

Ship “Elbrus” – powered by FlowVision



FlowVision – What I See is  
What I Understand.

*Так мы его задумали*

# Investigating the Problems of Ship Propulsion on a Supercomputer

A.A. Aksenov, S.V. Zhluktov, D.P.  
Silaev, S.A. Kharchenko, E.A.  
Ryabinkin, V.E. Velikhov, V.A. Ilyin,  
A.V. Pechenyuk

TESIS LTD, NRC Kurchatov Institute,  
IJHT of RAS (Russia, Moscow)  
DigitalMarine (Odessa, Ukraine)

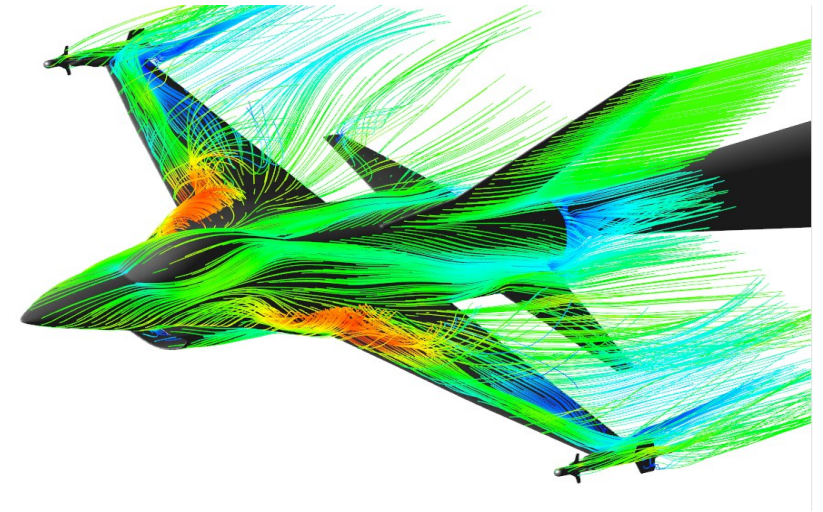


**FlowVision**

# FlowVision – general purpose CFD code

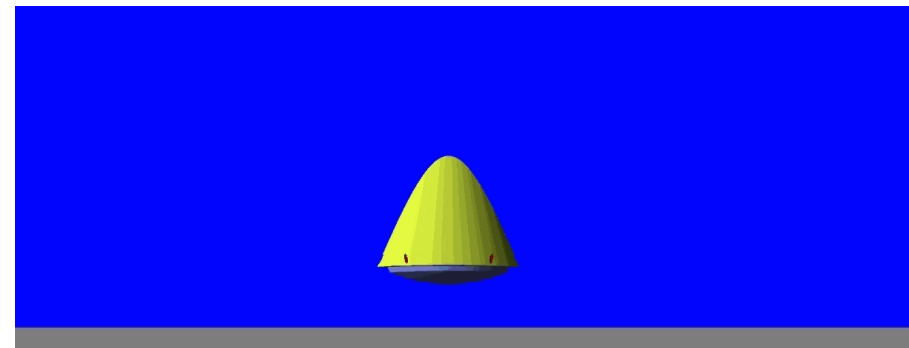
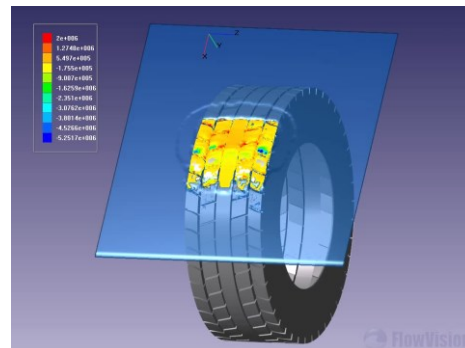
## Main application areas

- Fluid-structure-interaction
- External & internal aerodynamic
- Turbo machinery
- Multi-phase flows
- Aerodynamic shape optimization

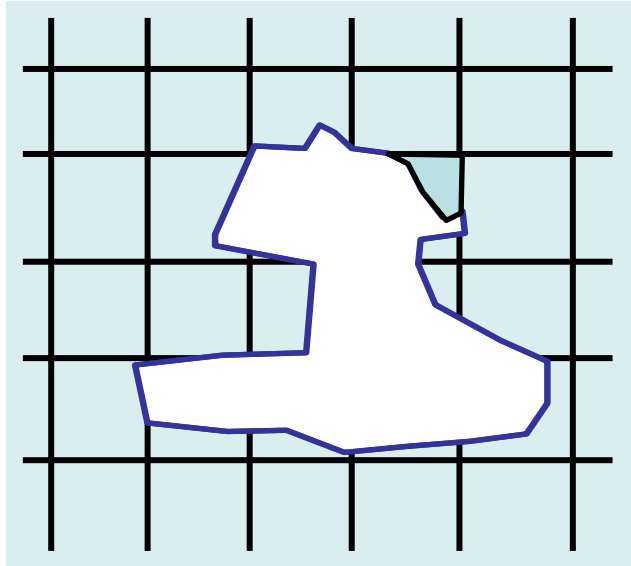


# FlowVision key features

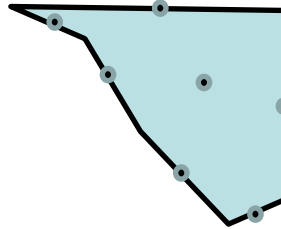
- Fully automatic generation of a mesh with local dynamic adaptation
- Resolution of boundary layers, no restricted by the surface complexity
- Simulating strong fluid-structure interaction
- Simulating multiphase fluid motion with contact surfaces
- A wide range of physical models (turbulence, mass transport, chemistry, burning, dispersed phase)
- Calculations on modern supercomputers with heterogeneous parallelism (> 10 000 cores,> 100 mln cells)



# Subgrid Geometry Resolution is key point of FV technologies



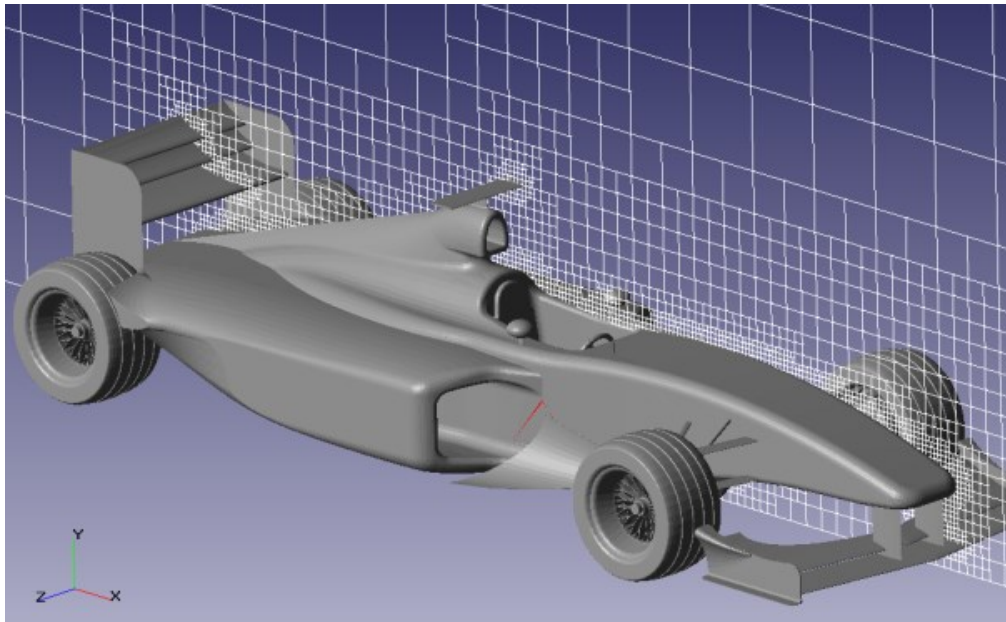
Finite-volume approach is used to approximate equations on this mesh



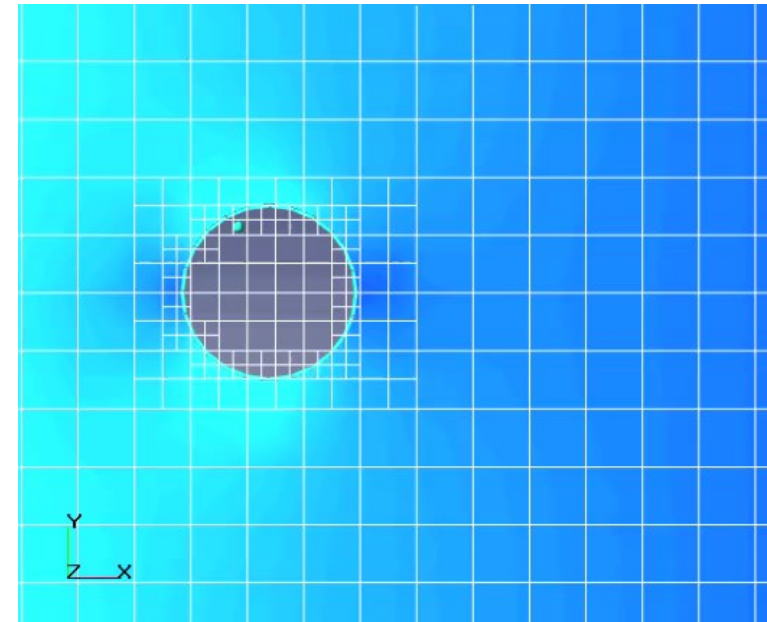
- Rectangular initial non-uniform mesh
- Shape imported as facet B-rep (STL, WRL)
- Boolean subtraction of object volume from initial mesh
- Cell is arbitrary polyhedron

# Local Dynamic Mesh Adaptation

- to raise simulation accuracy by resolving high gradients of flow variables
- to save computer resources using fine meshes in places where they are need



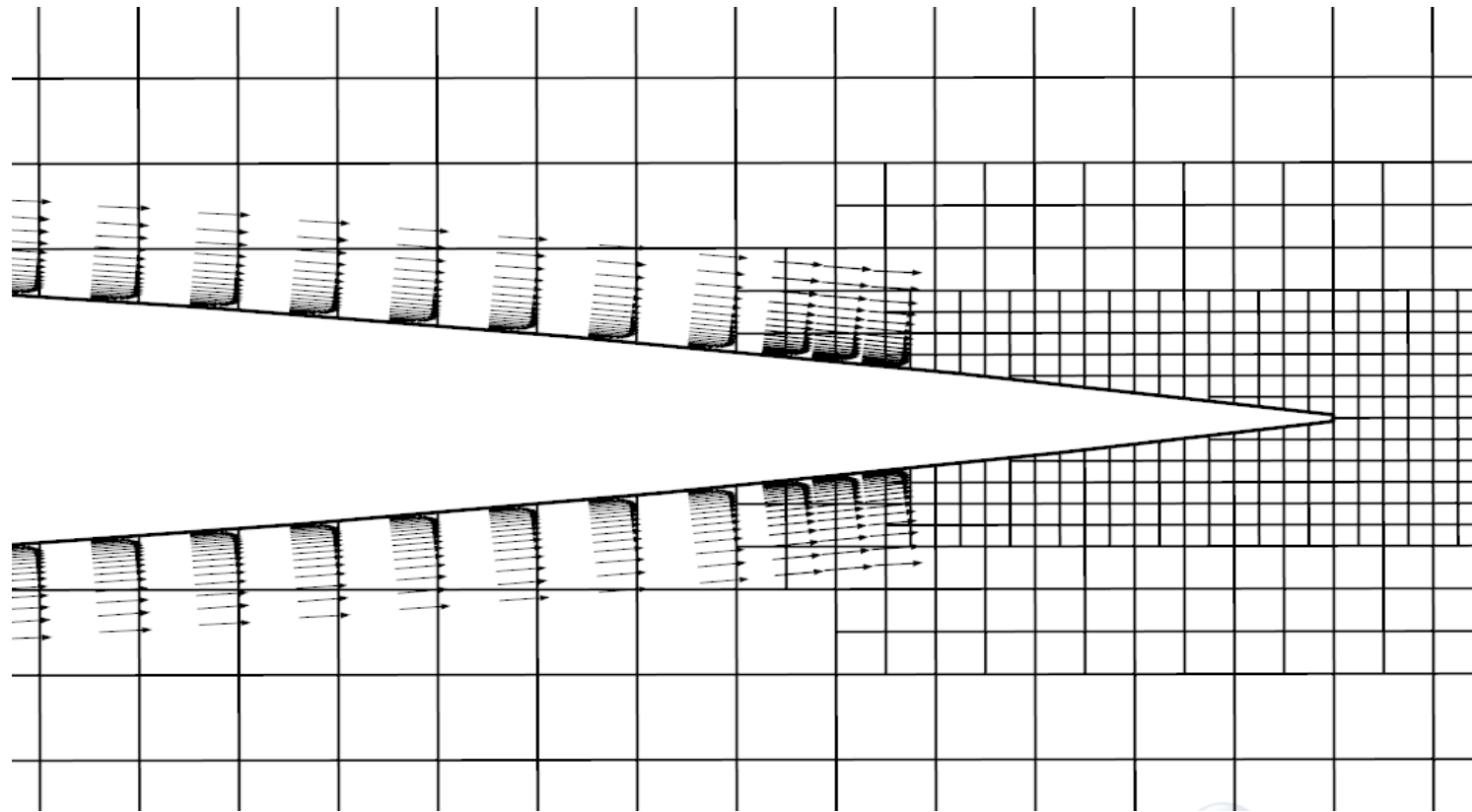
Dynamic adaptation near surfaces



Dynamic adaptation due to a velocity gradient

## Resolving boundary layer by prismatic mesh

Creating special chimera (overset) mesh near surface to take into account thin viscosity boundary layers to simulate accurately drag force





# High performance computing

- Distributed-memory computer model
- Shared memory
- Automatic domain decomposition
- MPI architecture

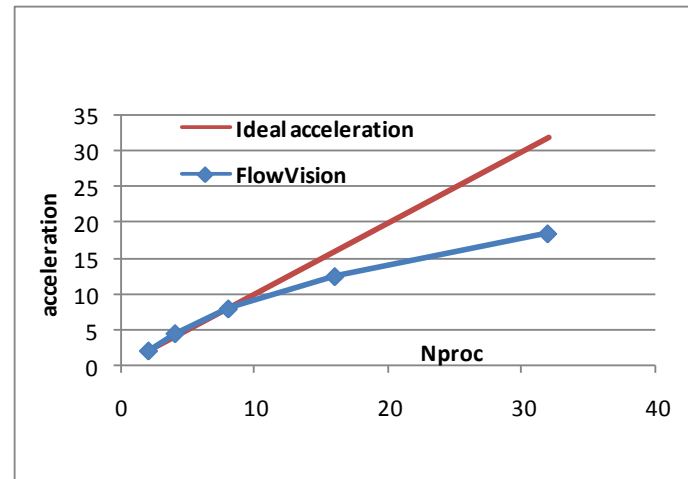


Cluster

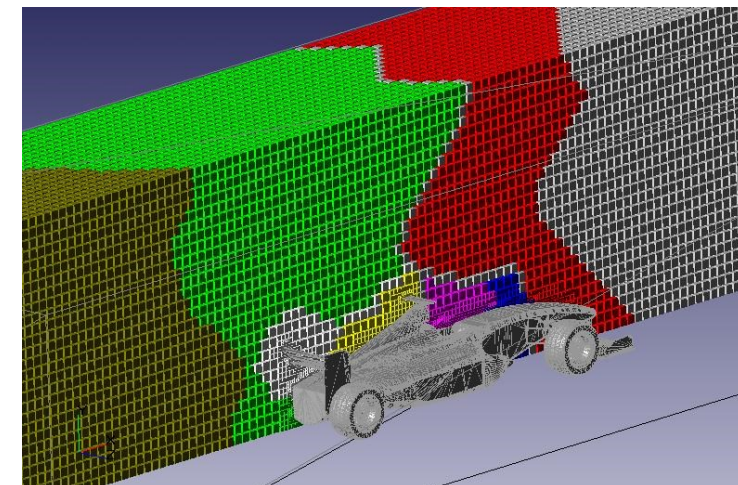
## Formula-1 simulation on a cluster

**Cluster:** 16 nodes, 4 cores/node, 2GB memory, 1.4GHz frequency, Myrinet

## Solver Scalability

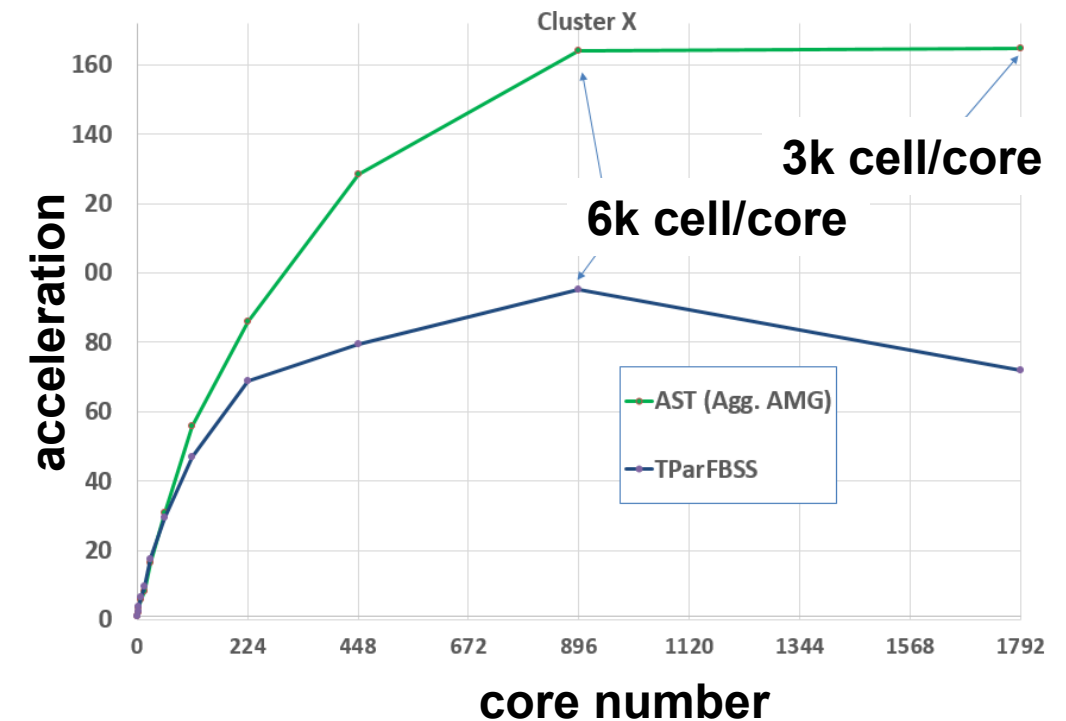
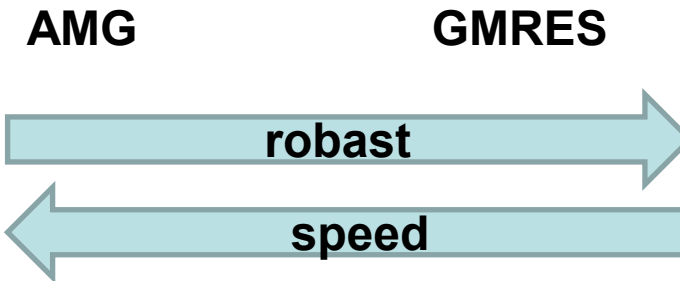
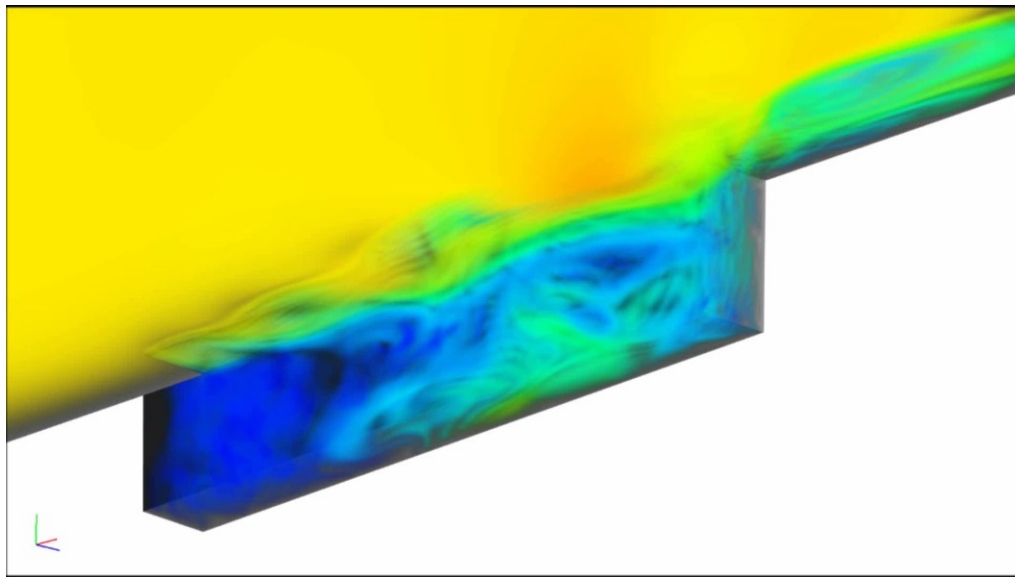


## Domain decomposition onto several processors



# SLAE solving - Multigrid solver + Krylov-based solver GMRES

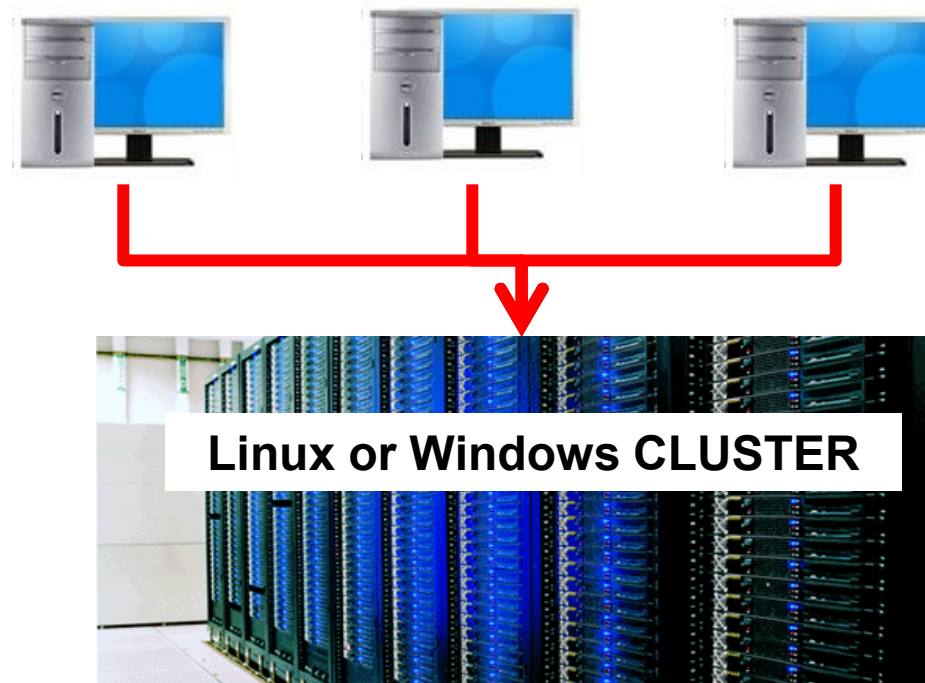
Benchmark M219, flow in cavern, 5.5 mln cells  
Using AST solver – acceleration in 2 times





# Client-Server Architecture

- Windows user can work on Linux cluster without knowing Linux OS
- Several users can simultaneously work with one **FlowVision** solver and share simulation results



# Parallel visualization

Data processing needed for visualizing results (building color contours, isolines, plots, isosurfaces, ...) may take long time when it is performed on one processor. **FlowVision** provides parallel postprocessing:

- Required computations are performed on several processors
- Minimum data volume is collected on the client machine

## PC computer

Metadata collection



Transmission of  
Graphical Metadata

Graphical Metadata is a «feedstock»  
for drawing objects in post-processor

## Cluster

Parallel generation of  
Graphical Metadata



## Advantages of parallel visualization:

- Number of cells may be arbitrarily big
- Visualization is fast





# Advanced VOF method

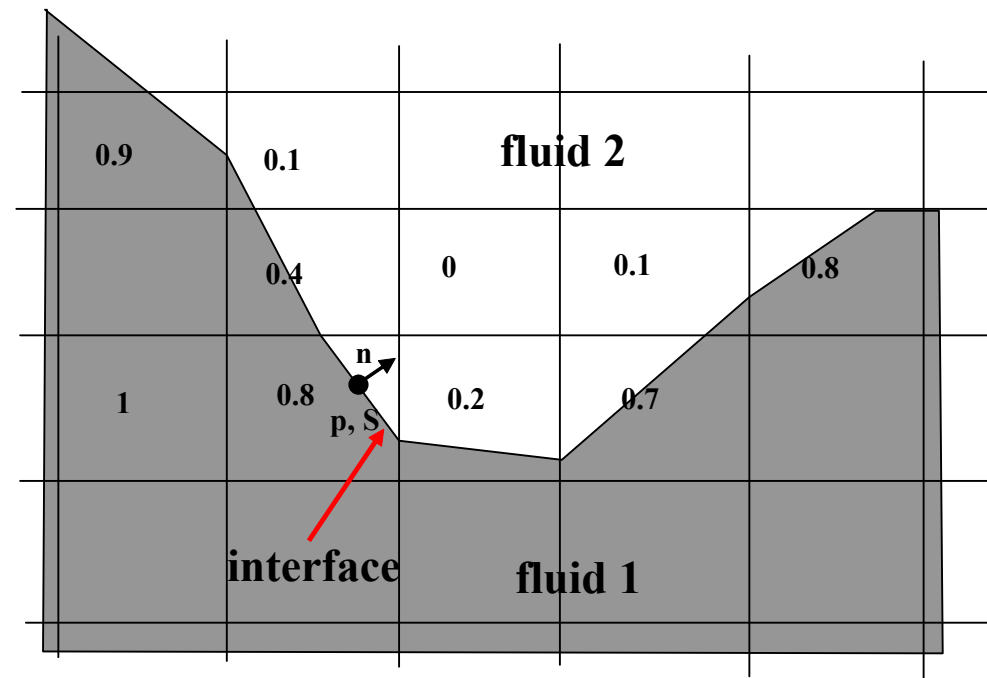
High accuracy is achieved by solving the governing equations in the “free surface” cells.

VOF (Volume Of Fluid) variable is the fraction of a cell occupied by fluid 1

VOF=1 means that the cell contains only fluid 1

VOF=0 means that the cell contains only fluid 2

$0 < \text{VOF} < 1$  means that the cell contains the interface between fluid 1 and fluid 2 (“free surface” cell)



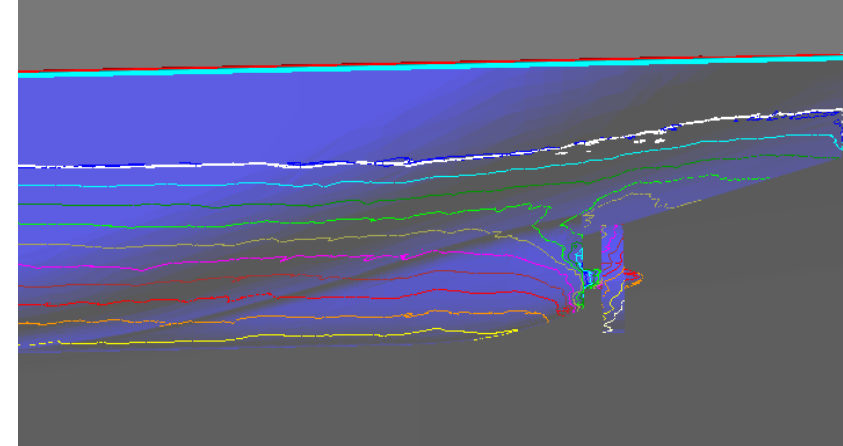
Free surface in a cell is reconstructed using SGGR method



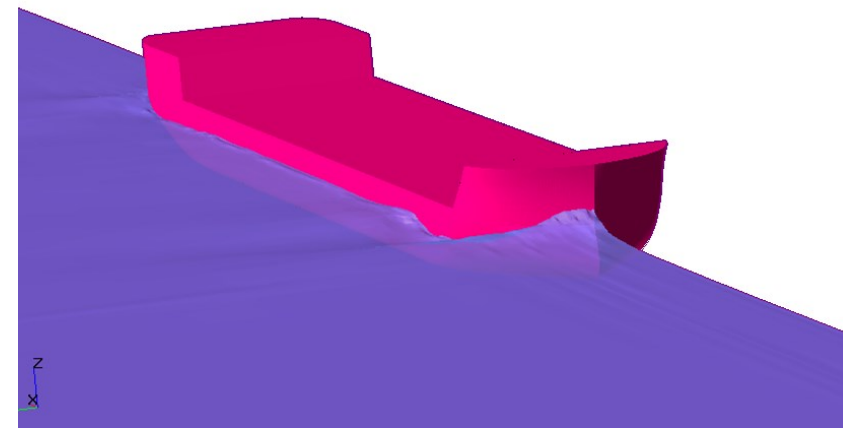
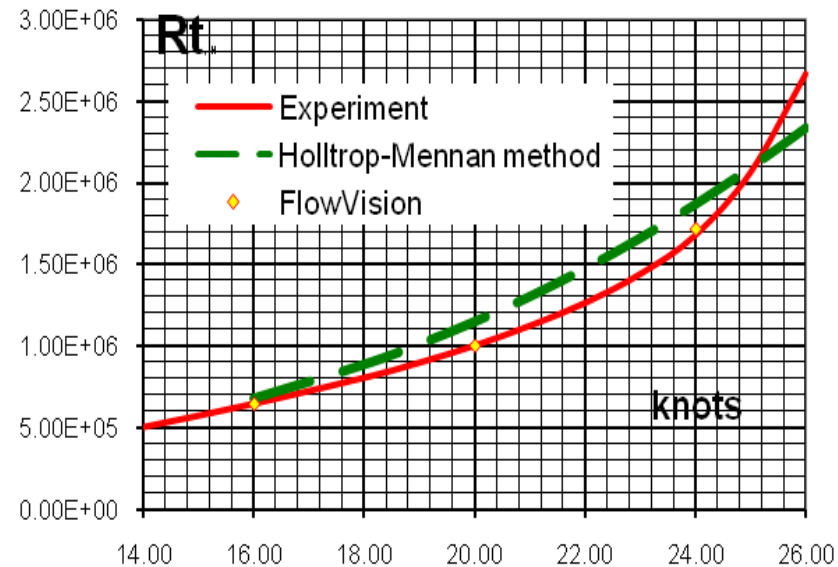


# Advanced VOF method

**FlowVision** is capable to simulate ship drag force with high accuracy ( $< 3\%$ )



**Pressure distribution around hull**



**Wave pattern around hull**



# Results of solving 2 problem on NRC by Kurchatov supercomputer:

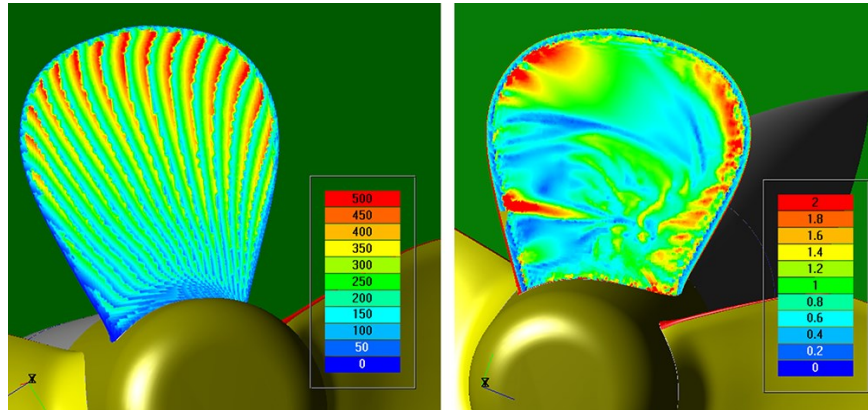
- azimuthal thrust
- water flow around ship hull

- The supercomputer has total processing power of 123 TFLOPS (14 place in Russian Top50 – 2016)
- utilizes standard Beowulf-like architecture: server-grade computational nodes and parallel file system are linked together using low-latency InfiniBand fabric.
- The concrete parallel file system type is Lustre and it is used for input and output data placement, as well as for scratch storage during computations.

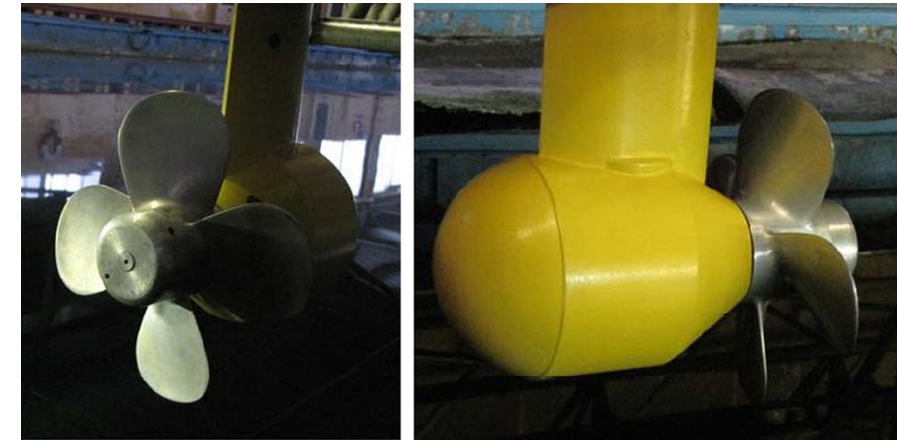




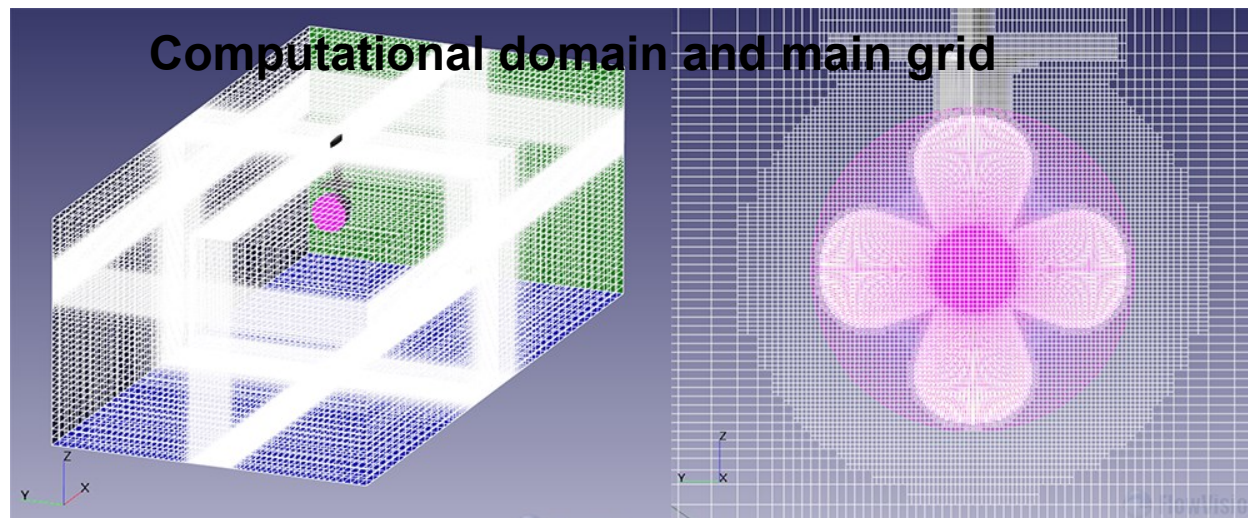
# Simulation of Marine Propeller



Distribution of  $y^+$  values on the propeller blade: on the left – main grid only; on the right – main grid and OBL

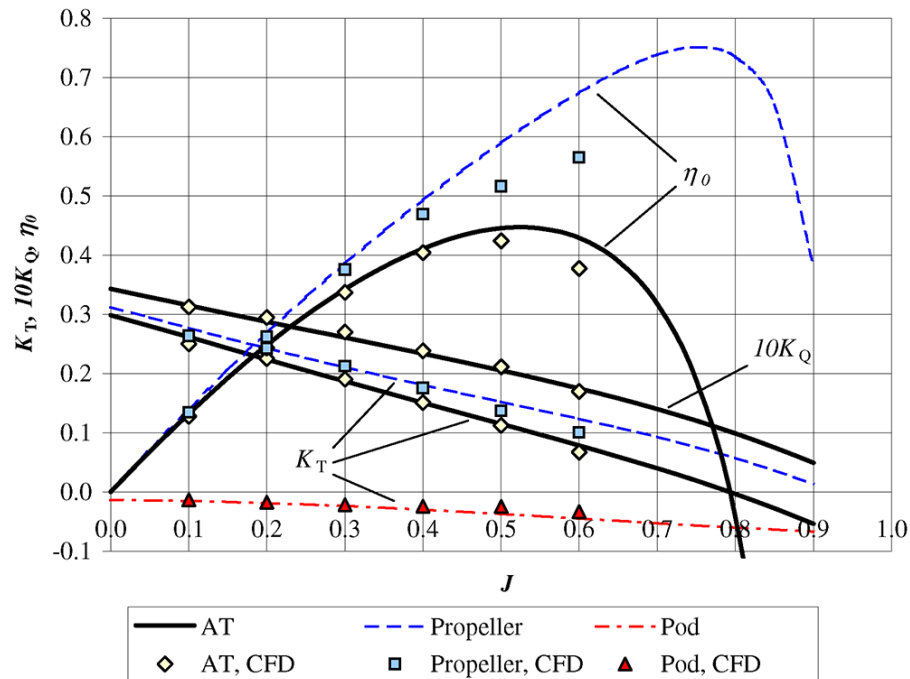


Azimuthing thruster (model in towing tank)



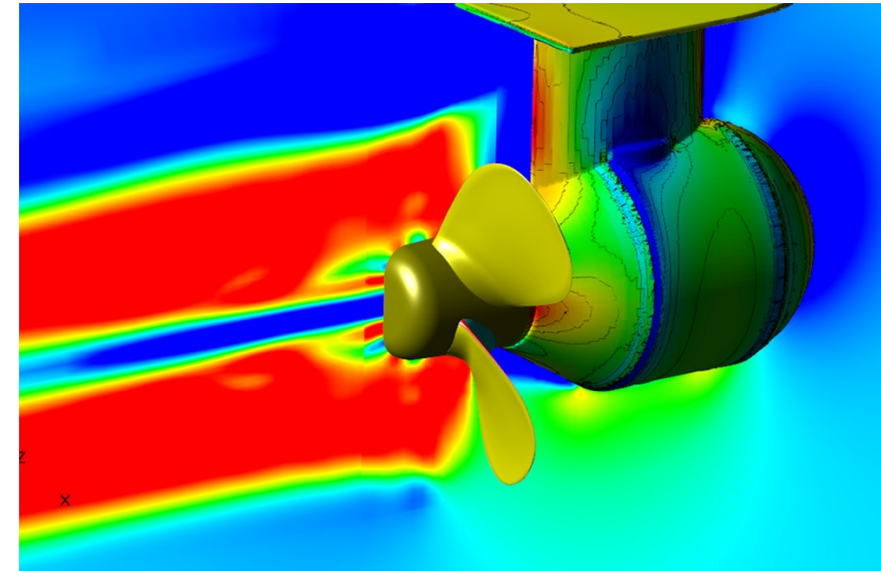
- Good grid convergence was achieved with total number of main grid cells 2.05 M and 0.95 M of OBL grid cells.
- Simulation runs were carried out in model scale with constant number of revolutions 25 rpm and various inlet velocities.

# Propeller Simulation – the Main Results



## Open water curves of AT and CFD results

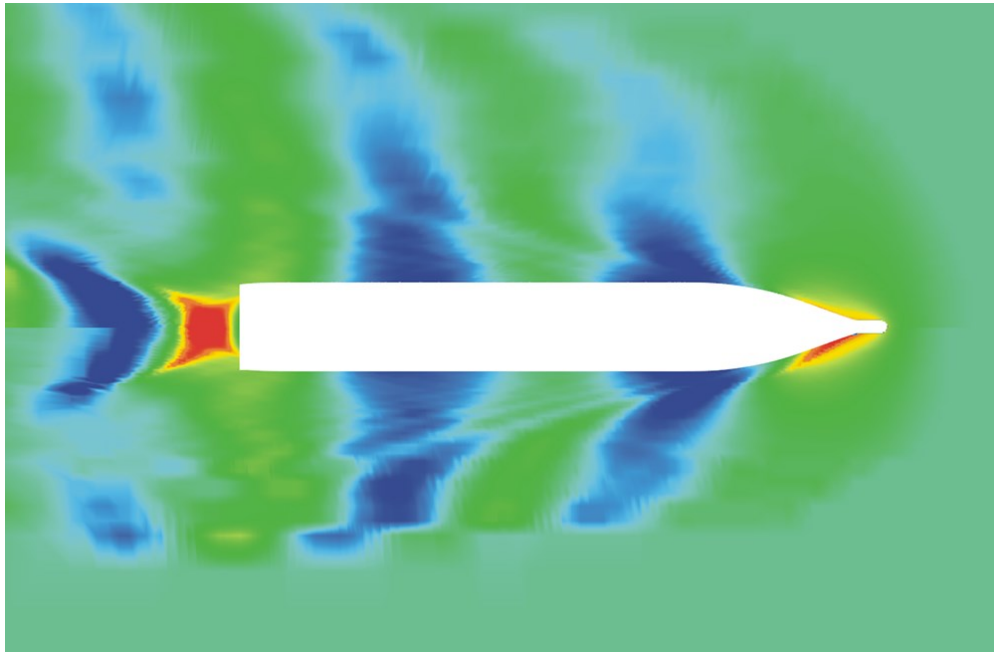
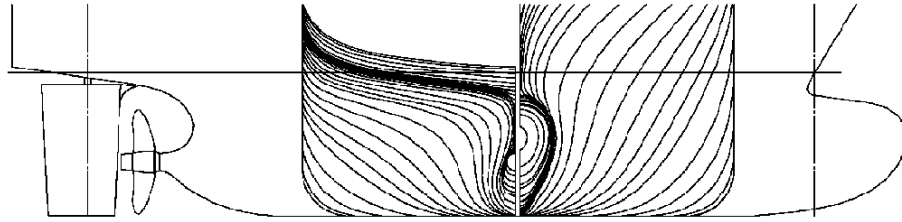
– thrust, moment and efficiency coefficients  $K_T$ ,  $K_Q$  and  $\eta_0$  correspondently versus advance coefficient  $J$



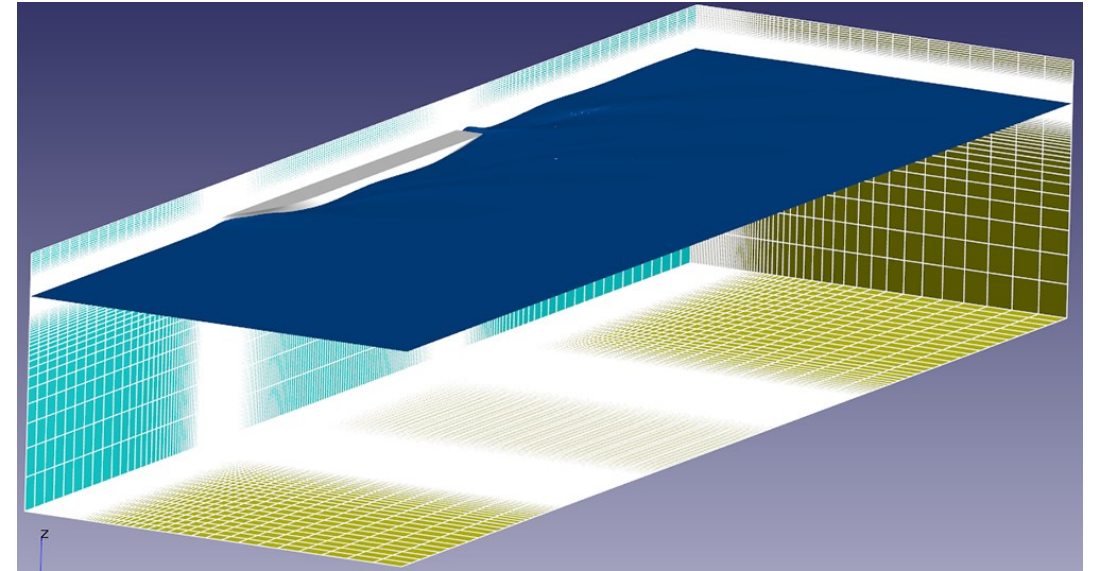
Experimental and CFD open water curves of AT (as a single complex) are very close. Characteristics of the components do not converge so well. But it can be explained by differences between experimental and CFD methods of subdivision AT's forces into components.

# Simulation of Hull Flow

Hull lines of the KCS



Visualization of the ship wave system (wave pattern):  
top – improved grid;  
bottom – grid with adaptation box

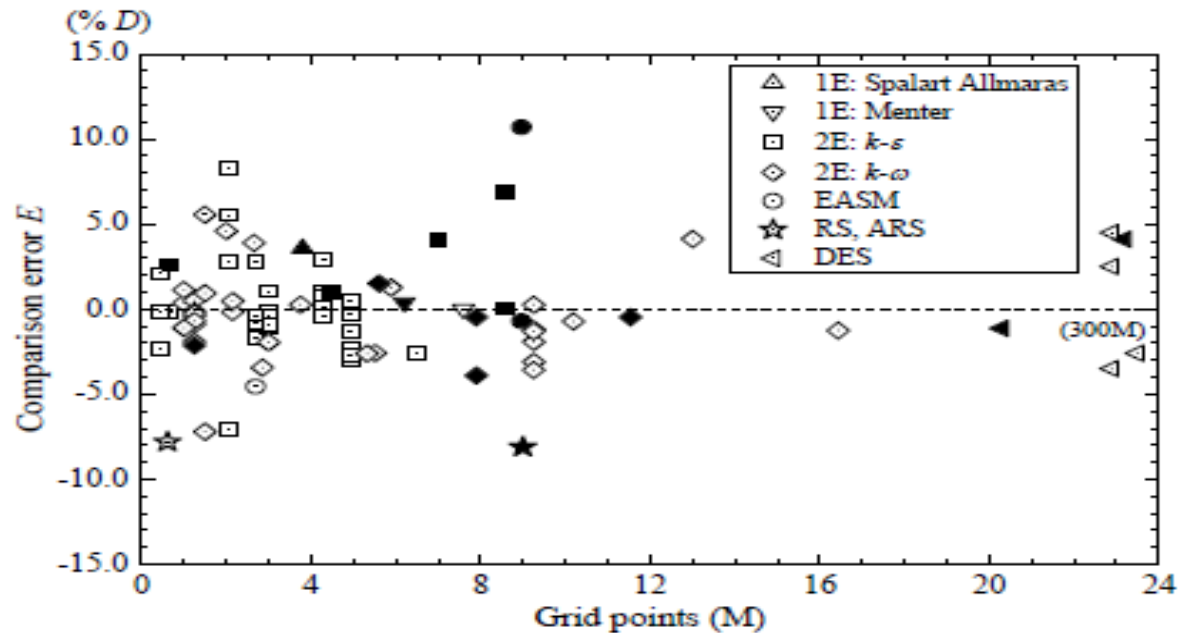


Computational domain and main grid

- The KRISO Container Ship (KCS) is a well-known benchmark case for which measurements have been made in Korea and Japan
- Towing test of the fixed full-scale bare hull was simulated at speed of 24 knots ( $Fr = 0.26$ )

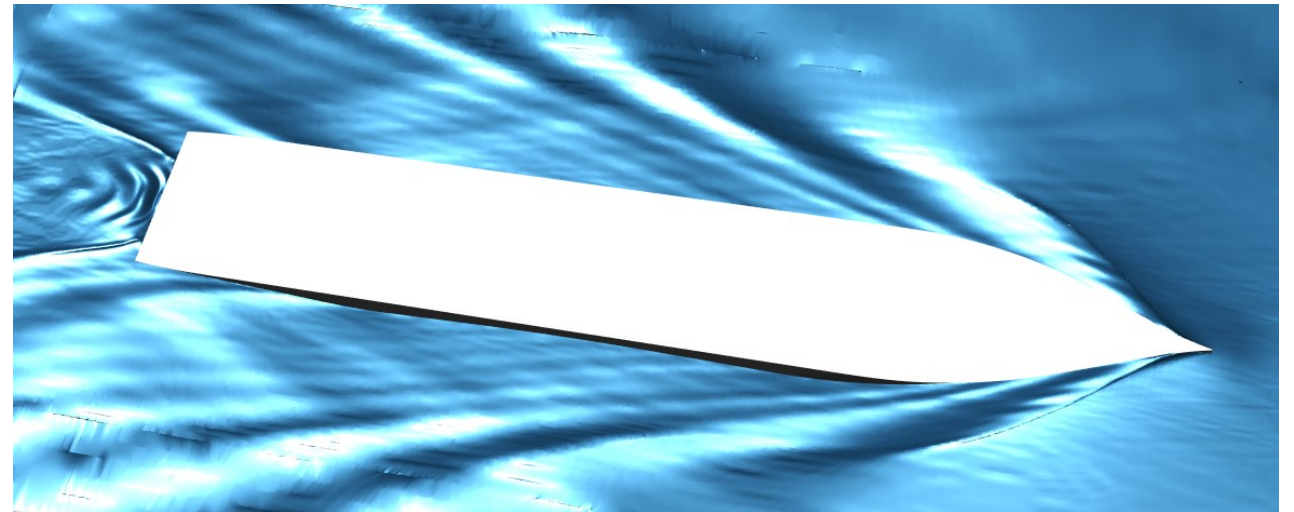


# Hull Flow Simulation – the Main Results

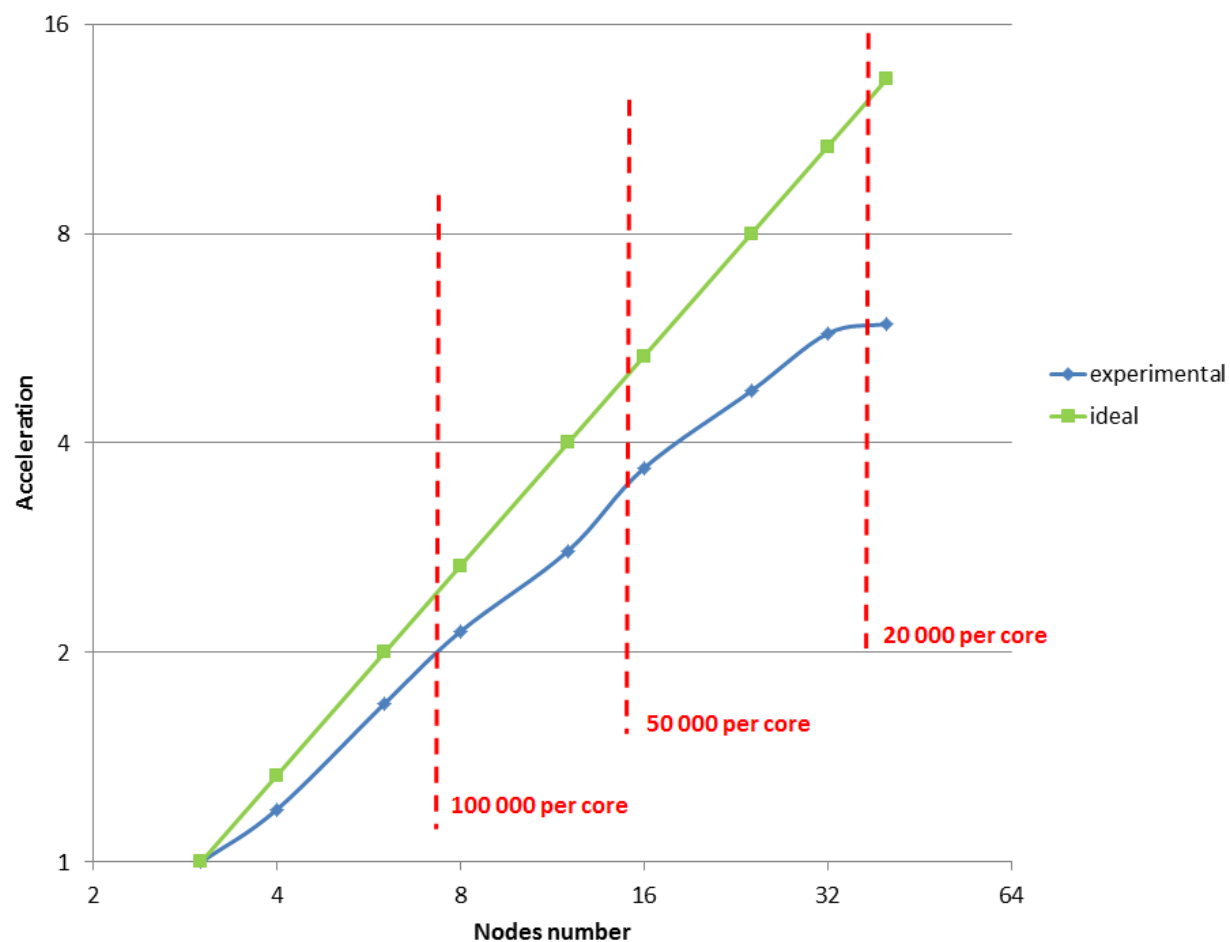


	$C_T \cdot 10^3$	$C_{F0} \cdot 10^3$	$C_R \cdot 10^3$
EFD	2.107 <sup>a</sup>	1.377	0.729
CFD	2.140	1.377	0.762
Error	- 1.57%	-	- 4.53%

Error level can be assessed against a background of the results of the Gothenburg 2010 workshop, where 33 groups participated and computed one or more of the 18 test cases. The mean error for the towing cases in the fixed condition was below 2% of  $C_T$ .

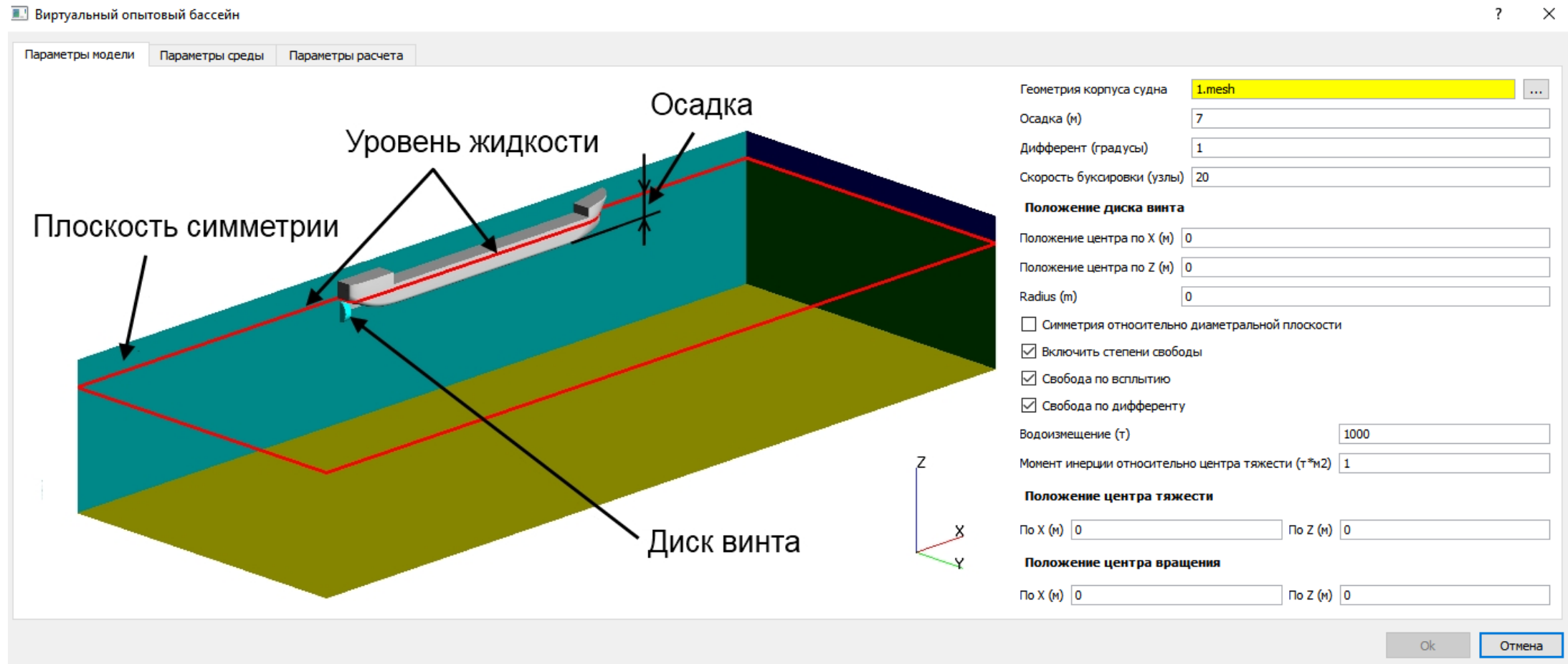


# Scalability check FlowVision and the Supercomputer



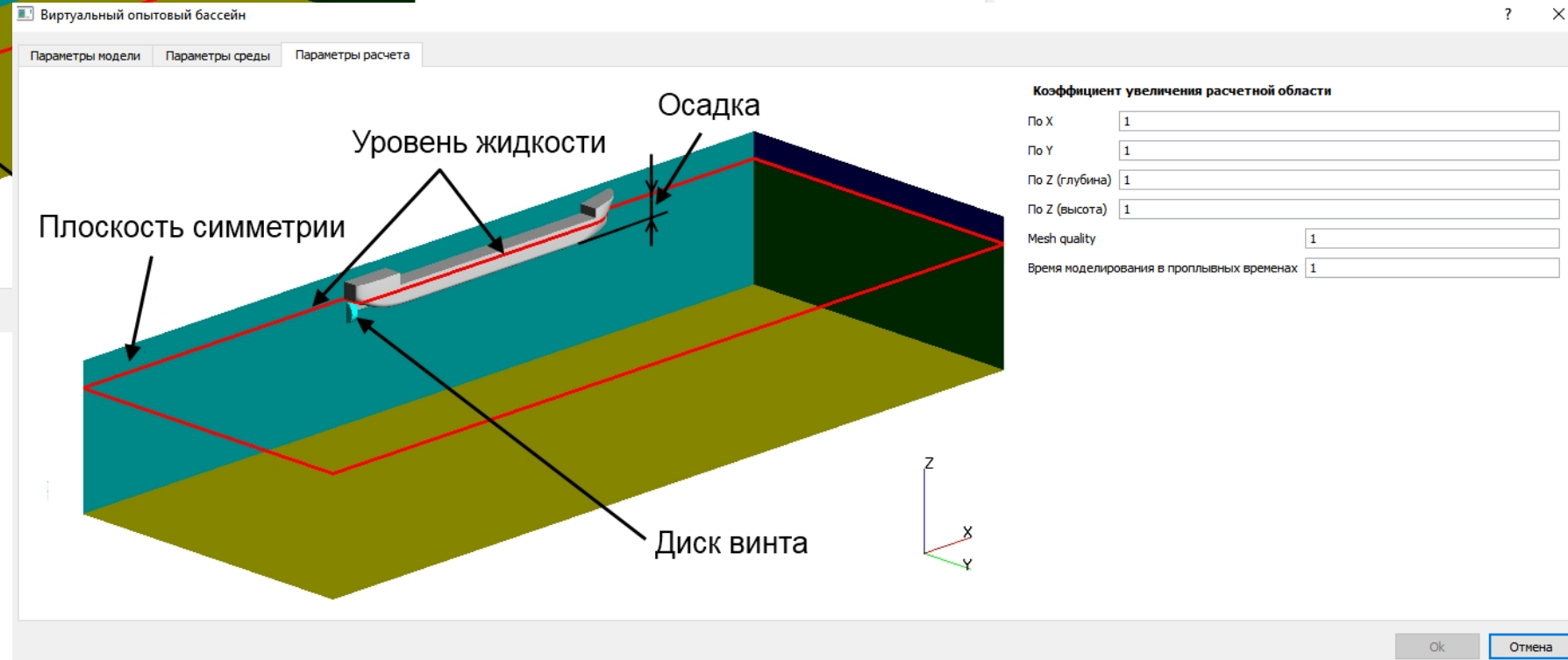
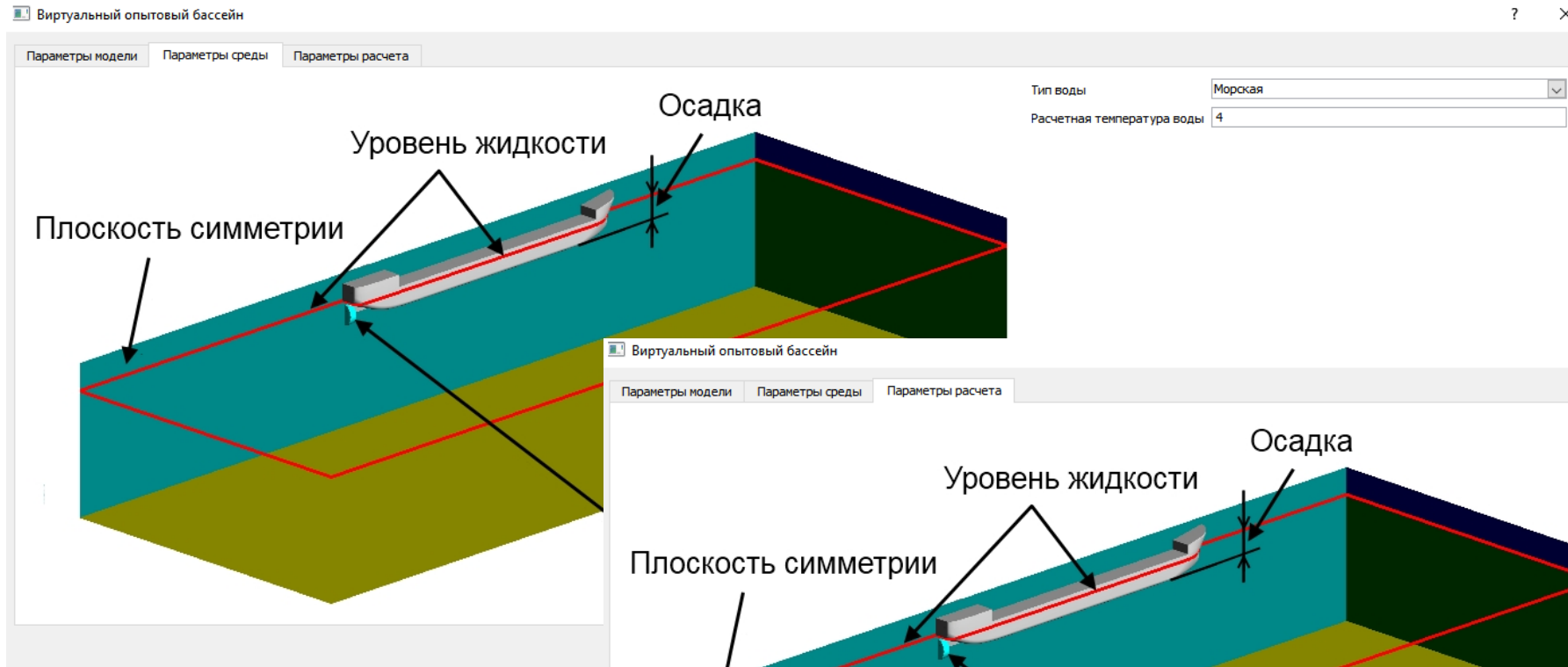
# Free code – virtual towing tank “VOBla”

Open code, solver - FlowVision

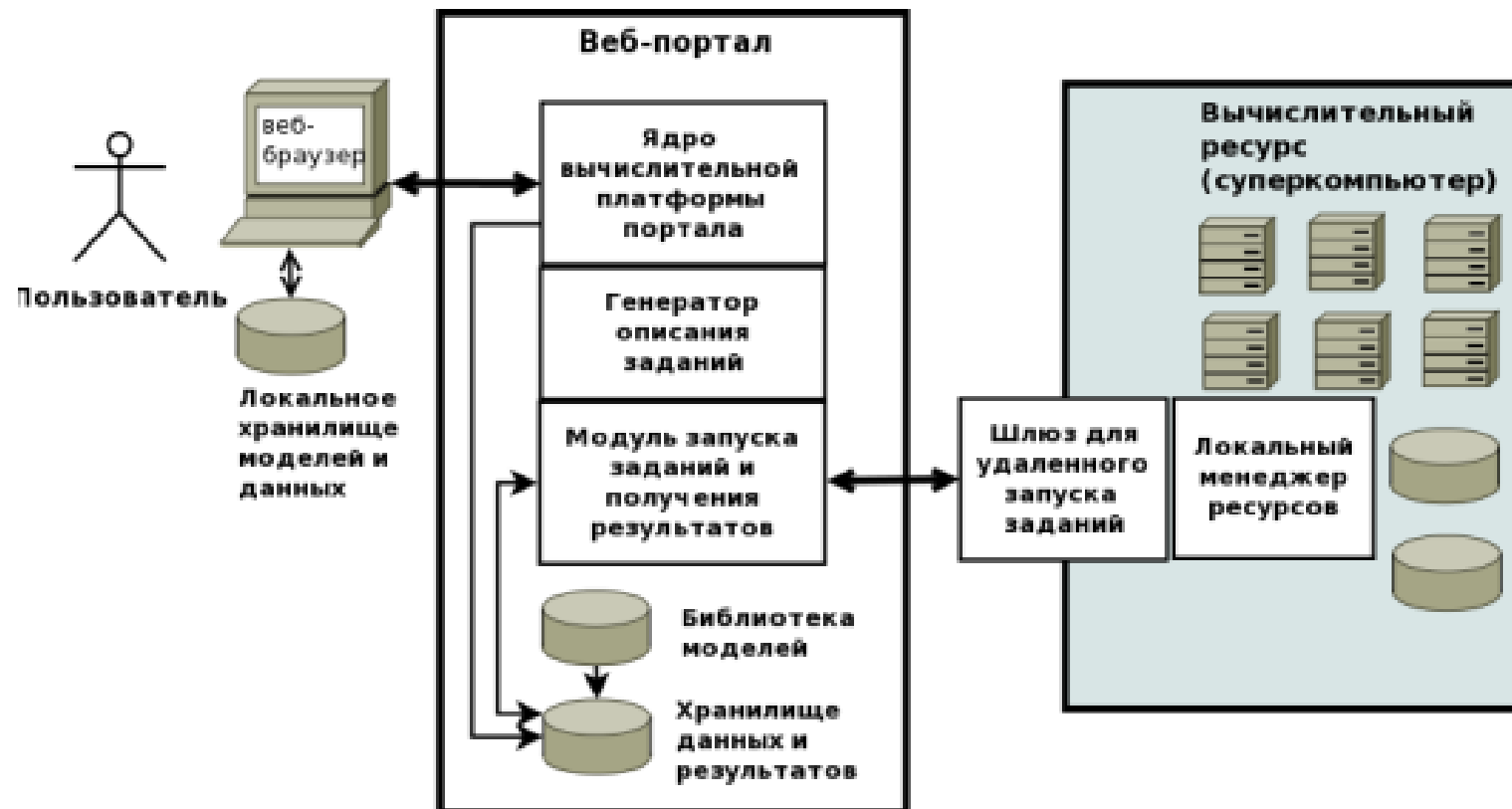




# Free code – virtual towing tank “VOBla”



# VOBla – for internet, architecture



# Start page of iVOBla

## Виртуальный опытовый бассейн

Создание численной модели обтекания судна с учетом волнообразования и ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое на корпусе судна

Поиск во всех разделах

- Новости
- Виртуальный бассейн
- Обслуживание
- Документация

**Пользователь**

Вы в роли 'Гостя'. Вы не можете пользоваться некоторыми функциями. Вы можете получить аккаунт пройдя по ссылке 'Зарегистрироваться'.

[Зарегистрироваться >>](#)

☐
 \* использовать openid

Логин   
 Пароль

**Управляющий персонал и Администраторы**

Dmitry Kokovin  
 Andrey Polyakov  
 contact persone

✉ [Сообщение Администратору](#)

**О проекте**

[Абстракт...](#)

### ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ОБТЕКАНИЯ СУДНА, ВИРТУАЛЬНЫЙ ОПЫТОВЫЙ БАССЕЙН, ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ, ВЕБ-ИНТЕРФЕЙС

**ТесИС**

Объектом исследования является численная модель обтекания судна с учетом волнообразования и ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое на корпусе судна.

Целью работы является разработка научно-технического задела в области численного моделирования турбулентности при обтекании судна водой с учетом волнообразования и ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое на корпусе судна, поиск путей наиболее эффективного использования суперкомпьютера для решения задачи численного моделирования турбулентности гидродинамики в промышленных приложениях, а также создание виртуального опытового бассейна для проведения расчетов на суперкомпьютере с доступом через web-браузер.

[подробнее...](#)

### Основные разделы

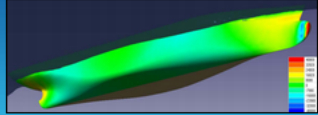
<b>Новости</b>	Всего: 1 записей.
Новости касающиеся проекта.	
<input type="button" value="Искать в разделе"/>	<input type="button" value="Последняя запись"/>
<b>Выполняемые задачи</b>	Всего: 49 записей.
Формулировки задач, параметров.	
<input type="button" value="Искать в разделе"/>	<input type="button" value="Последняя запись"/>
<b>Управление задачами</b>	Всего: 436 записей.
Запуски задач, проверка статуса	
<input type="button" value="Искать в разделе"/>	<input type="button" value="Последняя запись"/>
<b>Помощь Wiki</b>	Всего: 15 записей.
On-line документация, руководства, описания, доступные для редактирования пользователям портала.	
<input type="button" value="Искать в разделе"/>	<input type="button" value="Последняя запись"/>
<b>Документация</b>	Всего: 1 записей.
Описания, руководства, отчеты в текстовых форматах Word, PDF и т.д.	
<input type="button" value="Искать в разделе"/>	<input type="button" value="Последняя запись"/>
<b>Изображения</b>	Всего: 7 записей.
раздел для загрузки изображений. вы можете загрузить здесь изображения, что бы использовать их в обсуждении или документации	
<input type="button" value="Искать в разделе"/>	<input type="button" value="Последняя запись"/>
<b>Пользователи</b>	Всего: 7 записей.
Зарегистрированные пользователи	



# Project list of iVOBla

## Виртуальный опытовый бассейн

Создание численной модели обтекания судна с учетом волнообразования и ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое на корпусе судна



Поиск во всех разделах

### Выполняемые задачи "

Расширенный поиск в разделе
Создать запись

**Запуски**

Все запуски задач

Задачи решаемые с помощью пакета \*\*\*\*\*

Найдено 10 записей 1-10

<a href="#">тест № 1</a>	2013-08-26 13:29:49
Простой тест для проверки работы бассейна	
оценка: 0; просмотров: 11; закладки: 0; мнений: 0	<a href="#">Заложить</a>
<a href="#">Тест с реальной геометрией</a>	2013-08-27 13:31:31
Вдруг заработает...	
оценка: 0; просмотров: 16; закладки: 0; мнений: 0	<a href="#">Заложить</a>
<a href="#">Тест 09092013</a>	2013-09-09 13:49:20
Тест расчета после обновления ПО	
оценка: 0; просмотров: 5; закладки: 0; мнений: 0	<a href="#">Заложить</a>
<a href="#">Тестовый запуск №2 от 09092013</a>	2013-09-09 14:40:27
Повторный тестовый запуск	
оценка: 0; просмотров: 9; закладки: 0; мнений: 0	<a href="#">Заложить</a>
<a href="#">10.09.2013-1</a>	2013-09-10 11:01:45
Тестовый запуск 10.09.2013 на 4 процессорах	
оценка: 0; просмотров: 7; закладки: 0; мнений: 0	<a href="#">Заложить</a>
<a href="#">10.09.2013 -2</a>	2013-09-10 12:02:42

Поиск в дружественных источниках

[Поиск на внешних ресурсах >>](#)

[Федерация >>](#)

---

**Пользователь**

Логин: sinitsyn

Статус: Пользователь

[Настройки](#)

---

[Закладки](#) 0

[Корзина](#)

[сообщения](#) 1 1

[блог](#)

[загруженные файлы](#)

[Выйти](#)

---

**Управляющий персонал и Администраторы**



# Parameters specification

поиск во всех разделах

Новости

Виртуальный бассейн

Выполняемые задачи

Обслуживание

Документация

Обсуждения

Поиск в дружественных источниках

Поиск на внешних ресурсах >>

Федерация >>

Пользователь

Логин: sinitsyn

Статус: Пользователь

Настройки

Закладки

Корзина

сообщения

блог

загруженные файлы

Выйти

Управляющий персонал и Администраторы

Dmitry Kokovin

Andrey Polyakov

contact persone

Сообщение Администратору

О проекте

Абстракт...

V.2.12.005

Формулировка задачи (стабильная форма, предварительный вариант)

заполните поля согласно описаниям:

Общее описание

Название задачи

это поле используется как наименование записи и задачи

Обязательно

Описание задачи

это описание используется в каталогах как краткая информация (дескрипшен) о данной записи

Обязательно

Дополнительная информация

здесь можно дать детальное описание или другую дополнительную информацию

Пользователь

Текущая дата

Состояние задачи

sinitsyn

2013-11-26T15:19:51

NOT\_STARTED

Общее описание

Входные параметры

Геометрия

Загрузка файла геометрии (с диска)

\*.stl или \*.wrl или \*.mesh

Обзор...

Файл не выбран.

Параметры задачи

изменяемые параметры задачи

симметрия

нет

относительно

диаметральной плоскости

осадка судна

0

[м] Обязательно

дифферент

0

[град] Обязательно

скорость буксировки

0

[узлов] Обязательно

Параметры среды

вода

морская

расчетная

4

температура

[град] Обязательно

Плоскость симметрии

Уровень жидкости

Осадка

Диск винта

Степени свободы

использовать

нет

водоизмещение [т]

0

момент инерции относительно центра тяжести [т\*м^2]

0

положение центра тяжести X [м]

0

положение центра тяжести Z [м]

0



# Parameters specification-2

contact persone

Сообщение Администратору

0 проекте

Абстракт ...

V.2.12.005

дифферент

[град] Обязательно

0

скорость буксировки

[узлов] Обязательно

10

Параметры среды

вода

морская

расчетная температура

[град] Обязательно

4

Положение диска винта

координаты центра X

[м]

2

координаты центра Z

[м]

2

радиус диска

[м]

1

Параметры расчета

Коэффициент увеличения размера расчетной области:

X

1

Y

1

Z (глубина)

1

Z (высота)

1

Степень точности расчетной сетки:

1

Продолжительность счета

1

число пролетных времен

Количество используемых процессоров:

4

Диск винта

Степени свободы

использовать

нет

водоизмещение [т]

0

момент инерции относительно центра тяжести [т\*м^2]

0

положение центра тяжести X [м]

0

положение центра тяжести Z [м]

0

положение центра вращения X [м]

0

положение центра вращения Z [м]

0

свобода по всплытию

нет

свобода по дифференту

нет

Входные параметры

Please choose a category to put data into:

Запуски>>Задачи решаемые с помощью пакета \*\*\*\*\*>>

Добавить





# Before run on Supercomputer

## Виртуальный опытовый бассейн

Создание численной модели обтекания судна с учетом волнообразования и ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое на корпусе судна

Поиск во всех разделах

Поиск на внешних ресурсах >>

Федерация >>

Пользователь

Логин: sinitsyn

Статус: Пользователь

Настройки

Закладки 0

Корзина

сообщения 1 1

блог

загруженные файлы

Выйти

Управляющий персонал и Администраторы

✉ Dmitry Kokovin

✉ Andrey Polyakov

contact persone

✉ Сообщение Администратору

О проекте

Абстракт ...

### Формулировка задачи

Наименование **Тест 26112013**

Описание Тест от 26 ноября 2013 г

Дополнительная информация

Входные параметры

**Геометрия** [Скачать](#)

**Параметры задачи**

симметрия относительно диаметральной плоскости	да
осадка судна [м]	4
дифферент [град]	0
скорость буксировки [узлов]	10

**Характеристики среды**

вода	морская
расчетная температура [град]	4

**Положение диска винта**

координаты центра X[m]/Z[m]	2 / 2
радиус диска [м]	1

**Параметры расчета**

Коэффициент увеличения размера расчетной области: X/Y/D(глубина)/H(высота)	1 / 1 / 1 / 1
Степень точности расчетной сетки	1
Продолжительность счета	1
Количество используемых процессоров	4

Дата размещения 2013-11-26T15:19:51

Автор sinitsyn

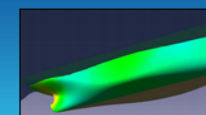
Состояние (статус) NOT\_STARTED

[ЗАПУСТИТЬ](#)

<b>Fx Н(с)</b>	<b>Fz Н(с)</b>	<b>Осадка м(с)</b>



# Checking problem status (after run)



## Виртуальный опытовый бассейн

Создание численной модели обтекания судна с учетом волнообразования и ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое на корпусе судна

Поиск во всех разделах

Поиск на внешних ресурсах >>  
Федерация >>

Пользователь

Логин: sinitsyn  
Статус: Пользователь  
Настройки

Закладки  
Корзина  
сообщения  
блог  
загруженные  
файлы

Управляющий персонал и  
Администраторы

Dmitry Kokovin  
Andrey Polyakov  
contact persone

### Формулировка задачи

Наименование	Тест 26112013		
Описание	Тест от 26 ноября 2013 г		
Дополнительная информация			
Входные параметры	<b>Геометрия</b>	<a href="#">Скачать</a>	
	<b>Параметры задачи</b>		
	симметрия относительно диаметральной плоскости	да	
	осадка судна [м]	4	
	дифферент [град]	0	
	скорость буксировки [узлов]	10	
	<b>Характеристики среды</b>		
	вода	морская	
	расчетная температура [град]	4	
	<b>Положение диска винта</b>		
	координаты центра X[m]/Z[m]	2 / 2	
	радиус диска [м]	1	
	<b>Параметры расчета</b>		
	Коэффициент увеличения размера расчетной области: X/Y/D(глубина)/H(высота)	1 / 1 / 1 / 1	
	Степень точности расчетной сетки	1	
	Продолжительность счета	1	
	Количество используемых процессоров	4	
Дата размещения	2013-11-26T15:19:51		
Автор	sinitsyn		
Состояние (статус)	PROCESSING		
	<a href="#">ПРОВЕРИТЬ/ОБНОВИТЬ</a>		

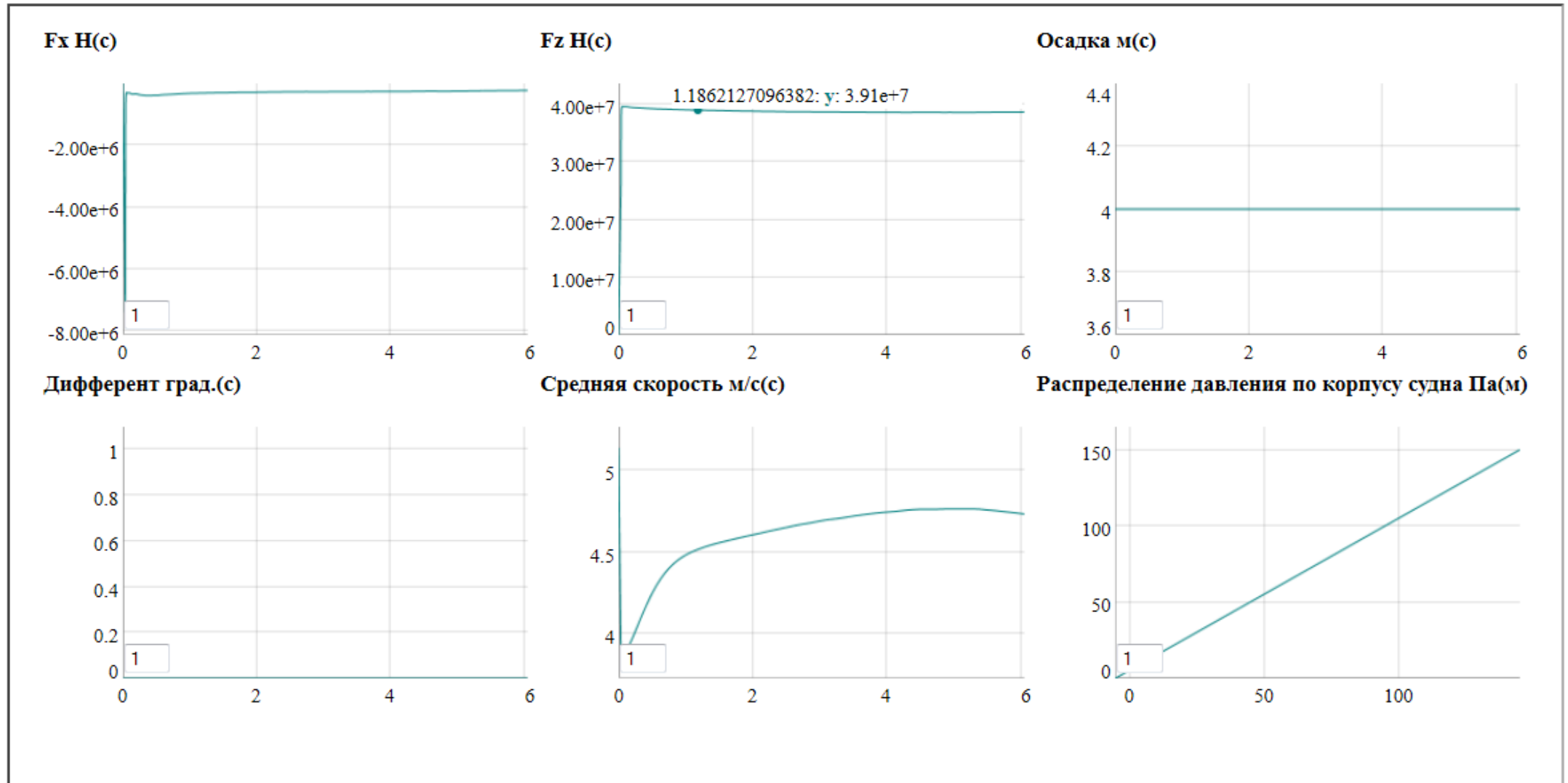
Fx H(c)

Fz H(c)

Осадка м(с)

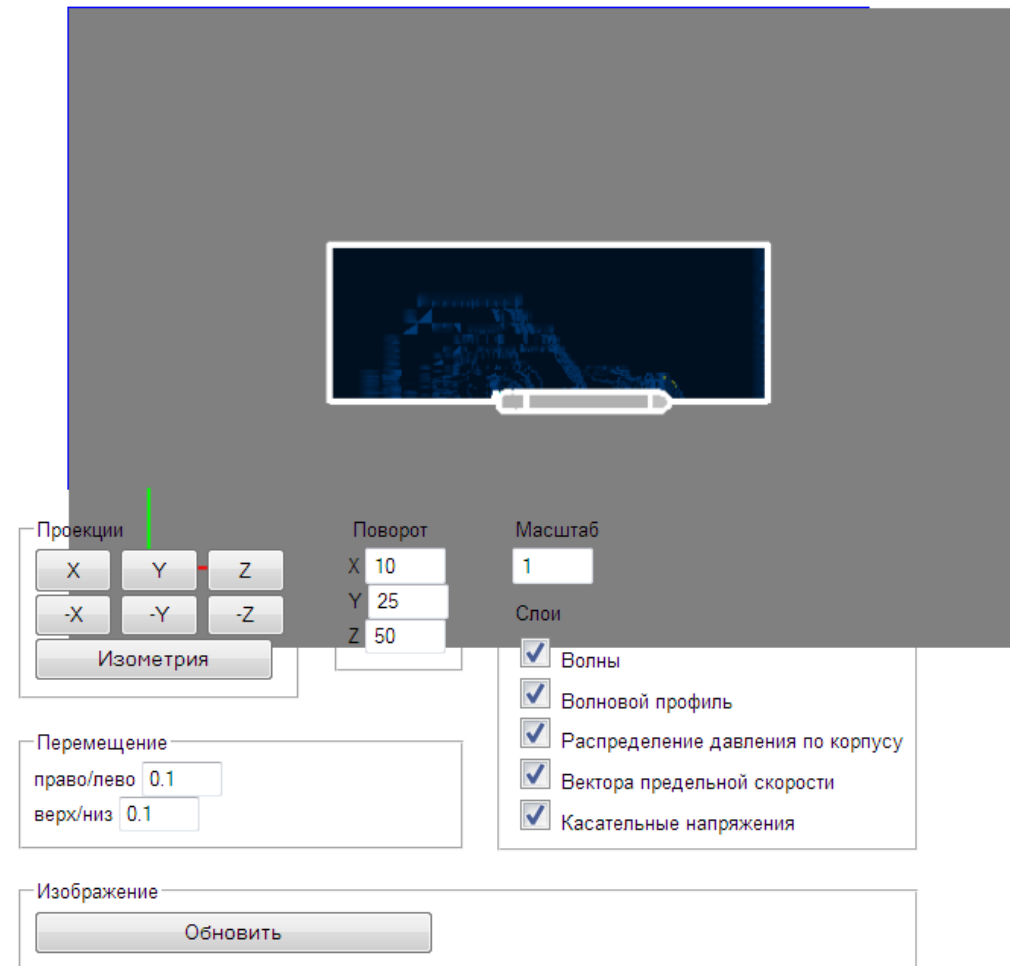


# Результаты расчетов



# Results

ПРОСМОТР результатов счета задания



# Conclusion

- Using virtual towel tank we want to give to maritime engineers and designers simple way how to estimate propulsion characteristics of their developed or modified ship with high accuracy
- Internet virtual towel tank gives to engineers also an access to supercomputer power – easy and fast to solve complex maritime problems.

