



**Санкт-  
Петербургский  
государственный  
политехнический  
университет**

**НАУЧНО-  
ПРАКТИЧЕСКИЙ  
семинар**

**«Параллельные  
вычислительные  
технологии»**

**Челябинск,  
ЮУрГУ**

**26.01.2006**



**«Современные подходы математического  
моделирования в инженерных и научных  
исследованиях на базе программных систем с  
использованием высокопроизводительных  
вычислений»**



## **Сведения об авторе доклада**

*Болдырев Юрий Яковлевич - профессор, д.т.н.,  
директор Главного информационно  
вычислительного комплекса Санкт-  
Петербургского государственного  
политехнического университета,  
зав. каф. «Математическое и программное  
обеспечение высокопроизводительных  
вычислений»*



## *Вехи – становления математического моделирования как нового исследовательского инструментария*

- **Конец 19 начало 20 веков - переход от классической математики Ньютона, Эйлера и Лагранжа к математике метрических и гильбертовых пространств (Р. Фреше, Д. Гильберт). Итог - новые подходы в вычислительной математике и заложены теоретические основы современного математического моделирования.**
- **Следующие шаги - формулировка задач математической физики в форме интегральных тождеств, а также восходящий к Рихарду Куранту метод конечных элементов, - основа разработки вариационных и проекционных разностных методов.**
- **Вместе с тем, венцом достижений в развитии научного инструментария стало массовое внедрение ЭВМ в фундаментальные исследования и инженерную практику, начавшееся в середине XX века. При этом механика, математические модели которой являются наиболее сложными математическими объектами, которыми оперирует наука (упомянем только об уравнениях движения вязкой несжимаемой жидкости – уравнениях Навье – Стокса) получила мощнейший импульс в своем развитии.**
- **Появление компьютеров позволило исследователям и инженерам решать немыслимые ранее задачи.**

- На первых этапах внедрение ЭВМ тормозилось значительными трудностями в написании программ «в кодах», т.е. на языке команд ЭВМ, что было преодолено к 1957 году, созданием языка FORTRAN, породившим «эпоху» проблемно ориентированных языков – ALGOL 60, ALGOL 68, ADA, LISP и т.д.
- Непрерывно возрастающая сложность решаемых задач, приводила к значительным трудностям в «отладке» программ, реализующих их решение. На этом пути сформировалось понимание необходимости выделения классов типовых задач.
- Так в инструментарий исследователей вошли пакеты стандартных прикладных программ.
- Переход к пространственным задачам привел к необходимости решения проблем визуализации результатов вычислений. На этом пути был получен качественно новый подход к изучению механики, физики, биологии - стало возможным «просматривать» моделируемые процессы от появления микротрещин в металле, микро вихрей в жидкости и «конструирования молекул» с заданными свойствами, до моделирования глобальных атмосферных процессов и тектонических разломов в земной коре.



## Программные комплексы

The ANSYS logo, consisting of the word "ANSYS" in a bold, sans-serif font. The letters "AN" are white and "SYS" are yellow, all set against a black rectangular background.The ANSYS logo, consisting of the word "ANSYS" in a bold, sans-serif font. The letters "AN" are white and "SYS" are yellow, all set against a black rectangular background.The ANSYS logo, consisting of the word "ANSYS" in a bold, sans-serif font. The letters "AN" are white and "SYS" are yellow, all set against a black rectangular background.The ANSYS logo, consisting of the word "ANSYS" in a bold, sans-serif font. The letters "AN" are white and "SYS" are yellow, all set against a black rectangular background.The ANSYS logo, consisting of the word "ANSYS" in a bold, sans-serif font. The letters "AN" are white and "SYS" are yellow, all set against a black rectangular background.The ANSYS logo, consisting of the word "ANSYS" in a bold, sans-serif font. The letters "AN" are white and "SYS" are yellow, all set against a black rectangular background.The ANSYS logo, consisting of the word "ANSYS" in a bold, sans-serif font. The letters "AN" are white and "SYS" are yellow, all set against a black rectangular background.

- Важнейшей мировой тенденцией последних десятилетий является возрастающее внедрение в сферу инженерных расчетов и научных вычислений программных систем (комплексов), создаваемых на базе последних достижений в предметных областях естественных наук, вычислительной математики и компьютерных технологий.

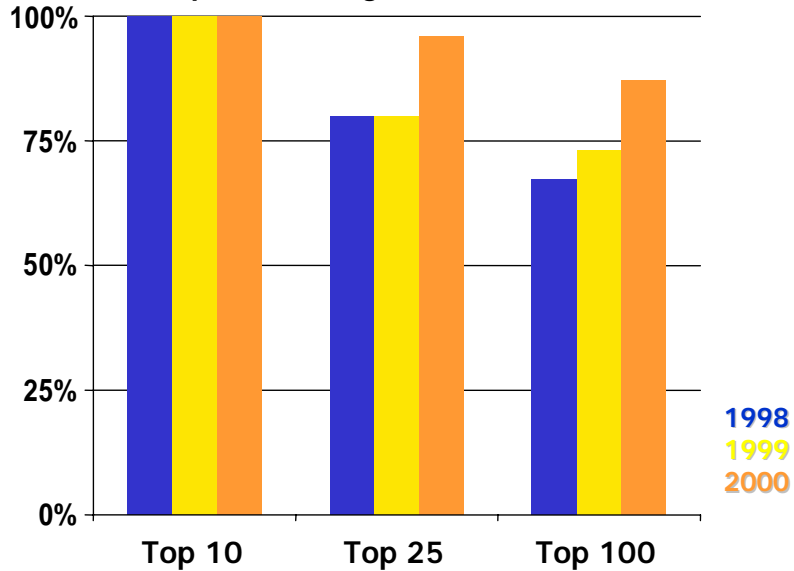
- Приведем характерный пример применения в США программного комплекса **ANSYS**, ориентированного на решение задач механики твердого и деформируемого тела и который уже почти 30 лет входит в число лидирующих программных комплексов, что наглядно иллюстрирует динамика его применения ведущими научными центрами и фирмами в 1998-2000 годах, приведенная ниже.



## Top Companies Use ANSYS

*Meeting the needs of a diverse marketplace*

*Percentage of Fortune 100 Industrial Companies using ANSYS Software*



- 84 of the top 100 companies
- 24 of the top 25 companies
- All of the Top 10

- Динамика применения 10, 25 и, наконец, 100 ведущими научными центрами и фирмами США в 1998-2000 годах.
- Начинаясь как система для внутреннего использования фирмы **Westinghouse Electric, ANSYS** проникла из своей «материнской» области, ядерной энергетики, во все области промышленности, завоевав доверие многих тысяч пользователей по всему миру.

- Такой успех достигнут на основании следующих важнейших качеств *ANSYS* :
- это по сути дела единственная КЭ система с широким охватом явлений различной физической природы: прочность, теплофизика, гидроаэродинамика и электромагнетизм, с возможностью решения связанных, так называемых мультифизических задач, объединяющих перечисленные выше области;
- широкая интеграция и двухсторонний обмен данными практически со всеми системами проектирования (CAD системы);
- открытость (то есть модифицируемость и дополняемость);
- сертифицированный согласно международным стандартам ISO 9000 и ISO 9001;
- уникальная по полноте и обширности содержания современная система поддержки на основе гипертекстового представления, доступ к которой осуществляется в интерактивном режиме online.



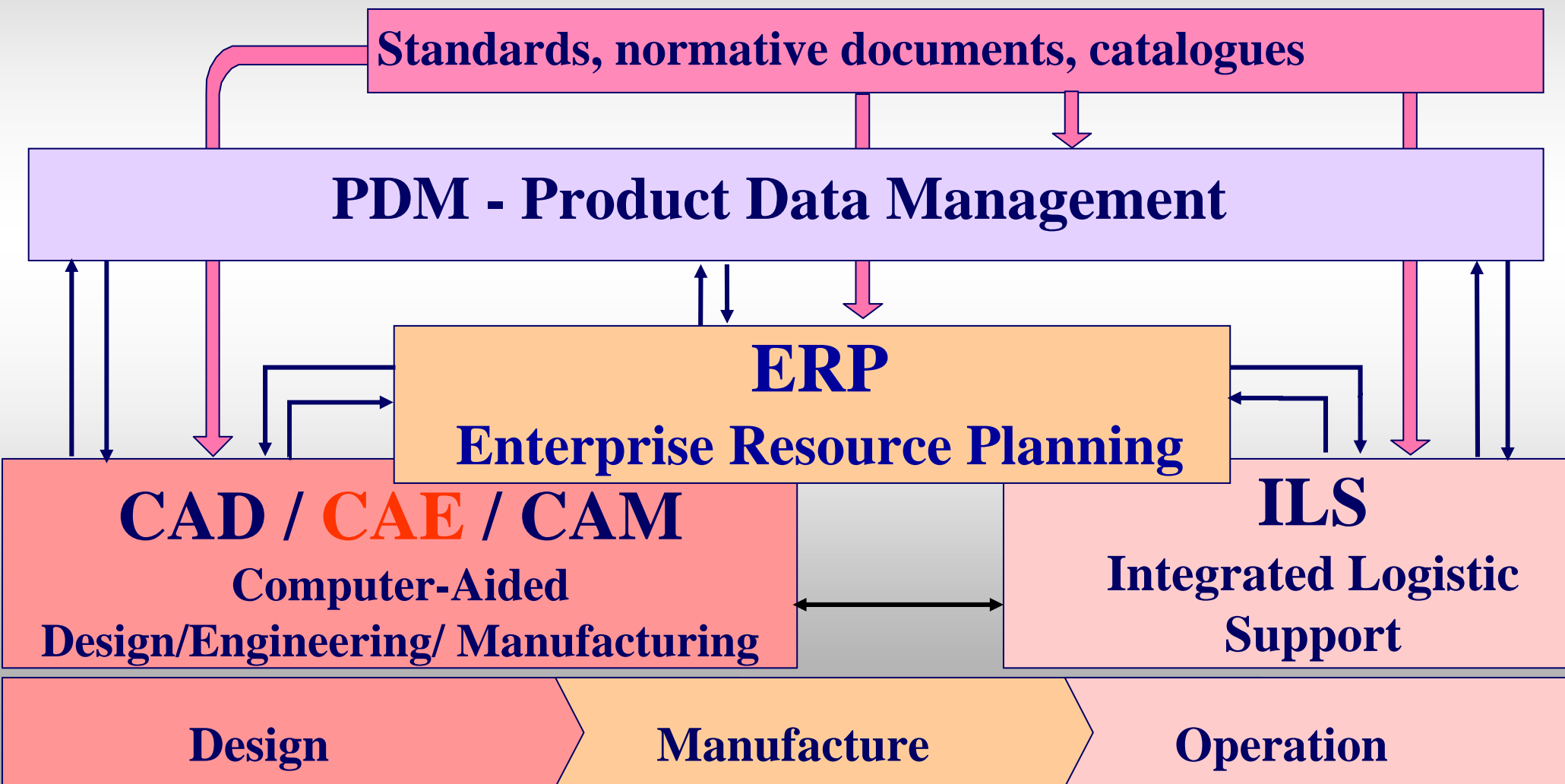
## О CALS-технологиях

- Параллельно с инженерными и научными расчетами компьютерные системы стали неотъемлемой частью организации и планирования производств, движения ресурсов в масштабах предприятий, отраслей и т.д.
- Это заставило пересмотреть всю идеологию применения ЭВМ. Была сформирована концепция CALS-технологий (Continuous Acquisition and Life cycle Support), означающая - непрерывную поддержку поставок и жизненного цикла изделий. Сегодня, более принято, говорить о *PLM* (Product Life Management).
- У нас часто говорят ИПИ – технологии (Информационная Поддержка Изделия). Приведем схему CALS-технологий .



# CALS Technologies

(Continuous Acquisition and Life cycle Support, nowadays often referred to as PLM Technologies, Product Lifecycle Management)



- В CALS-технологиях, выделим наукоемкую триаду - цепочку CAD/CAE/CAM – технологий, где традиционный, последовательный подход к разработке изделий заменен принципиально новым, интегрированным подходом, получившим название «параллельное проектирование».
- $CAD \Rightarrow CAE \Rightarrow CAM \Rightarrow \Sigma$  (PDM)
- В его основе лежит идея совмещенного во времени проектирования изделия (CAD-design), выполнения системы инженерных расчетов (CAE-engineering) и, наконец, подготовки производства (CAM-manufacturing). Это позволяет использовать проектные данные, начиная с самых ранних стадий проектирования и инженерного анализа, одновременно различными группами специалистов (PDM – блок).

# CAE -технологии – наукоемкое ядро CALS-технологий



LS-DYNA



Star-CD

- **ANSYS** - предоставляет одну из наиболее широко используемых и известных программных систем мирового уровня. Главное его предназначение решение задач механики твердого деформируемого тела. В этой области имеются и другие системы из которых упомянем **MSC/NASTRAN**.
- **CFX, Fluent, STAR-CD** Для решения трехмерных задач механики жидкости и газа наиболее востребованы комплексы - (стационарные и нестационарные течения, ламинарные и турбулентные течения со свободными поверхностями; многофазовые потоки, учет кавитации, химические реакции и др.).
- **ABAQUS, LS-DYNA, MSC/MARC**. Задачи о сильно нелинейных и быстропротекающих процессах в деформируемых средах со сложными реологическими свойствами и для решения пространственных динамических нелинейных задач контактного взаимодействия (например, краш - и дроп - тесты), задачи технологической механики и механики конструкций, содержащих жидкость предмет комплексов
- В этих системах заложены и при выходе очередных версий закладываются самые последние достижения механики, математики и вычислительных методов, а версии выходят один – два раза в год.



**CAE** - системы являются важнейшей составляющей процессов разработки новой техники ведущими

промышленными компаниями мира -

*BMW, Boeing, FIAT, Ford, Daimler -Chrysler, General Motors, General Electric, Lockheed, Siemens, Shell, Volkswagen-Audi* и другими.

Будучи наукоемким ядром PLM – технологий

они способствуют повышению

конкурентоспособности компаний и их

доминированию на мировых рынках

продукции гражданского и оборонного

назначения



**Shell**



# Иллюстративный материал

Проиллюстрируем эффективность применения ряда из комплексов на примерах конкретных задач.

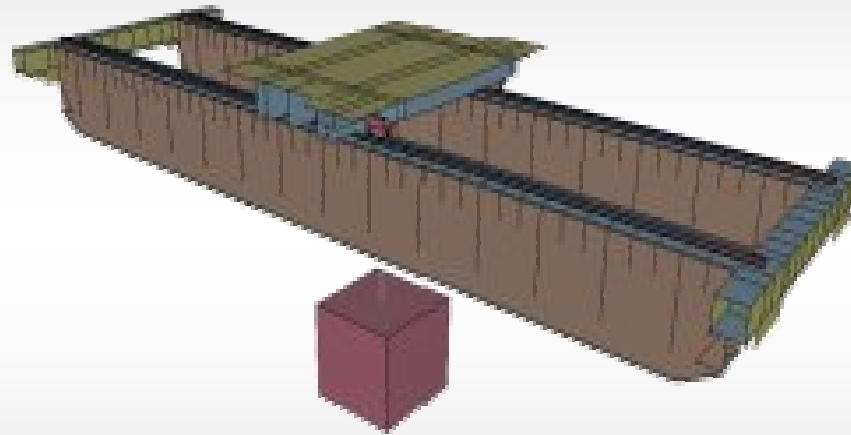
- **ANSYS** – решение задачи о механических свойствах сложной системы – специальный аккумулятор.
- **LS-DYNA** - решение задачи об устойчивости сложной конструкции в условиях динамических нагрузок (землетрясение).
- **Fluent** – расчет гидротурбин (совместные работы с ЛМЗ).
- **CFX** – устойчивость затвора судопропускного сооружения дамбы, защищающей Питер от наводнений.
- **Flow Vision** – падение груза в жидкости.





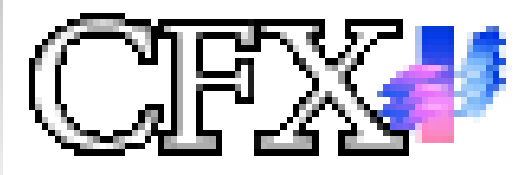
**LS-DYNA**

*Решение задачи об  
устойчивости  
сложной конструкции  
в условиях  
динамических  
нагрузок  
(землетрясение)*

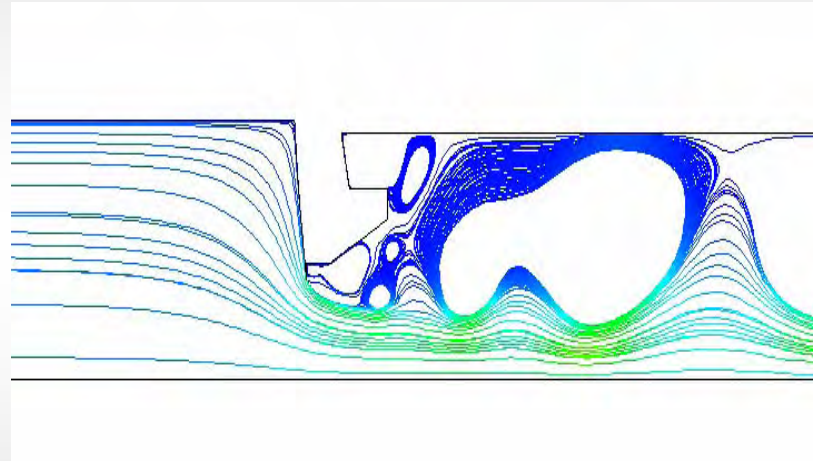




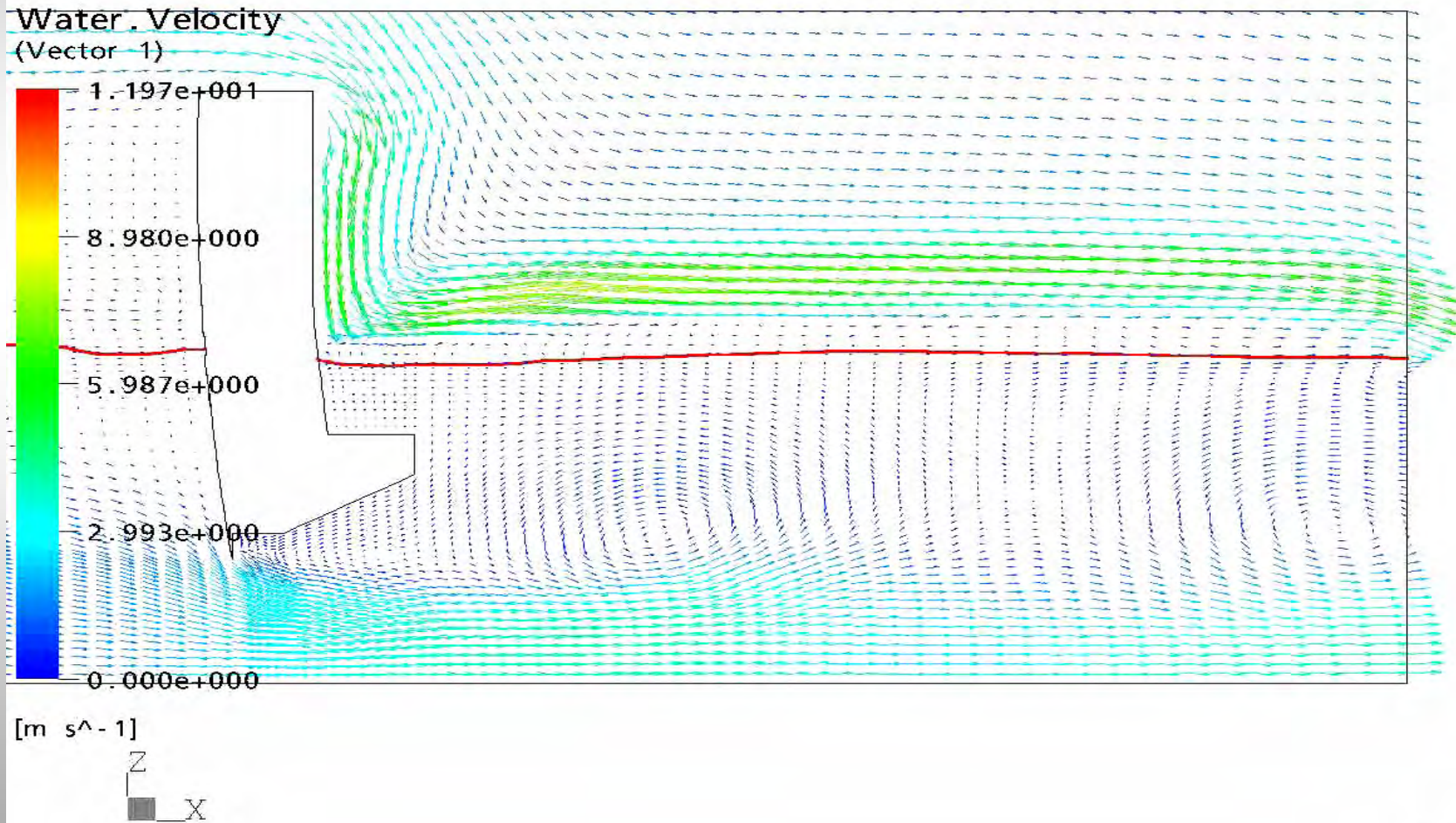
## Лаборатория «Прикладная математика и механика» Физико-механический ф-т



*Решение задачи о  
моделировании  
динамики поведения  
элементов  
судопропускного  
сооружения  
системы защиты  
Санкт-Петербурга  
от наводнений*

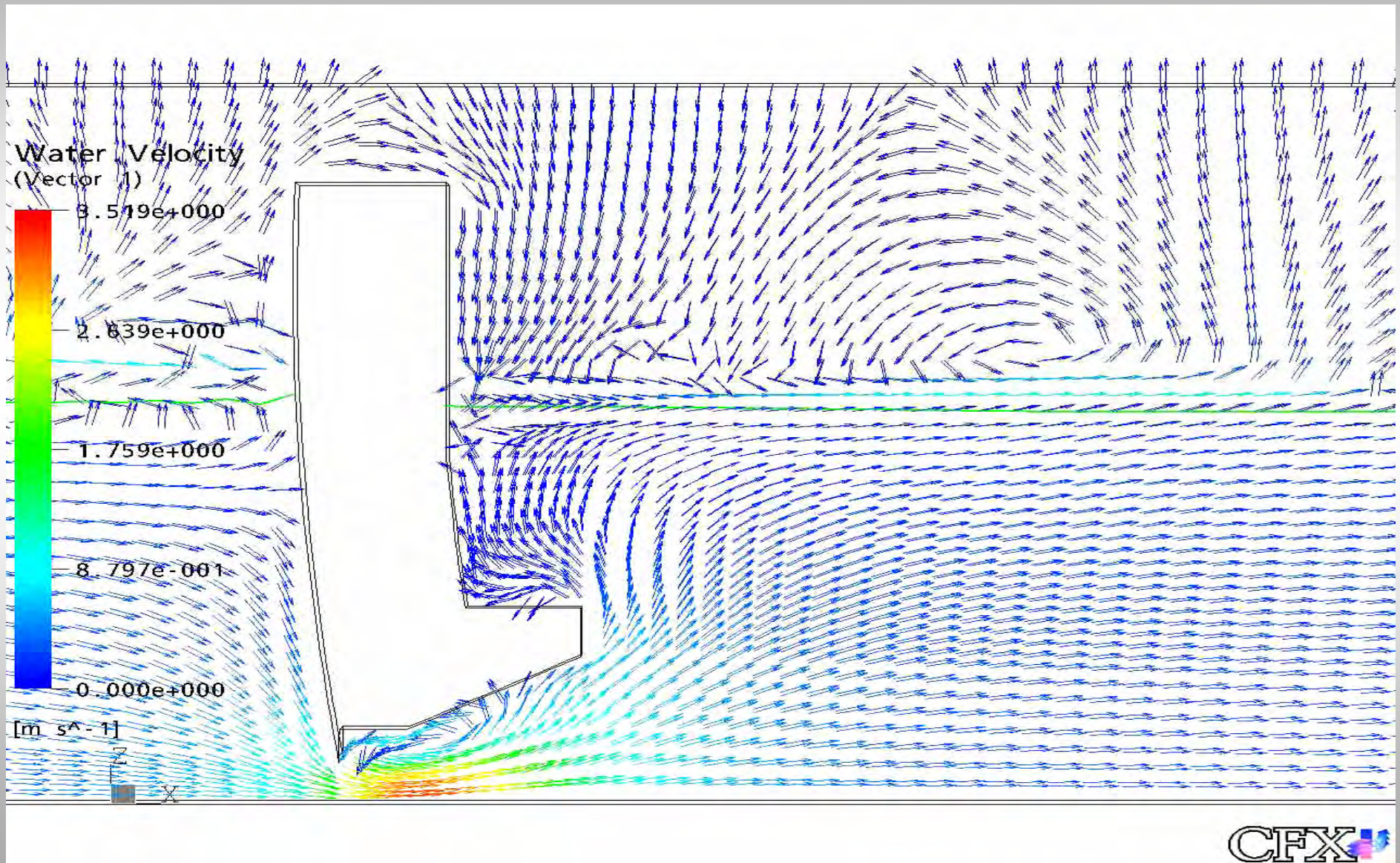


# Характерное поле скоростей



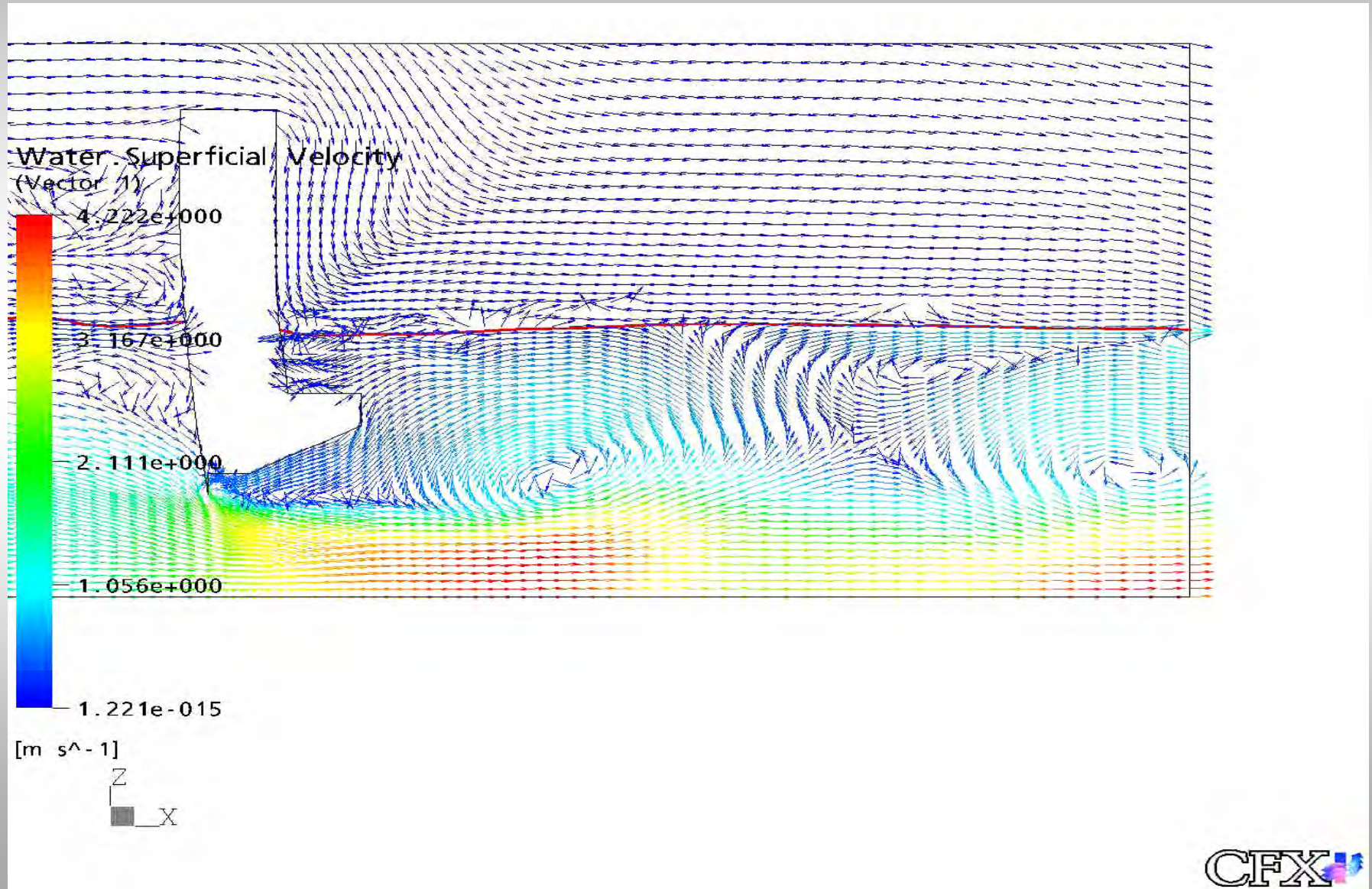


# Характерное поле скоростей

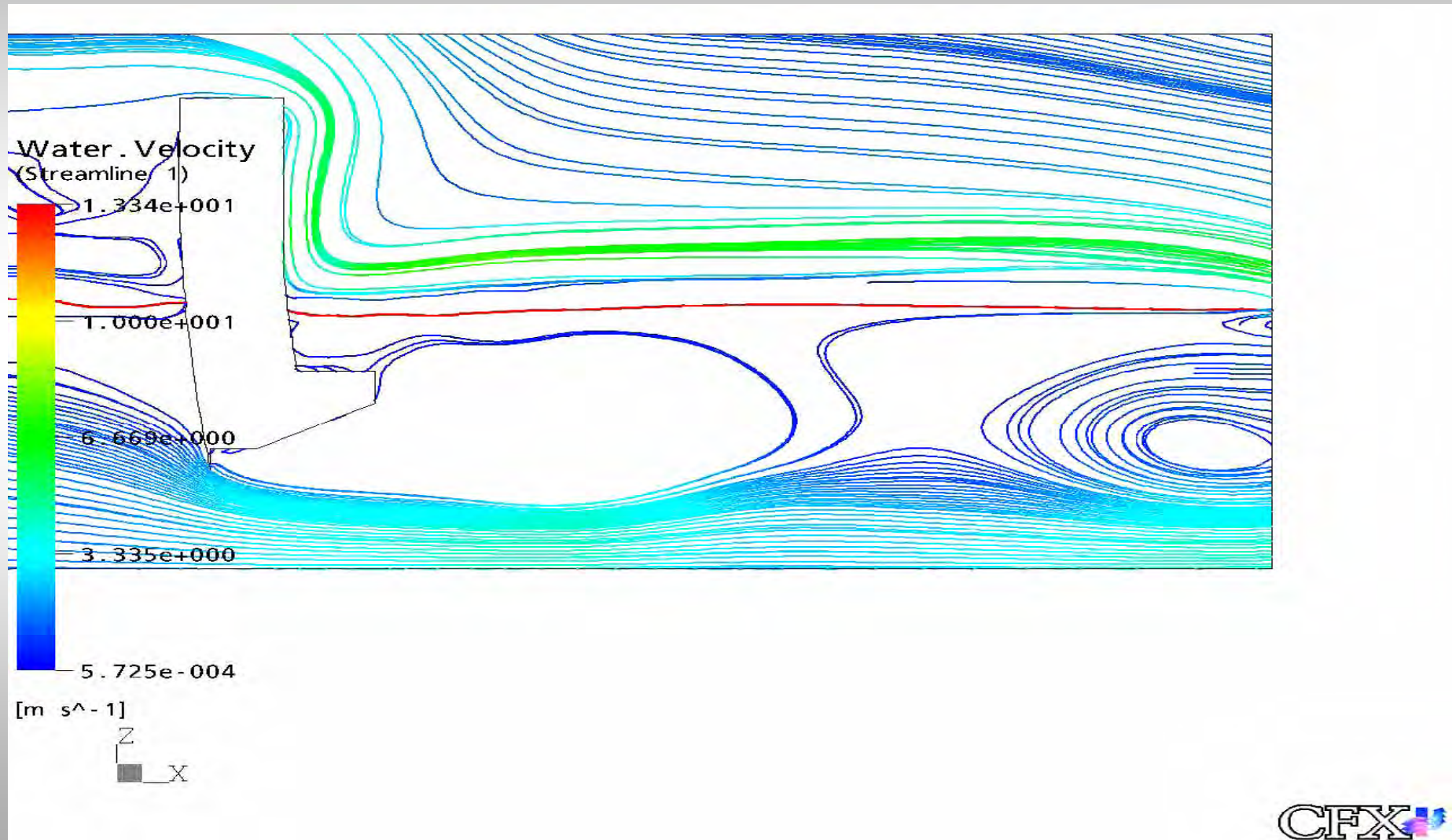




# Волнение на поверхности



# Характерные линии тока

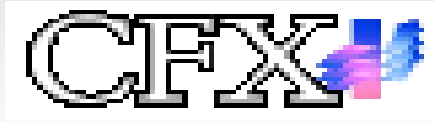




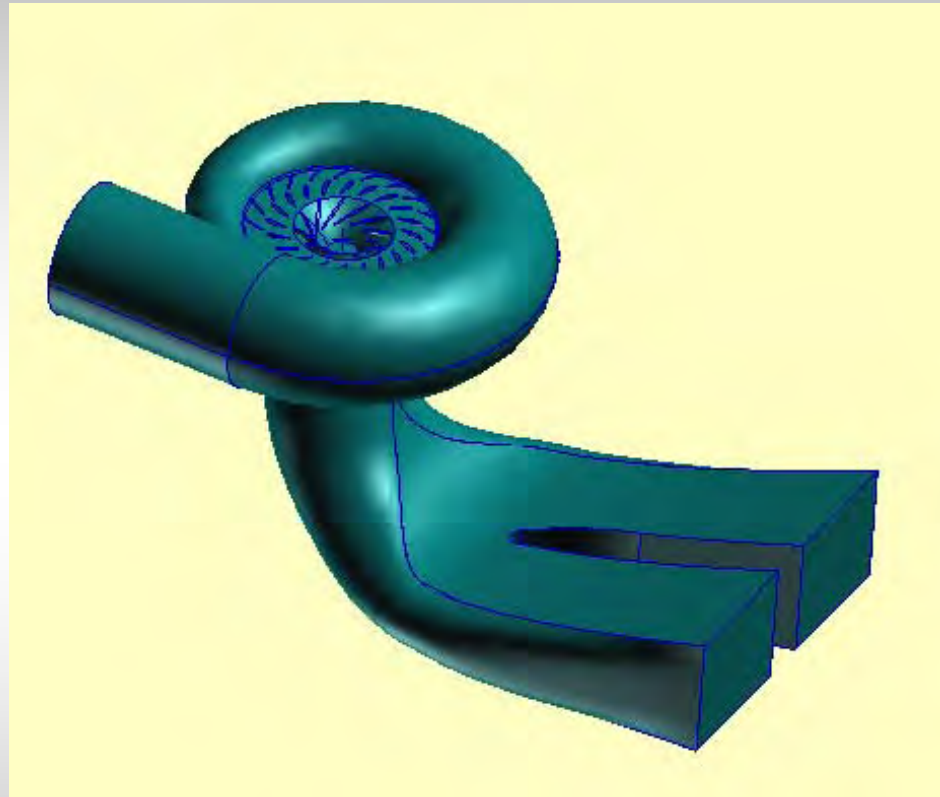


## Лаборатория «Прикладная математика и механика» Физико-механический ф-т

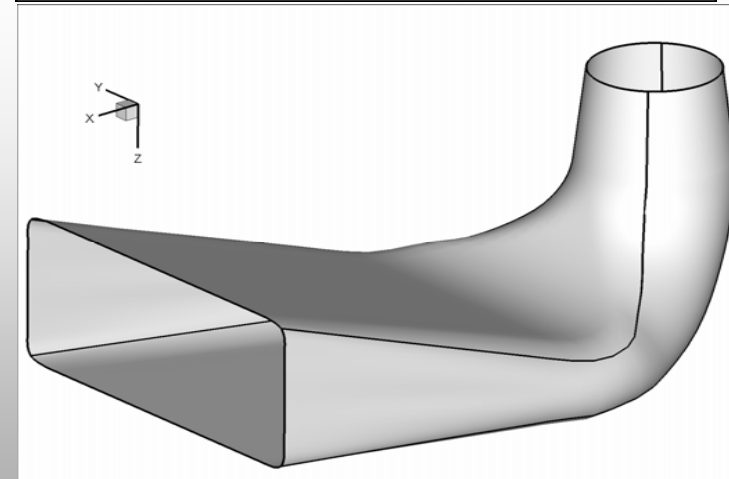
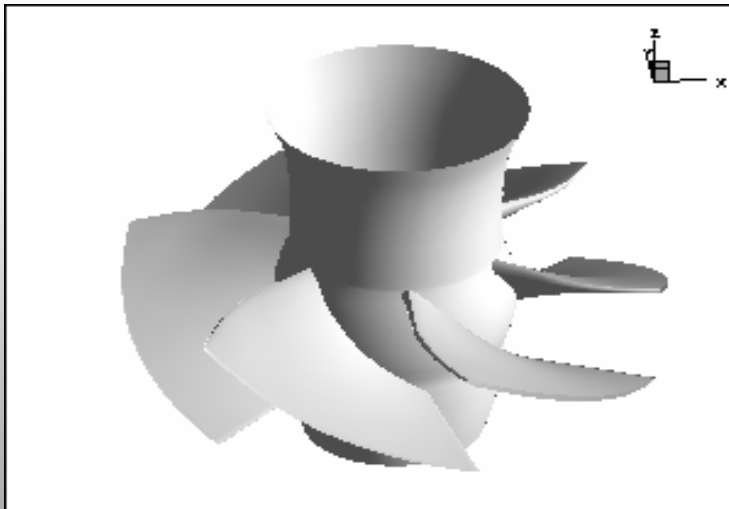
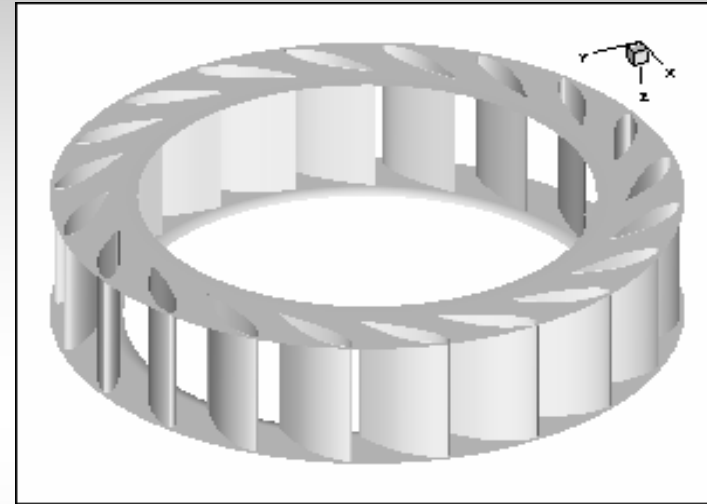
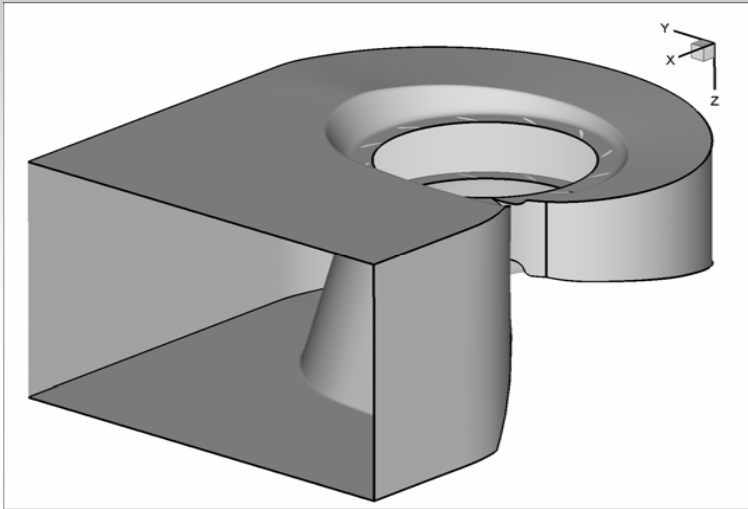
# Fluent



**Расчет гидротурбин (совместные работы с ЛМЗ). Характерный полномасштабный расчет турбины требует примерно 8-10 млн. элементов**



# Основные элементы поворотно-лопастной турбомшины



# Разбиение улитки 5 500 000 узлов

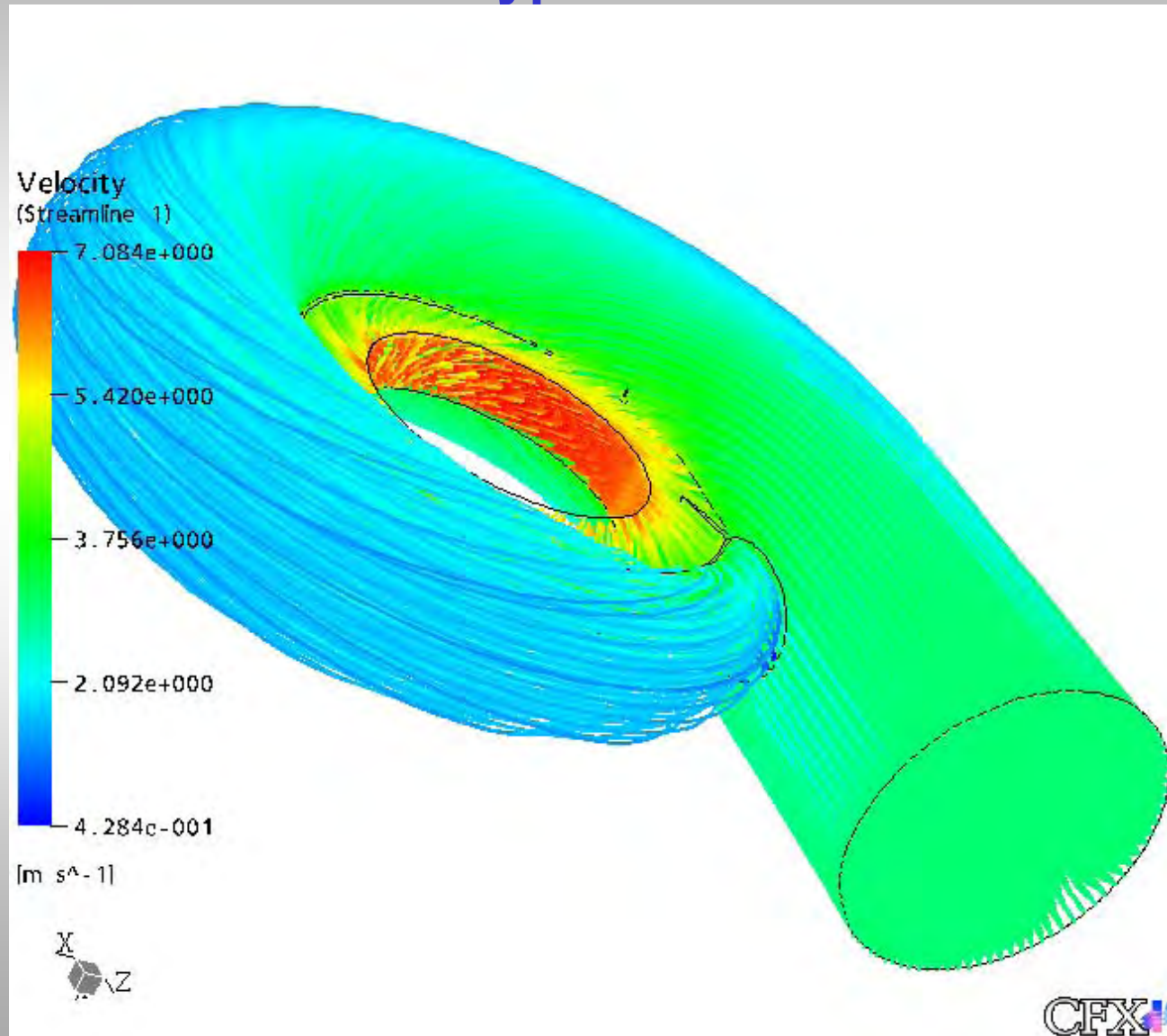


# Типичное разбиение на элементы отводящей трубы

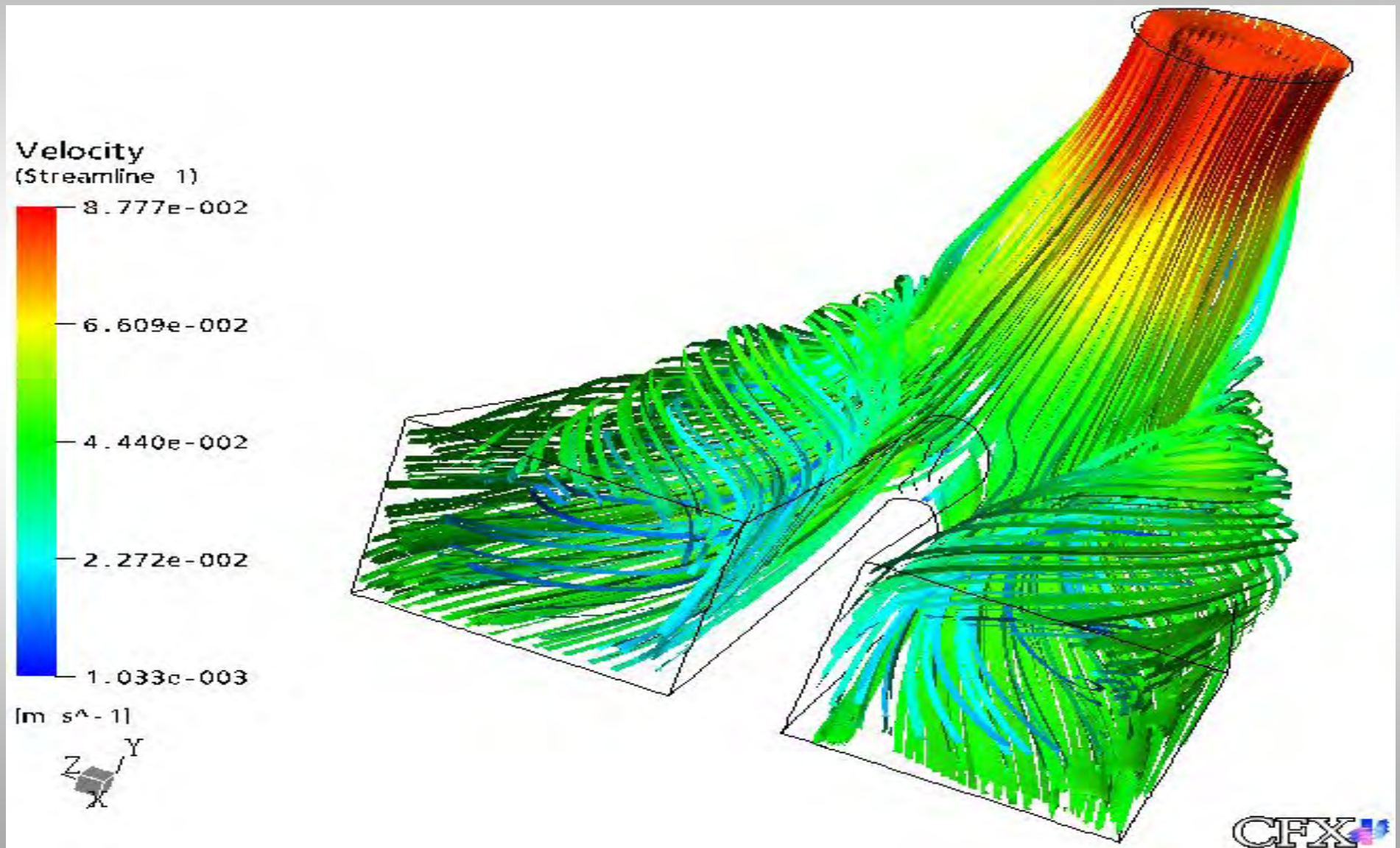




# Характерное распределение скоростей в «улитке» турбины



# Поле скоростей в отводящей трубе





## Суперкомпьютерный аспект

- Как соотносятся рассматриваемые здесь программные комплексы с суперкомпьютерными технологиями? Все наиболее востребованные версии программных систем имеют многопроцессорные версии «солверов», в рамках стандартной структуры комплекса:
  - *препроцессор – солвер – постпроцессор.*
- Суперкомпьютерные системы и программные комплексы для инженерного анализа и это важнейшая характерная черта современного высокотехнологичного производства.
- Пример - как вооружены суперкомпьютерами лидеры мирового «Автопрома»

# Суперкомпьютеры лидеров мирового «Автопрома»

Компания	Позиция в TOP 500	Пиковая производителе льность	Процессоры и их число	Сеть
<b><i>Daimler Chrysler</i></b>	<b>154, 249</b>	<b>3584GFlops</b>	<b>Opteron 2.0 GHz 896</b>	<b>Gigabit Ethernet Myrinet</b>
<b><i>Ford</i></b>	<b>185, 336, 490</b>	<b>2252 GFlops</b>	<b>Opteron 2.2 GHz, 512</b>	<b>Myrinet</b>
<b><i>General Motors</i></b>	<b>345</b>	<b>1792 GFlops 1792 GFlops</b>	<b>Xeon 2.8 GHz, 320</b>	<b>Myrinet</b>
<b><i>BMW AG</i></b>	<b>360, 370, 412</b>	<b>1792 GFlops</b>	<b>Hewlett- Packard SuperDome, 875 MHz, 512</b>	<b>Нет данных</b>

- Т.о.четыре крупных мировых автопромышленных компании используют вычислительные мощности с пиковой производительностью в 22,6 Тфлопс, тогда как все вычислительные системы СНГ из списка Top 50 имеют мощность всего лишь 18 Тфлопс.
- Вывод -. мы имеем сильное отставание Российской промышленности в использовании суперЭВМ от промышленно развитых стран.
- Отсюда, в частности, и отставание в сроках производства и в качестве продукции – лидеры мировой авто индустрии создают новую машину за 16-18 месяцев, тогда как лучшие наши заводы за 7,5 лет!
- Вместе с тем налицо положительные подвижки. В том же Top 50 имеются уже ряд промышленных предприятий. В частности, наш партнер ЛМЗ (холдинг «Силовые машины»), ввел в строй несколько кластерных систем, в частности, 26 – процессорный кластер в СКБ гидромашин.

## *О проблемах внедрения программных комплексов для инженерного анализа и естественных наук и суперкомпьютерных систем*

Проблемы реформирования нашей промышленности многоплановы, имеют много аспектов. Осмелимся указать на то, что в перестройке на современный уровень **технологического пространства России** компьютерные технологии являются ключевыми.

При этом их внедрение наталкивается на следующие трудности, отметим, что некоторые из этих проблем носят общий, «интернациональный» характер - с ними сталкиваются и в США и в Японии и в Западной Европе.

- **Стоимость** программных **CAE**-систем очень велика и не под силу многим из отечественных предприятий (не говоря о вузах и НИИ). Ориентировочная стоимость коммерческих лицензий указанных выше наиболее востребованных CAE-систем от 30000 до 150000 долларов США, в зависимости от комплектации, а для многопроцессорных систем стоимость программного обеспечения может достигать сотен тысяч долларов США.

- **Профессиональная работа**, с САЕ-системами мирового уровня требует от специалиста высокой научной и инженерной квалификации, которая лежит за пределами традиционного инженерного образования по той или иной специальности.
- **Освоение САЕ-систем** мирового уровня **большинством отечественных предприятий** затруднительно как по причинам научно-технических трудностей, так и загруженности ключевых специалистов. Однако наши предприятия вынуждены их осваивать, поскольку без их использования не выйти на мировой рынок, не создать в сжатые сроки конкурентно способной продукции.
- **САЕ-системы непрерывно обновляются**, их новые версии выходят с частотой раз в полгода - год и поэтому их «отслеживание» и ведение требует постоянного внимания, чего (опять – таки) не могут себе позволить ведущие специалисты наших предприятий.
- **Недостаточное кадровое обеспечение** специалистами нового поколения, знающими возможности современных технологий. При этом мы наблюдаем, **нарастающее отставание в освоении нового инструментария системой высшей школы**, поскольку процесс внедрения САЕ-систем идет стихийно, несмотря на попытки придать ему системность

## По каким направлениям далее двигаться?!

- **Создание системы ресурсных центров** - наиболее эффективная форма внедрения наукоемких компьютерных технологий в промышленность, науку и образование.
- Создание должно осуществляться на базе ведущих вузов РФ.
- **Россия как мировой лидер в наукоемком ИТ Outsourcing.** Опыт Индии и других стран в создании ИТ технопарков конечно нужно использовать.
- НО, учитывая то, что информационные технологии имеют много пластов от рутинного программирования до создания и применения САЕ-систем, мы обязаны занять свое место на мировом рынке НАУКОЕМКИХ компьютерных технологий. Нашей «нишей» д.б. услуги и создание САЕ-систем. В связи с этим необходимо запускать соответствующие механизмы господдержки.
- 
- **Необходимо развивать индустрию создания отечественного наукоемкого программного обеспечения,** основанного на фундаментальном знании, где Россия всегда была традиционно сильна. В частности, необходима поддержки таких российских фирм как «ТЭСИС» - разработчика пакета *Flow Vision* для аэрогидродинамики и других.