Что нельзя рассчитать – нельзя построить!
Мудрость ракетчиков

Опыт применения отечественного пакета CFD анализа (вычислительная гидродинамика) в судостроении

Аксенов А. А.
Технический директор ТЕСИС
к.ф.-м.н.

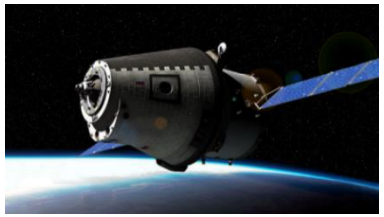
FlowVision

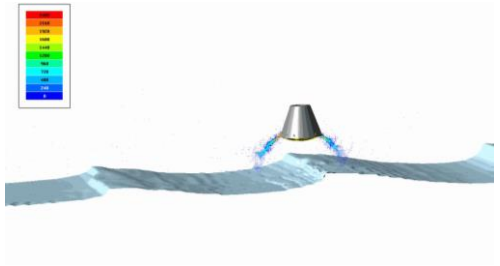
FlowVision: численное моделирование задач газо-гидродинамики в науке и промышленности

- Полностью автоматическая генерация расчетной сетки с локальной динамической адаптацией
- Разрешение пограничных слоев, сетка типа «химера» - без ограничения на сложность поверхности
- Моделирование взаимодействия жидкости/газа с подвижными и гибкими конструкциями
- Моделирование движения многофазной жидкости с контактными границами
- Широкий спектр физических моделей (турбулентность, массоперенос, химия, горение, дисперсные фазы)
- Моделирование задач турбомашиностроения, секторная постановка
- Проведение расчетов на современных суперкомпьютерах с гетерогенным параллелизмом (более 10^4 ядер, более 1e8 расчетных ячеек)

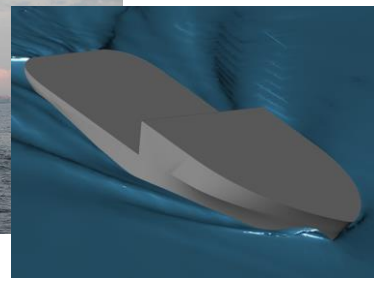
FlowVision участвует в проектах

Космонавтика
Космический корабль «Федерация»

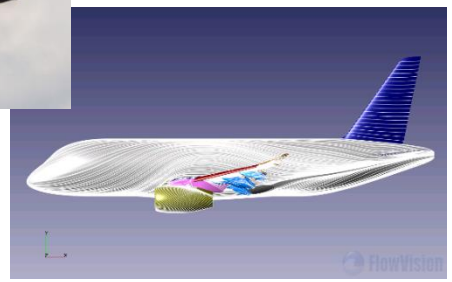




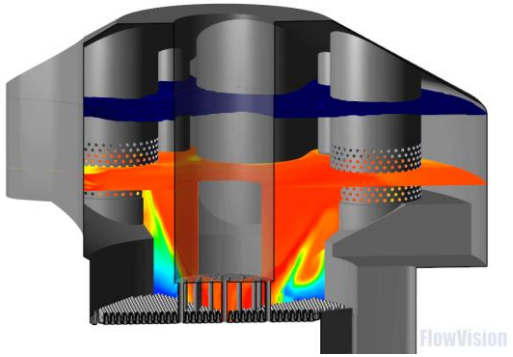
Судостроение
Судно тылового обеспечения «Эльбрус»



Авиация

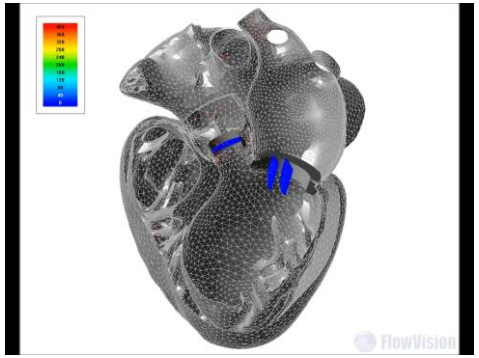


Атомная промышленность



Автомобильная промышленность

Медицина
Проект «Живое Сердце»

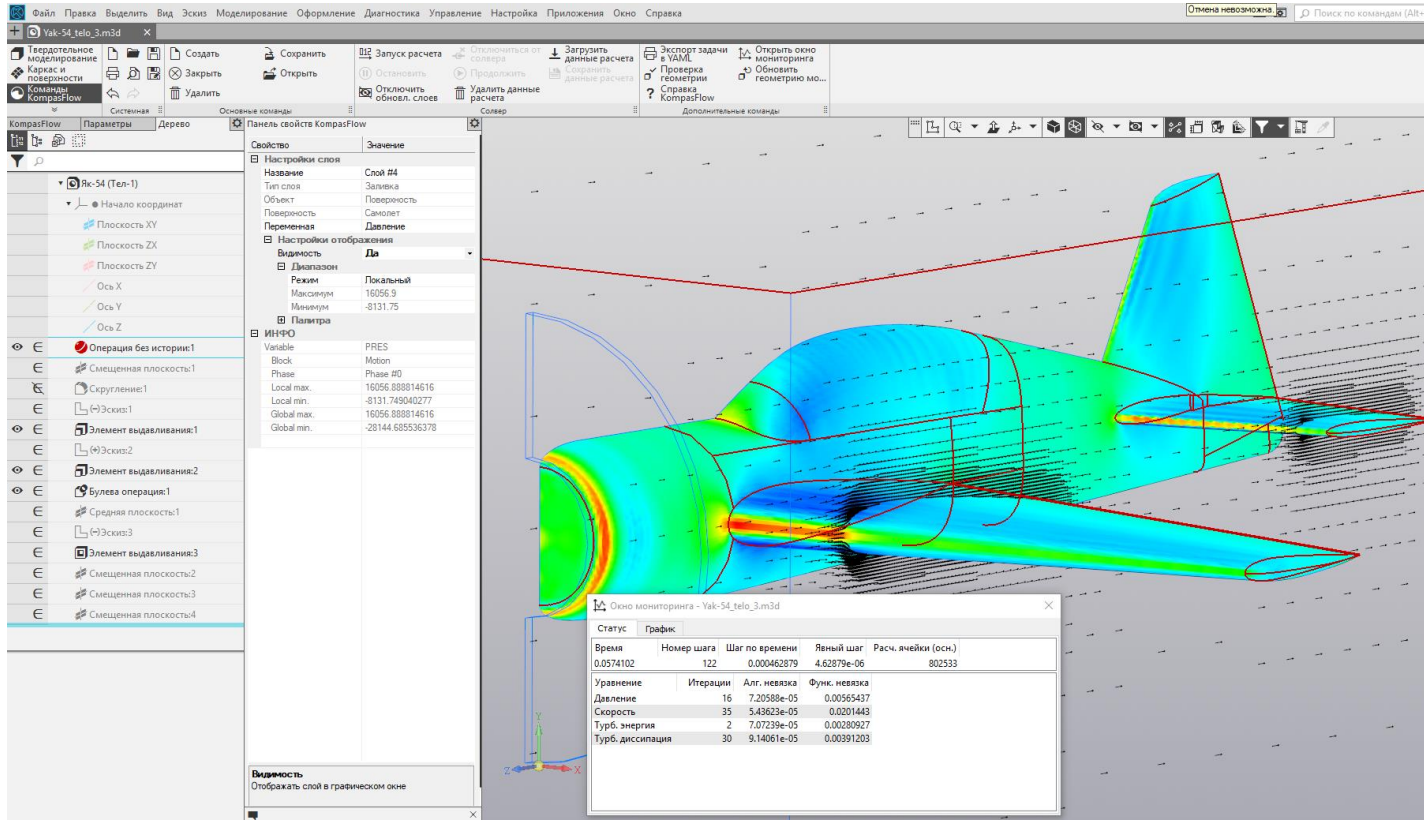


FlowVision – участник Консорциума РазвИТие по созданию тяжелой PLM системы

Консорциум РазвИТие в составе компаний АСКОН, НТЦ «АПМ», ТЕСИС, ADEM, Эремекс

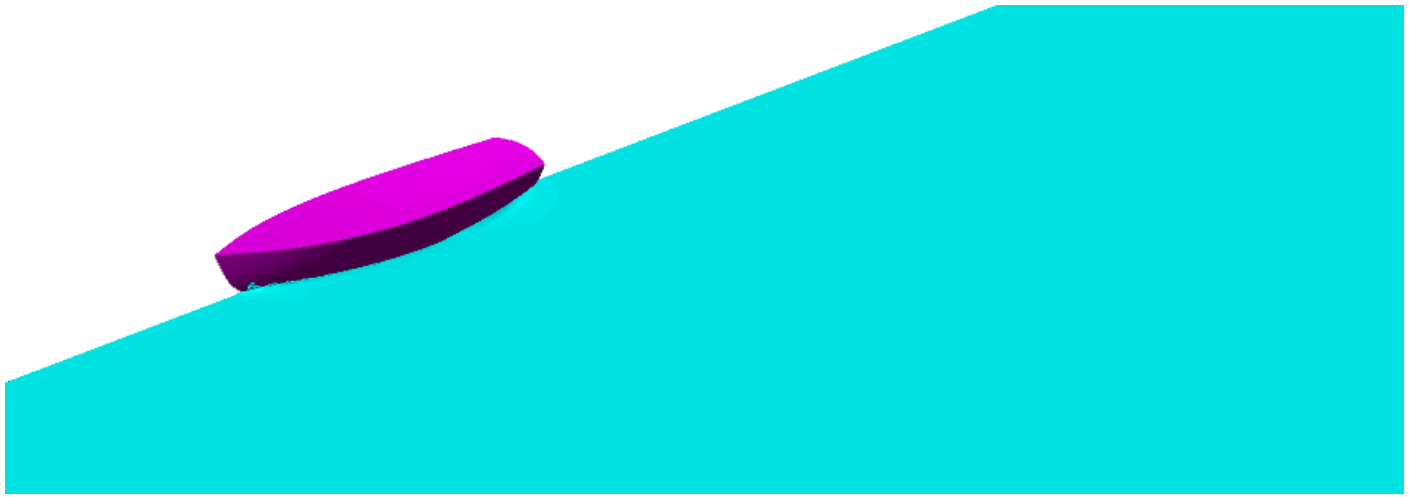
Вклад компании ТЕСИС в консорциум

- **усиление CAE-решений Консорциума – функционал для расчета движения жидкости, газа и плазмы для виртуальных испытаний изделий в течение всего ЖЦ**
- **интеграция с другими программами для решения задач**
  - **Взаимодействие жидкости и конструкций (с WinMachine)**
  - **Охлаждения микроэлектронной аппаратуры (с DeltaDesign)**
- **создание модуля KompasFlow – это FlowVision, интегрированный в Компас 3D**



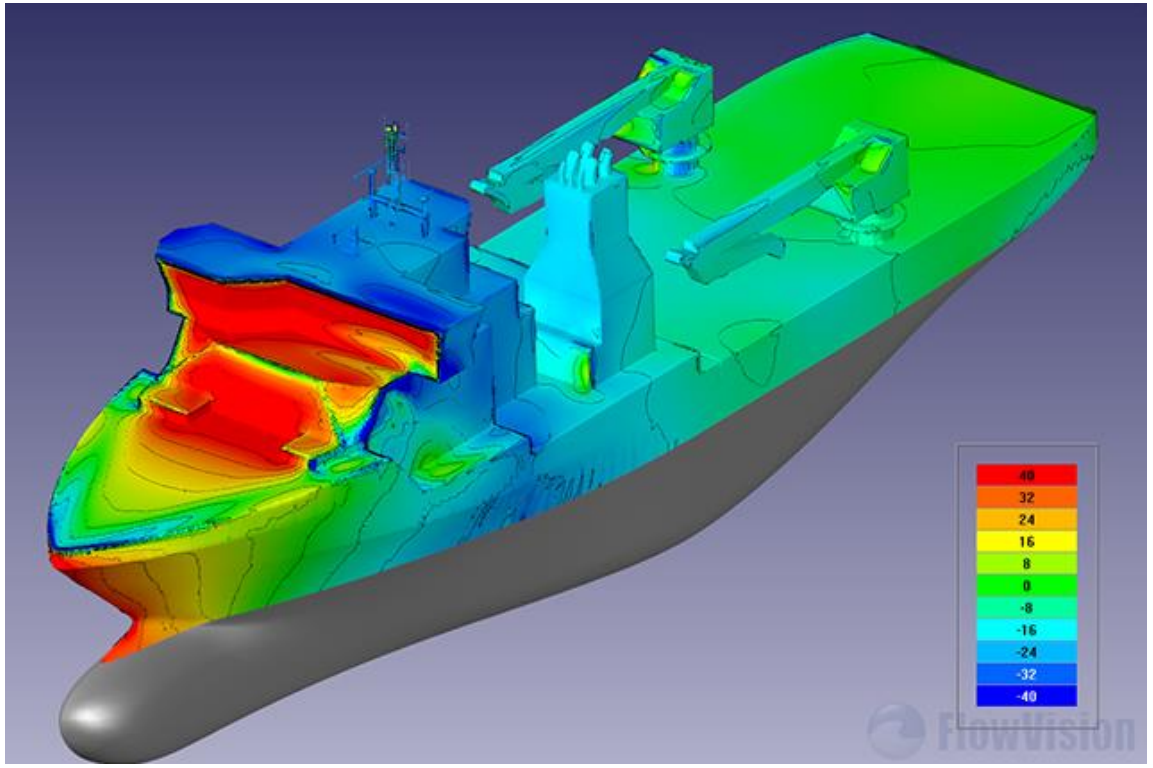
FlowVision для судостроения, решение задач:

- Обтекание судового корпуса:
  - Сопротивление корпуса
  - Учет свободной ходовой посадки
  - Глиссирование быстроходных судов
- Пропульсивные системы:
  - гидродинамические характеристики винтов
  - взаимодействие корпус-движитель
- Расчет качки судна
- Расчет управляемости судна

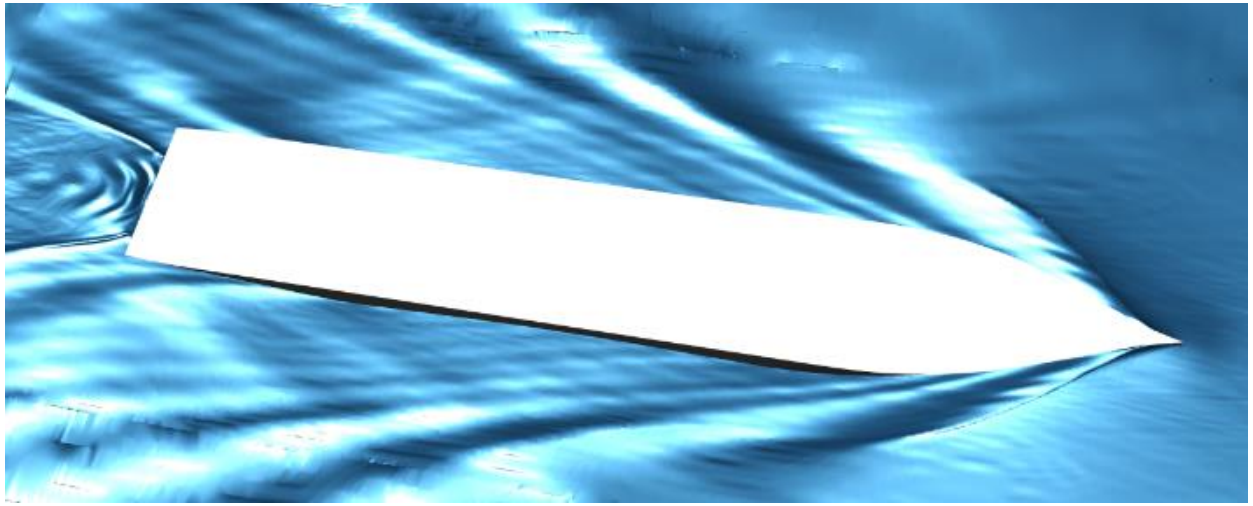


Решение специальных задач:

- Аэродинамика судового корпуса
- Колебания жидкости в танкерах
- Военно-морские задачи
  - гидроакустика гребных винтов
  - задымленность и тепловой след
  - системы охлаждения выхлопных газов
  - движение торпед, старт ракет из шахт
  - гидродинамика подводных лодок
  - моделирование морского взрыва
  - моделирование движения ГЧ в среде вода-воздух

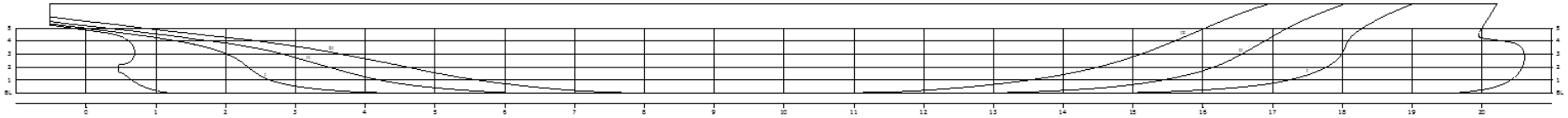


Эталонное тестирование ПК FLOWVISION в задаче моделирования обтекания судового корпуса

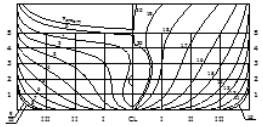


FlowVision

KCS – бенчмарк семинара в Гетеборге

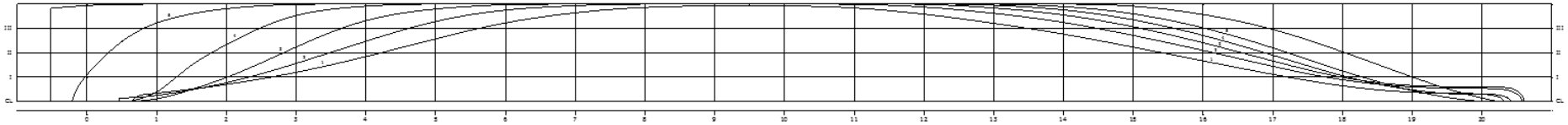


Теоретический чертеж



Principal Dimensions:

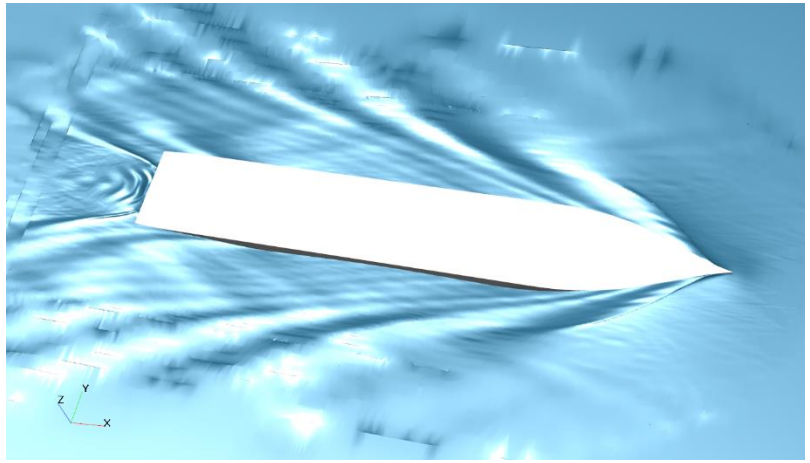
Length on waterline at design draught	L_{WL}	232.443	m
Length between perpendiculars	L_{PP}	230.000	m
Breadth	B	32.200	m
Design draught	T	10.800	m
Depth	D	14.500	m
Bilge radius	R	2.500	m
Displacement volume at design draught	V	52034	m^3
Block coefficient	C_B	0.644	



Главные размерения

	Судно	Модель
Длина между перпендикулярами L_{BP}, м	230.0	7.2786
Ширина B, м	32.2	1.0190
Высота борта D, м	19.0	0.6013
Осадка T, м	10.8	0.3418
Водоизмещение объёмное V, $м^3$	52030.0	1.6490
Площадь смоченной поверхности S, $м^2$	9424.0	9.4379
Коэффициент общей полноты C_B	0.6505	
Коэффициент полноты миделя C_M	0.9849	
Относительная абсцисса центра величины x_C/L_{BP} (%), в нос «+»	-1.48	
Масштаб λ	31.5994 : 1	

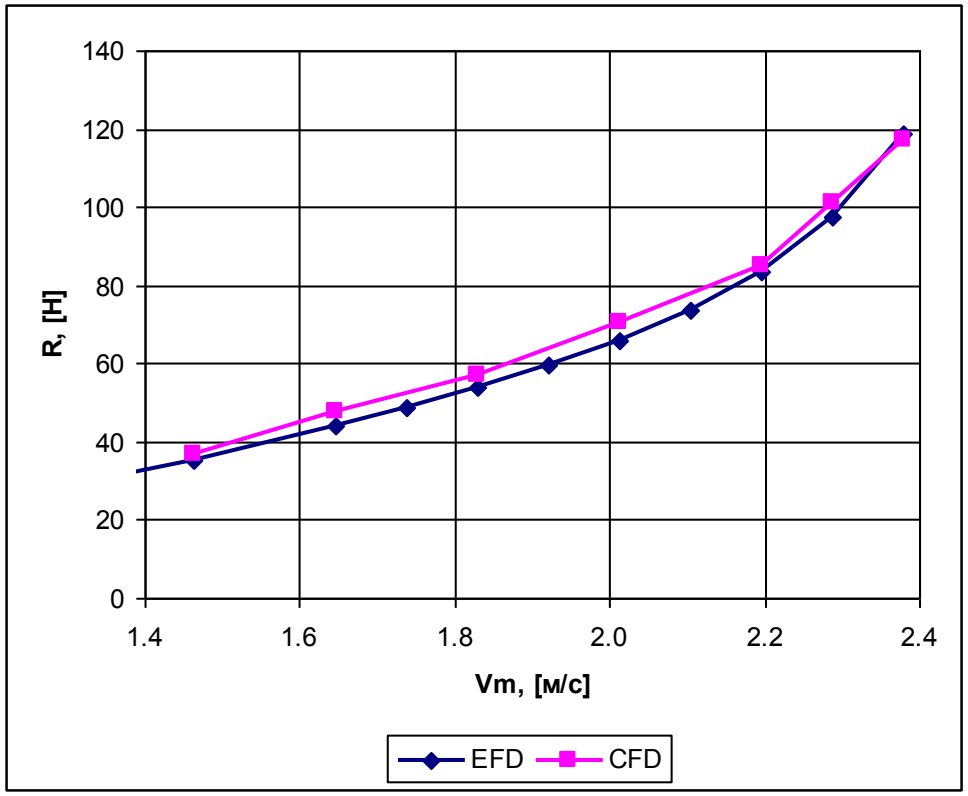
Расчет во FlowVision



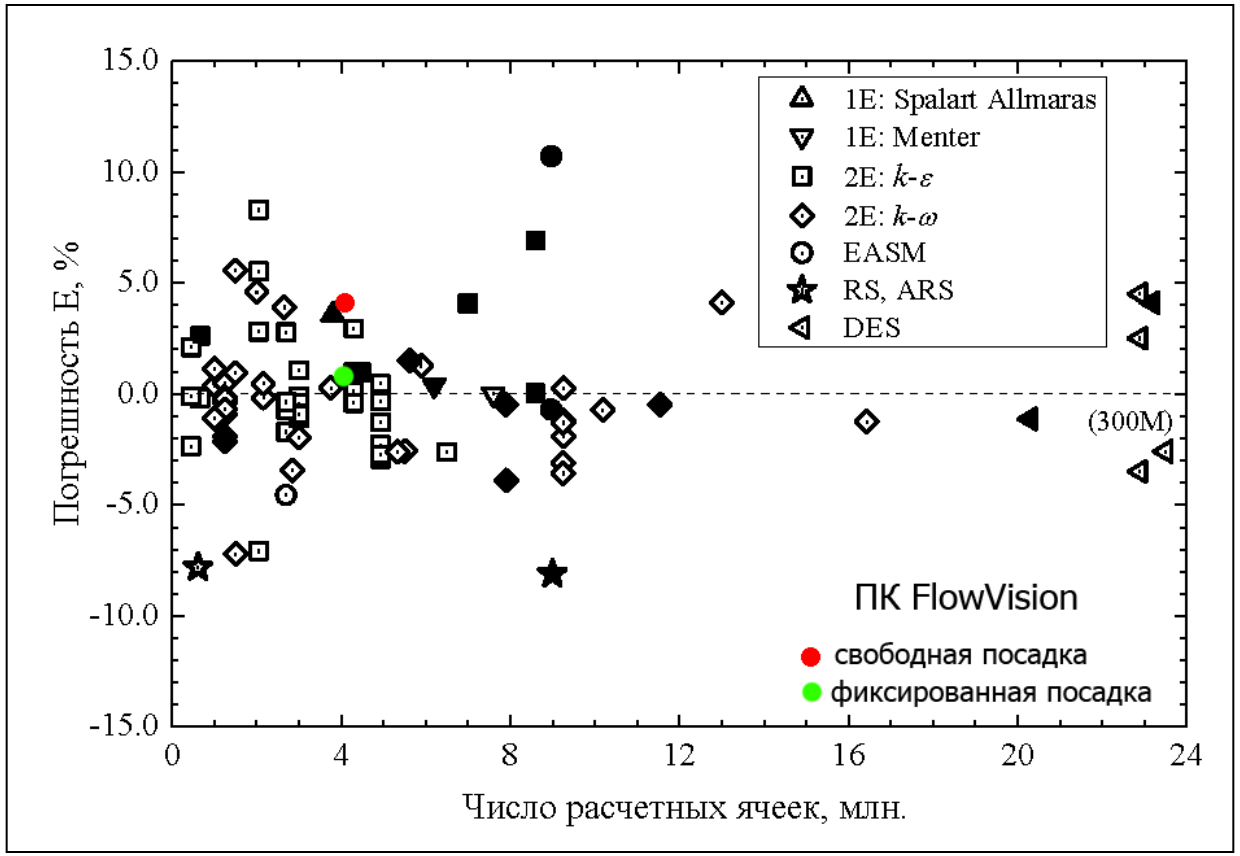
Fn = 0.28

Оценка средней погрешности

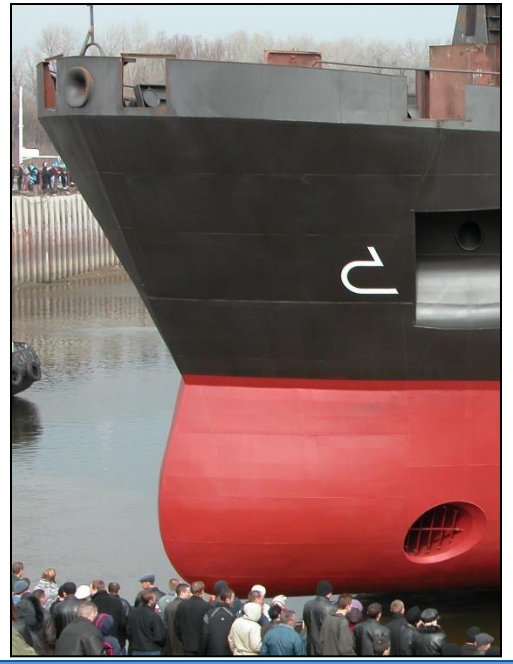
Зависимость сопротивления от скорости при свободной посадке

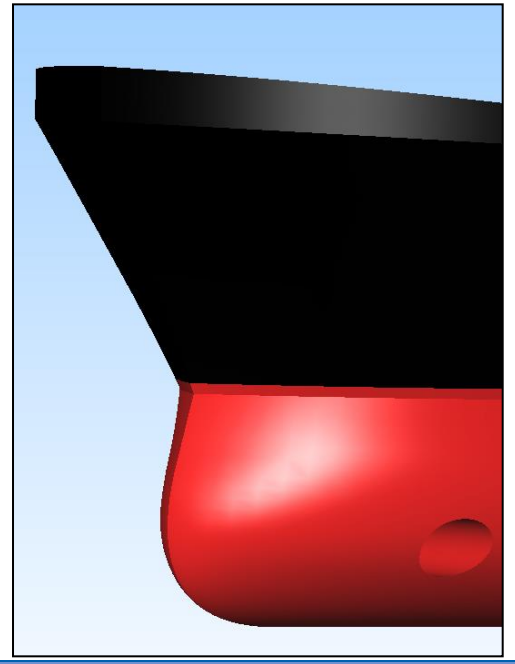


Средняя погрешность расчетов с разными моделями турбулентности и размерами сеток по данным семинара «Гетеборг-2010»

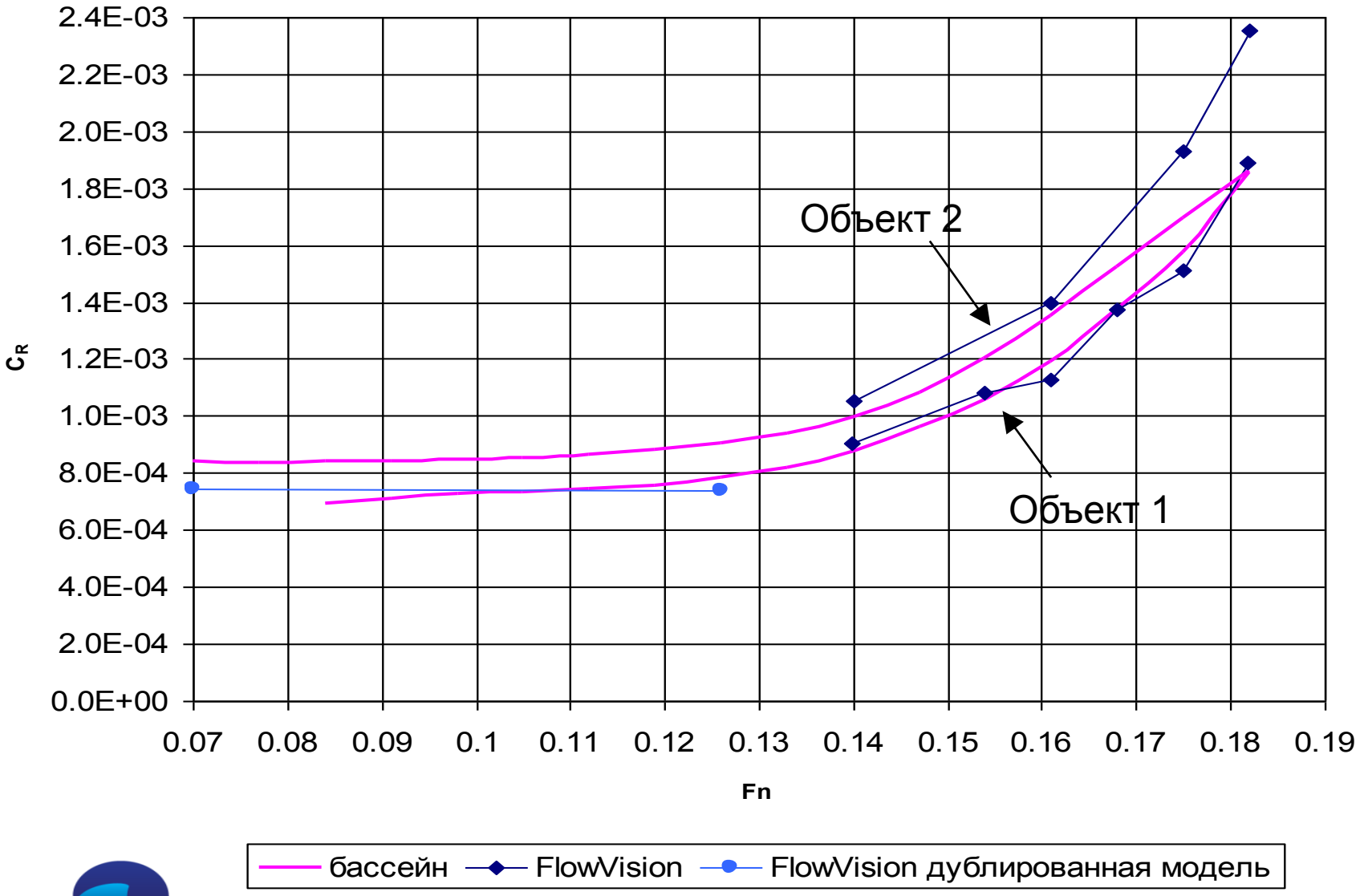


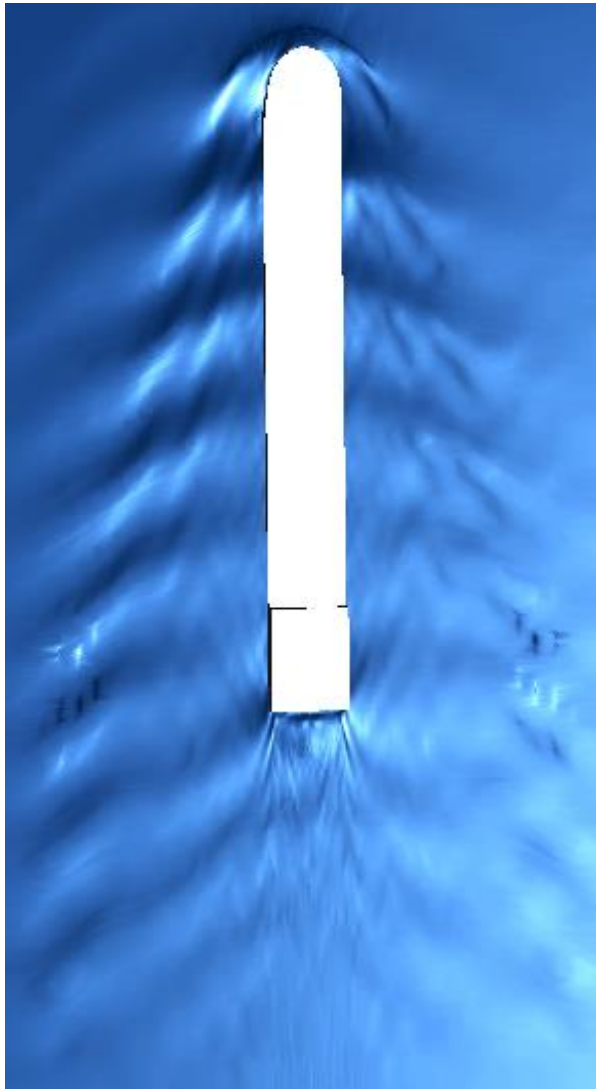
Транспортные суда с большой полнотой обводов



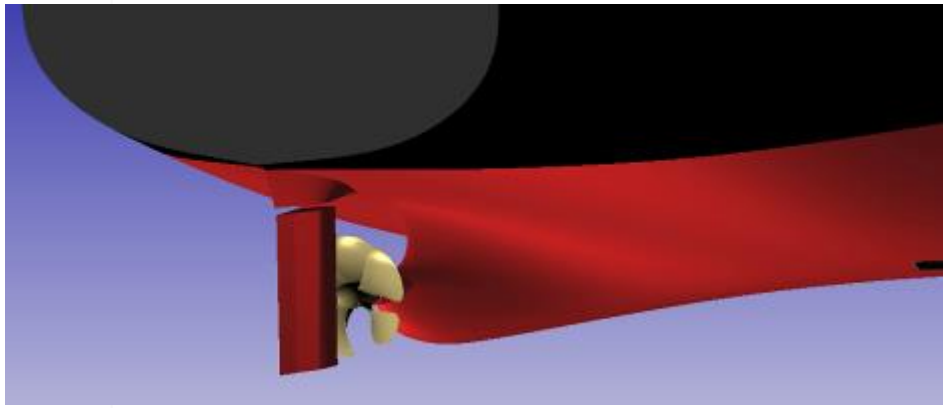


Численное моделирование – основные результаты





Численное моделирование работы судовых гребных винтов



Гребной винт в составе модели пропульсивного комплекса транспортного судна

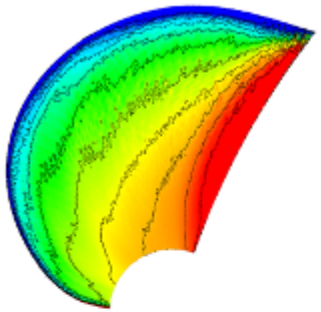
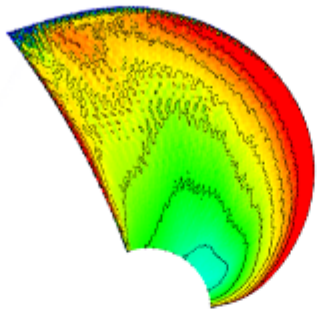
ВРШ лайнера «Queen Elizabeth 2»

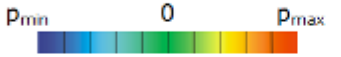
Винт регулируемого шага (ВРШ) на крупном грузовом судне

FlowVision

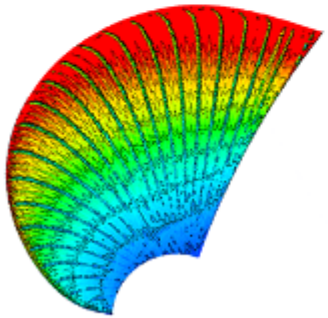
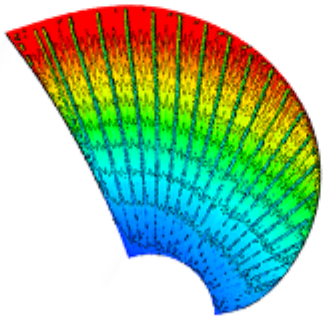
Численное определение упора и момента гребного винта М 4-85

Распределение нормальных напряжений по лопасти, J = 0.4

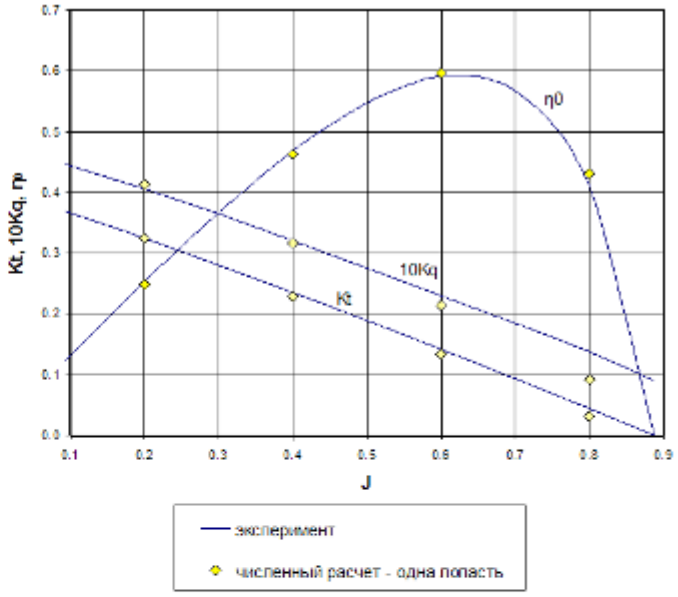
засасывающая сторона	нагнетающая сторона
	
$p_{min} = -10 \cdot \frac{T}{\pi \cdot D^2}$	$p_{min} = -3 \cdot \frac{T}{\pi \cdot D^2}$, $p_{max} = 3 \cdot \frac{T}{\pi \cdot D^2}$



Распределение касательных напряжений по лопасти, J = 0.4

засасывающая сторона	нагнетающая сторона
	

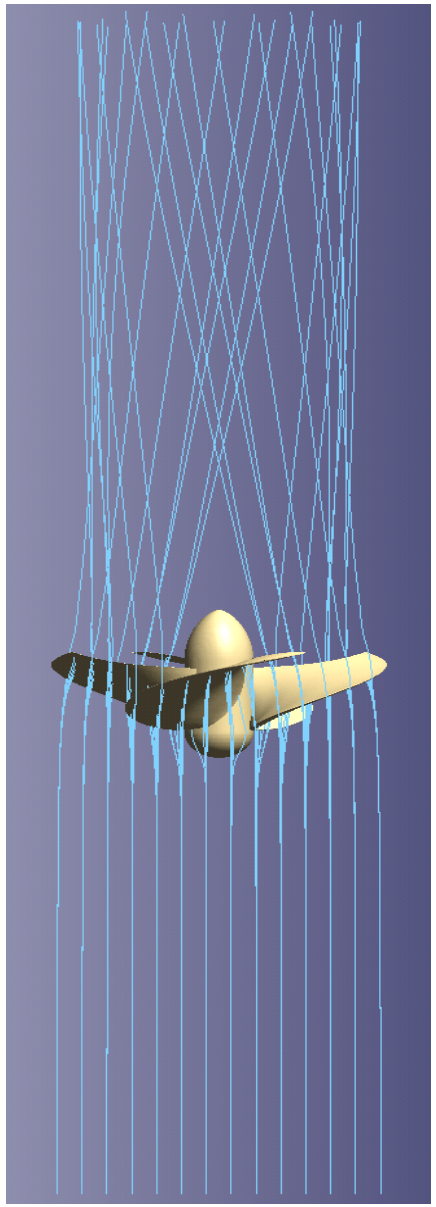
$$s_{max} = \frac{Q}{0.7 \cdot \pi \cdot D^3}$$



Серия	**М 4-85**	
Диаметр модели	D	0.400 м
Шаг модели	P	0.320 м
Шаговое отношение	P/D	0.800
Дисковое отношение	A_E/A_O	0.850

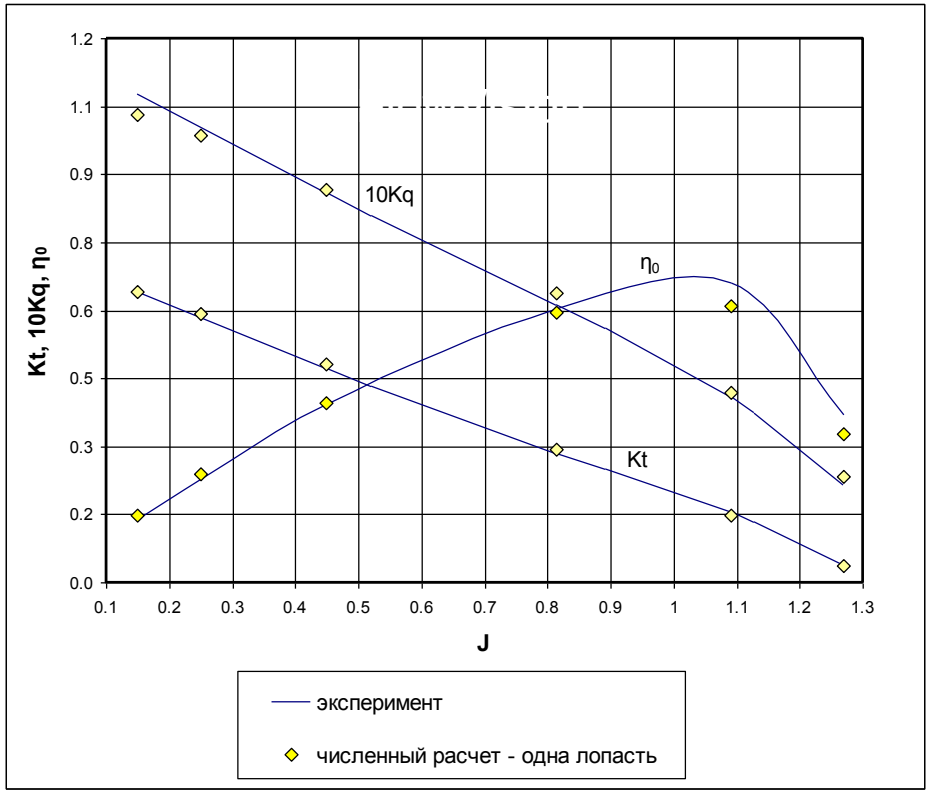
Профиль сечения - **ИК-75** (ИК: a = 0.8, b = 0.05)

Сведения об эксперименте	Опытовый бассейн
Число Re в эксперименте	$(2.5 \div 4.5) \cdot 10^5$
Число Re в численном расчете	$3.4 \cdot 10^6$

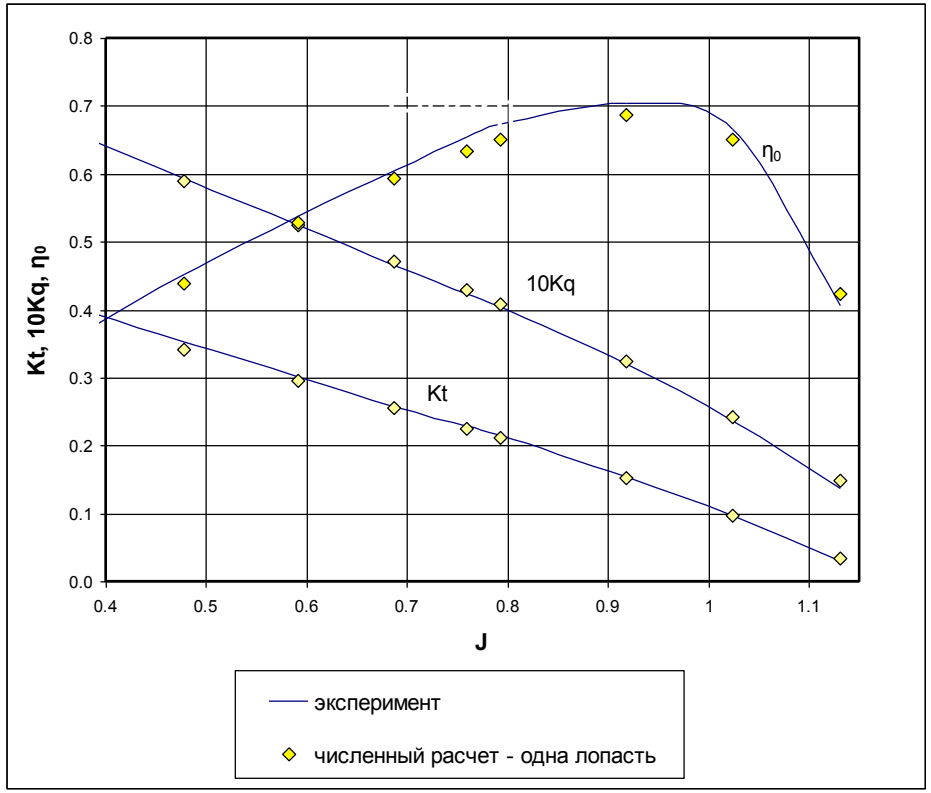


Сопоставление результатов Fluent и FlowVision

Fluent



FlowVision



Результаты похожи. Но Fluent использовал 2 млн ячеек, а FlowVision – 400 тыс.

Применение FlowVision на АО “ЦКБ МТ “Рубин”

FlowVision

Акционерное общество “Центральное конструкторское бюро морской техники “Рубин” – крупнейшее в России многопрофильное конструкторское бюро морской техники.

Основные направления деятельности:

- **проектирование подводных лодок всех классов;**
- **проектирование морских сооружений различного назначения;**
- **создание учебно-тренировочных средств и комплексов различного назначения;**
- **авторский надзор, обеспечение ремонта и модернизации разработанных ЦКБ МТ ”Рубин” объектов;**
- **проектирование, изготовление, испытания и поставка опытных и серийных образцов судового комплектующего оборудования и устройств.**

В последнее время АО "ЦКБ МТ "Рубин" активно развивает направление проектирования подводных необитаемых аппаратов.

Подход «Рубина» к использованию численного моделирования

Плюсы численного моделирования

- Полнота получаемой информации – гораздо больше, чем в эксперименте
- Можно получить результат задолго до исполнения опытного образца
- Проведение расчетов «в натуре» в отличии от эксперимента «в модели»
- Можно смоделировать процесс, который никогда не будет экспериментально смоделирован – например, аварию

Минусы численного моделирования

- Большие вычислительные ресурсы (теперь это может быть и дорого!)
- Иногда расчеты могут занимать недели, а то и месяцы

Что делать?!

Подход «Рубина» к использованию численного моделирования

Использовать комбинированный подход:

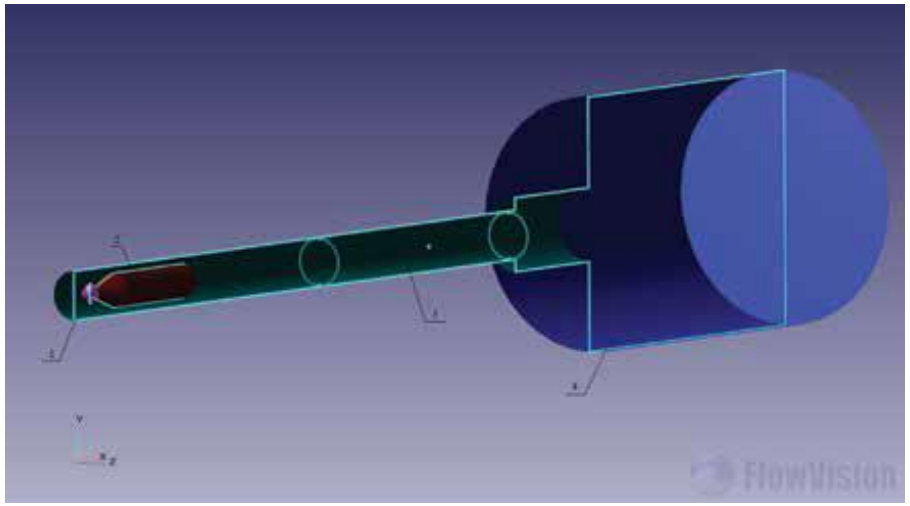
- вначале строятся математические модели, основанные на простых инженерных моделях
- отдельные параметры определяются с использованием современных методов конечно-элементного и конечно-объемного анализа

Простой пример – расчет перепада давления на 100-метровой трубы с поворотом. Перепад на повороте может быть рассчитан во FlowVision, а сила трения на огромных прямых участках взята из справочника.

Движение подводного аппарата под действием гребного винта

Постановка задачи:

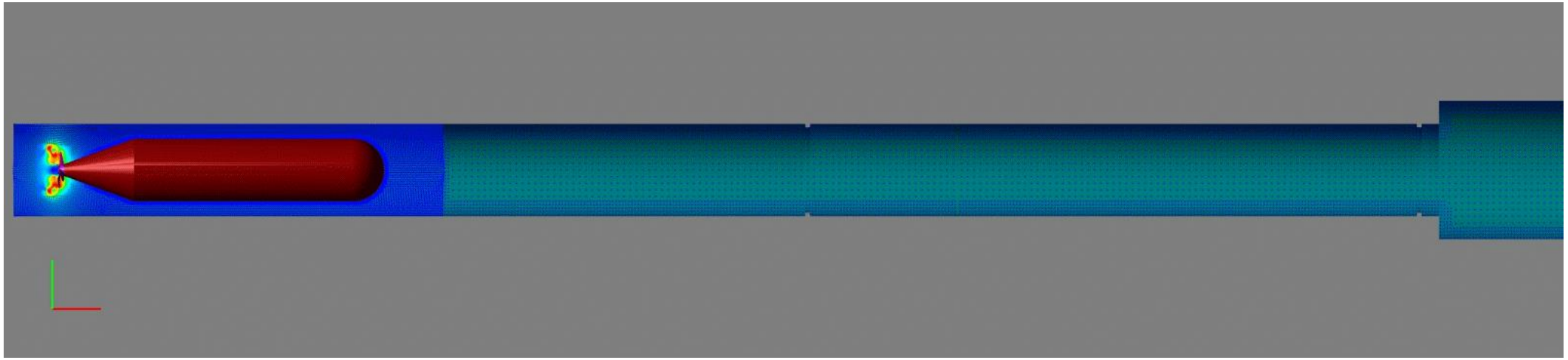
подводный аппарат, находящийся в замкнутом объеме, ограниченном цилиндрической поверхностью с закрытым задним торцом, начинает движение под действием собственного движительного комплекса от закрытого торца до полного выхода подводного аппарата в свободное пространство. Требуется определить параметры движения подводного аппарата.

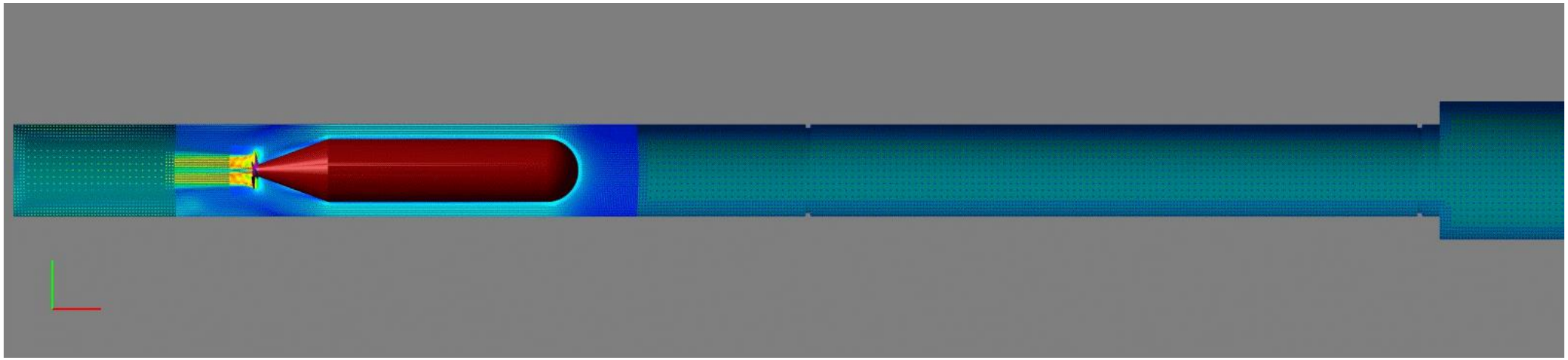


1 – винт; 2 – подводный аппарат; 3 – замкнутый объем; 4 – внешняя среда

Движение подводного аппарата под действием гребного винта

Прямое моделирование задачи - недели



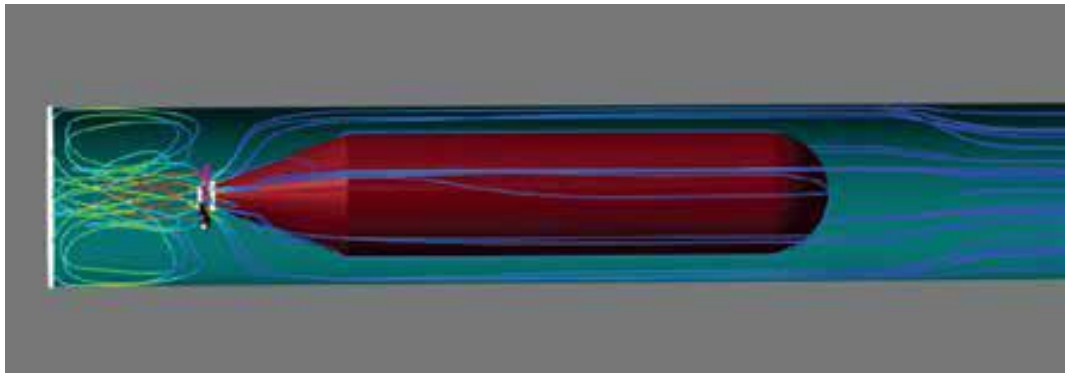


Движение подводного аппарата под действием гребного винта

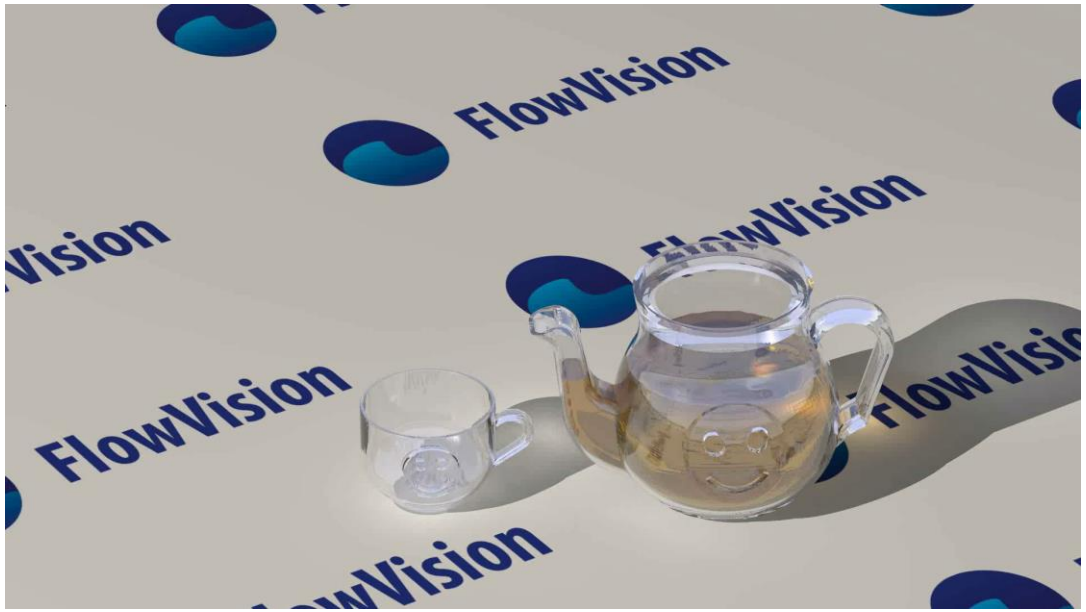
Движение аппарата определяется силами

- упором, создаваемым движительным комплексом подводного аппарата;
- сила гидродинамического сопротивления;
- сила донного сопротивления, вызванная разрежением водной среды за кормовой частью.

Из выделенных сил только упор нельзя точно определить инженерными формулами, а во FlowVision он определяется быстро. Все остальное определяется инженерными методами.



Заключение



- FlowVision позволяет решать широкий круг гидродинамических, аэродинамических и специальных задач судостроения
- В настоящее время FlowVision успешно применяется в отечественных судостроительных организациях как средство проектирования
- Уникальные возможности FlowVision – свободная поверхность и подвижные тела – позволяют решать сложные задачи проектирования, такие, как например, движение необитаемого подводного аппарата под действием силы, создаваемой собственным движителем, при отделении от носителя