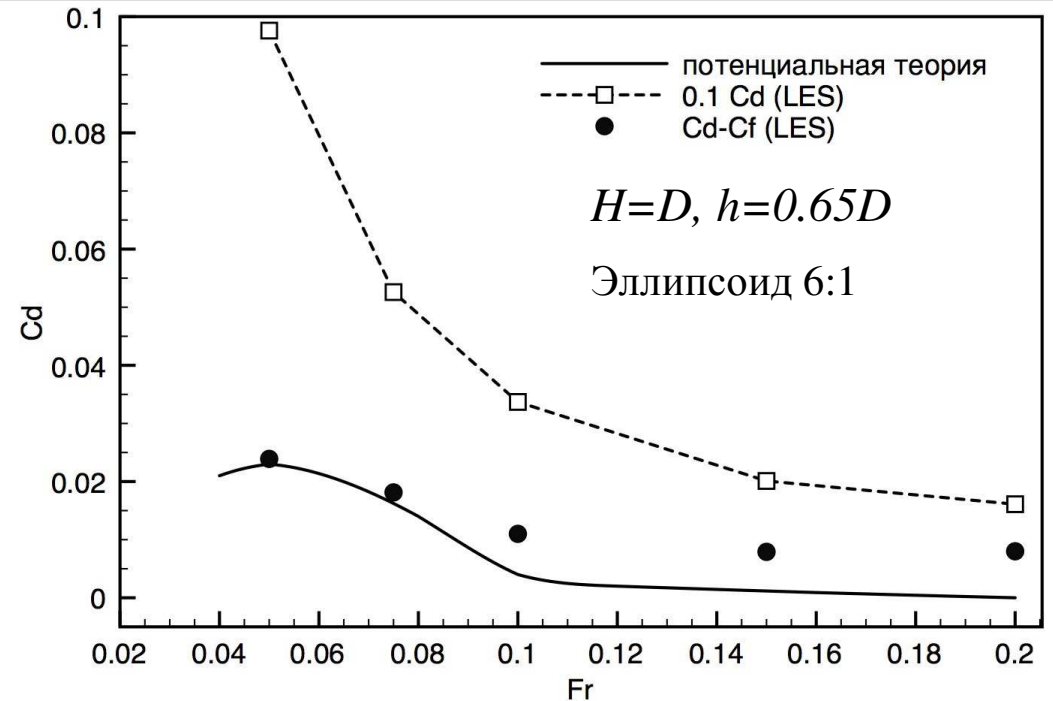
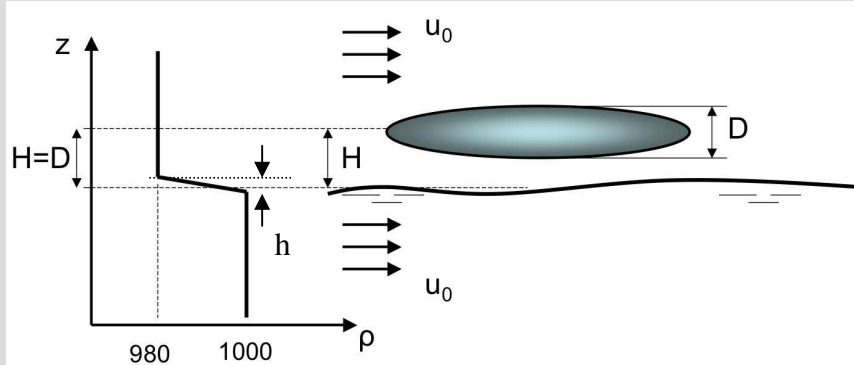
$$t^* = tU/L$$



Гидродинамика корабля

Моделирование корабельных внутренних волн

Движение тела над пикноклином



QuickTime™ È a
 %ÀÍÓÏÔ¾ÀÒÒÓ¾
 Ú¾À·ÛÀÙÒ½, ~ÚÓ·P, È%ÀÚ, δÚÛ Í¾¾ÚÈÏÛ.

Расчет - FlowFES-MPI, LES, SMTU Cluster

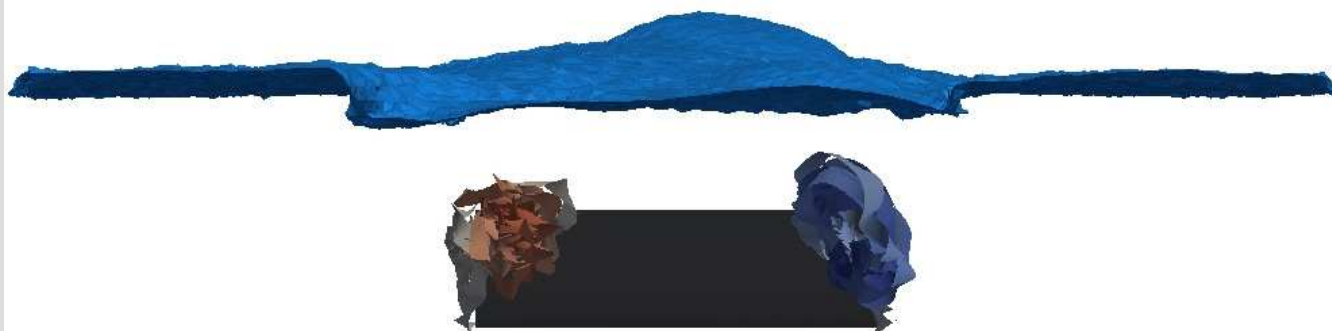
Гидродинамика корабля

Моделирование взаимодействия тела со свободной поверхностью

Мгновенные траектории движения жидких частиц и положение свободной поверхности



Вид сбоку



Вид сзади

FlowFES-MPI, LES,
SMTU Cluster, 20 млн. ячеек,
 $h=0.5b$, $Re=8313000$, $Fr=2.65$

Заключение

- В рамках программы «Университетский кластер» разрабатываются и внедряются специальные учебные программы по применению технологий высокопроизводительных вычислений в области судостроения.
- На базе программы «Университетский кластер» ведутся исследования в области моделирования гидродинамики корабля в натуральных условиях на суперкомпьютерных системах.
- Планируется создание специализированного программного комплекса для суперкомпьютерных систем, предназначенного для решения широкого класса задач судостроения.