

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Высокопроизводительные компьютерные технологии в судостроительной промышленности

А.О. Дукарский, И.В. Ткаченко, Н.В. Тряскин, С.И. Чепурко

5.12.2014

Москва, РАН

Введение

Задачи корабельной гидродинамики:

- Внутренняя задача (течения в корабельных системах и емкостях);
 Внешняя задача (обтекание тел);
 - Волновые движения жидкости (поверхностные и внутренние волны, качка);
- Геофизические течения.



Введение

Особенности задач корабельной гидродинамики:

- Большие геометрические размеры -> высокие числа
 Рейнольдса -> тонкий пограничный слой -> высокое
 сеточное разрешение (40-160 млн. ячеек);
- Кавитация;
- Свободная поверхность;
- . Геофизические процессы;
- . Ледовые условия.







5.12.2014

Москва, РАН

Опыт использования

высокопроизводительных вычислений в в задачах судостроениях

В учебном процессе:

Лабораторные работы;

Курсовые работы;

Дипломное проектирование (8).

В научных исследованиях:

Подготовка кандидатских (4) и докторских диссертаций (1);

Выполнение НИР и НИОКР;

Совместные исследования с партнерами: ИСП РАН, РНЦ КИ, КГНЦ, ИО РАН, ИПФ РАН, МГУ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, СПбГПУ, ВМПИ.

5.12.2014

Вычислительные аспекты

Математические модели:

Уравнения Навье-Стокса или их осредненные аналоги;

Уравнение переноса безразмерной плотности

(стратифицированные течения);

URANS, LES модели турбулентности;

Volume of Fluid (VoF) метод;

Модели кавитации (Kunz et al., Sauer).

Сервисы:

- SALOME;
- OpenFOAM;
- ParaFOAM;

FlowFES (домашний).

Вычислительные ресурсы:

UniCluster-SMTU, UniHUB.





• Связанная система координат (MRF) – подвижные ГУ.



Вычислительные аспекты

 Динамические сетки (DyM) – неподвижные ГУ, подвижная вложенная секта.



Моделирование течений в корабельных системах и емкостях

Колебания жидкости в танке при соударении судна со льдом



Колебания жидкости в танке при соударении судна со льдом



Эволюция уровня

сжиженного газа

Распределение давления

на стенках танка





5.12.2014

Москва, РАН

Колебания жидкости в танке при соударении судна со льдом



Обтекание тел потоком однородной

жидкости

5.12.2014

Москва, РАН

12



Обтекание сферы потоком однородной жидкости

- Моделирование отрывных течений
- ГУ: скорость + ГСЧ, пристеночные функции, давление на выходе









Обтекание НАПА и ОПА

НАПА – Глайдер, Re=2 ·106



Моделирование движения тела на тихой

воде

5.12.2014

Москва, РАН

Движение тела Wigley на

тихой воде

$C_{\scriptscriptstyle T}^{\it calc}$	C_T^{exp} [Maki K. Ship Resistance
	Simulations with OpenFOAM // 6th
	OpenFOAM Workshop. 13-16 June.
	Pensylvania. USA]
0,0046	0,0048



Усовершенствование формы носовой оконечности газовоза



Усовершенствование формы носовой оконечности газовоза



Слеминг: падение клина в жидкость





Кавитация на теле



Моделирование волнения и динамики

тела

5.12.2014

Москва, РАН

Моделирование регулярного волнения

- . Волна Стокса 2-го порядка:
 - Колебание уровня на границе (InterFoam);
 - Буферные зоны на входном и выходном участках (WaveFoam).



26

Взаимодействие регулярного волнения с препятствием

- . Волна Стокса 2-го порядка:
 - Колебание уровня на границе (InterFoam);
 - Буферные зоны на входном и выходном участках (WaveFoam).

5.12.2014	Мося	сва, РАН	27

Моделирование динамики тела

 1DOF (всплытие понтона, вертикальные перемещения, MRF), Fr=0.6, Re=2[.]10⁷.



Динамика тела на волнении

 6DOF (взаимодействие газовоза с внешним волнением, waveDymFoam), Fr=0



Динамика тела на волнении

• Определение параметров качки газовоза



Моделирование геофизических течений

5.12.2014

Москва, РАН

31



Океан обладает пространственно-временной неоднородностью гидрофизических полей, которые воздействуют на объекты морской инфраструктуры.

5.12.2014

Моделирование внутренних приливных волн

Внутренние приливные волны.

ГУ: вход/выход u(t), условия прилипания, 2.5 млн. расч. ячеек.



33



Моделирование внутренних приливных волн







Взаимодействие поверхностных и 4 млн. расч. ячеек **ВНУТРЕННИХ ВОЛН**



Взаимодействие поверхностных и внутренних волн



Моделирование взаимодействие тел с гидрофизическими полями океана

Обтекание сферы потоком стратифицированной жидкости

Турбулентный след



Обтекание сферы потоком стратифицированной жидкости



Обтекание сферы потоком стратифицированной жидкости

Power CD



Спектр коэффициента сопротивления в однородном потоке.

Экспериментальные значения частотных мод: 1-я мода - $S_{t-0.05,0.2}$, $S_{t-0.05,0.2}$, $S_{t-1.02,0.2}$, $S_{t-1.02,$

Спектр коэффициента сопротивления в стратифицированном потоке Fi=5.

1

15

St=0.869

St=1.91

2

St=2.4

2.5

St

Дополнительная мода – St=2.48

0.5

St=0.108

ы-0.05-0.2, в	ысокис 2-я - 5с-1.1-1.5 и 5-я - 5		Cpexp	
	Fi=5, Re=14062	0.34	0.377	
5.12.2014		Москва, РАН		42





Обтекание эллипсоида потоком стратифицированной жидкости



Спектр вертикальной скорости и ко-спектр вертикальной скорости и плотности в точеке у=0, z=-0.05, Fi=6.96



Движение крыла над пикноклином

Стратификация: Данные Левитуса, Баренцево море, май 2005, 45Е и 75N 4 млн. расч. Ячеек, LES



Всплытие вихревых жгутов и расширение турбулентного следа. Незначительное искажение изопикнической поверхности.

5.12.2014



Движение крыла под пикноклином

Стратификация: Данные Левитуса, Баренцево море, май 2005, 45Е и 75N

Re=313000, Fi=1.42 Заглубление крыла по отношению к центру пикноклина 1.1b

Всплытие вихревых жгутов и расширение турбулентного следа до границы пикноклина. Наблюдается формирование внутренних волн.Торцевые вихри уходят далеко вниз по <u>течению.</u>





Взаимодействие эллипсоида с солитоном

Эволюция поля плотности f=0.5. Вертикальный разрез. Fr=0.16



Взаимодействие сферы с внутренними

волнами

Эволюция изопикнической поверхности f=0.5. Fr=0.59



Поворот эллипсоида внутри пикноклина

Эволюция поля плотности f=0.5. Вертикальный разрез.



Пересечение эллипсоидом пикноклина

снизу вверх

Эволюция поля плотности *f*=0.5. Вертикальный разрез.



Пересечение эллипсоидом пикноклина

сверху вниз

Эволюция поля плотности f=0.5. Вертикальный разрез.



Всплытие понтона, пересекающего пикноклин, к свободной поверхности (1DOF)

Эволюция свободной и изопикнической поверхностей



Заключение

1. Внедрение суперкомпьютерных технологий (СКТ) позволило перейти на качественно новый уровень решения задач корабельной гидродинамики.

2. СКТ открывают возможности решения сопряженных задач.

3. СКТ позволяют решить задачи, моделирование которых недоступно в экспериментальных исследованиях.

4. Имеются определенные трудности в использовании открытых программных продуктов (сложность постановки ГУ, ошибки в решателях).

Спасибо за внимание!

5.12.2014

Москва, РАН

56

Математическая модель



Математическая модель

• Результирующая сила

$$\vec{F} = \vec{P} + \vec{F}_A + \vec{F}_p$$

• Момент

$$\vec{M}_C = \vec{M}_C^A + \vec{M}_C^p$$

32

• Уравнения движения твердого тела

$$mX_{C} = F_{X} = F_{pX}$$

$$m\ddot{Y}_{C} = F_{Y} = F_{pY}$$

$$m\ddot{Z}_{C} = F_{Z} = mg - F_{A} + F_{pZ}$$

$$J_{x}\dot{\omega}_{x} + (J_{z} - J_{y})\omega_{z}\omega_{y} = M_{x}$$

$$J_{y}\dot{\omega}_{y} + (J_{x} - J_{z})\omega_{x}\omega_{z} = M_{y}$$

$$J_{z}\dot{\omega}_{z} + (J_{y} - J_{x})\omega_{y}\omega_{x} = M_{z}$$

5.12.2014

Москва, РАН

58