

**Расширение
границ
гидродинамического
моделирования**

РФ Динамикс

Василий Шелков

**Московская секция
SPE, 10 Марта 2009**

**Expanding the
limits of
hydrodynamic
simulations**

RF Dynamics

Vasilii Shelkov

**SPE Moscow section,
10 March 2009**

Введение/Introduction

Расширение границ/Expanding the limits

1. За все историю активного применения гидродинамического моделирования сложился определенный уклад работы с данными, которые не претерпел особых изменений за последние 25 лет!/Throughout the 25-year long history of hydrodynamic simulations the way of doing things didn't change much!
2. Как и в 80 годах прошлого столетия инженеры редактируют текстовые файлы в препроцессоре, запускают на ночь расчет и загружают большие файлы в постпроцессор, As in 80s, engineers edit ASCII files, submit nightly jobs and load large files in postprocessor.
3. Наиболее смелыми инновациями стали поверхностная статическая интеграция приложений в «Офисы» (обмен информации по-прежнему через файлы!!) и недавнее появление элементов автоадаптации/The bravest innovations so far included superficial static integration into the «Office application»(still all the info is transferred through the files exchange) and auto adaptation.

Расширение границ/Expanding the limits

Несмотря на астрономическую цену ПО, производители так и не сумели создать ни одного по настоящему интегрированного решения, отвечающего возможностям современной вычислительной техники и стандартам современного программного обеспечения:

Despite the astronomical prices the industry failed to deliver a single truly integrated solution corresponding to the current capabilities of hardware and modern user software standards,

Непростая задача! /
It's not that easy!

Недостаточно конкуренции
на рынке ПО
(«А куда они денутся?») /
Not enough competition
("Will buy anyway!")

Архитектура имеющегося ПО не
позволяет эволюционное развитие и
всегда требует «переписывание
сначала» (FORTRAN) /
Software architecture cannot grow
evolutionary and require constant re-writes
from scratch (FORTRAN)

Огромный неиспользованный потенциал за стенами «индустриальных стандартов»!
There is great untapped potential outside the walls of «industry standard»!

Содержание

1. Новые технологии для повышения эффективности гидродинамического моделирования (~20 мин)
2. Описание демонстрации (~15 мин)
3. **«Живая» демонстрация (~15 мин)**
4. Выводы

Content

1. New technology for boosting efficiency of hydrodynamic simulations (~20 min)
2. Description of demo (~15 min)
3. **Live demonstration (~15 min)**
4. Conclusions

Расширение границ/Expanding the limits

1

Максимально эффективное использование современной **вычислительной техники**/ Getting maximum efficiency from **modern hardware**

Оптимизация процесса моделирования/
Optimization of the modeling process

Оперативный 3D анализ результатов в процессе расчета/
Runtime 3D data analysis

Экстремальная пользовательская интерактивность во время расчета/
Extreme user's interactivity at runtime

2

Среда коллективной работы с большими моделями /
Distributed collective work with large models

Среда работы с многовариантными расчетами /
Tools for multiple model versions

3

Проект версий модели.
Связь с БД/
Model versions project.
DB connector

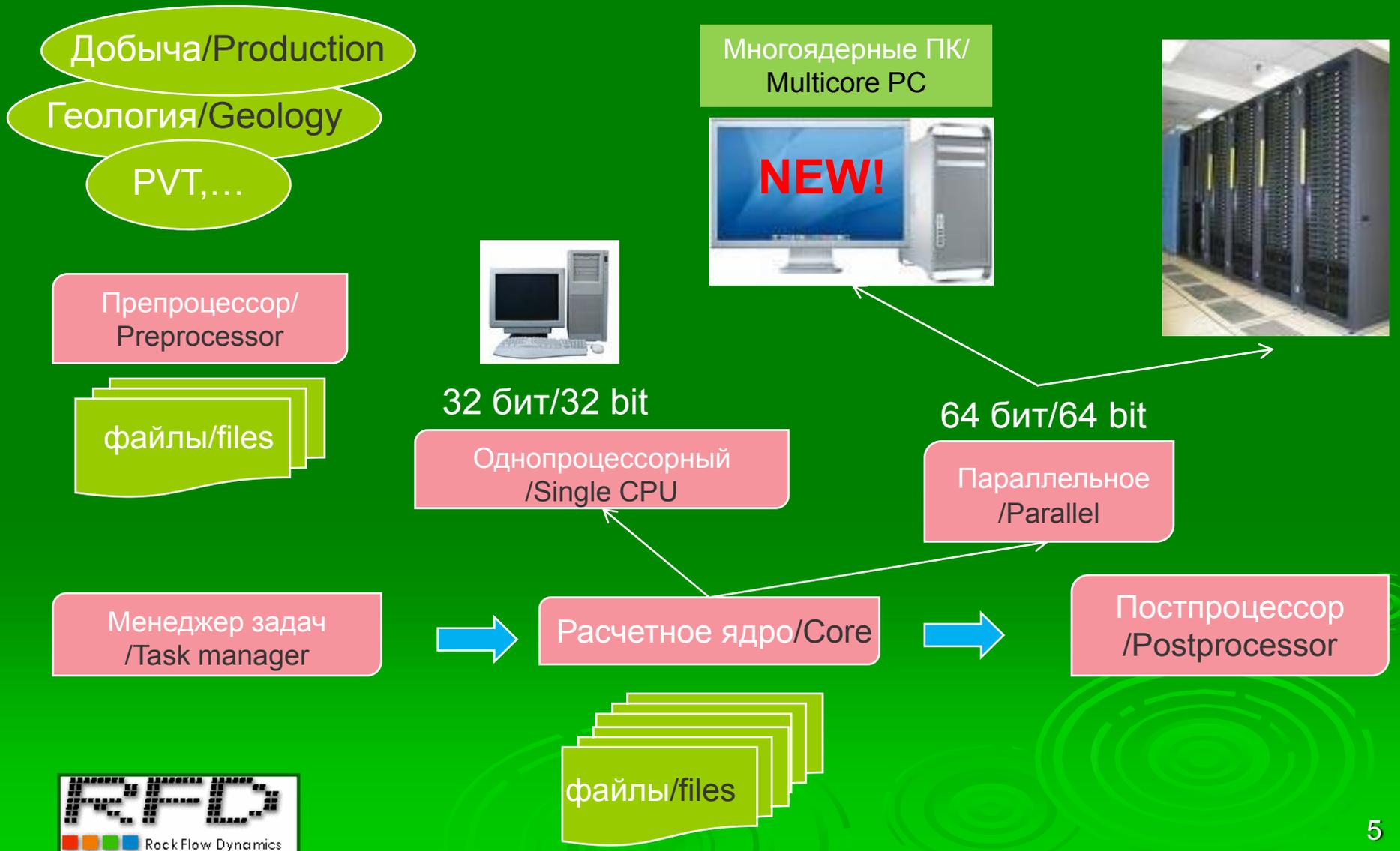
Менеджер запуска задач /
Job scheduler



1

Максимально эффективное
использование современной
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ/
Getting maximum efficiency
from **modern hardware**

Организация расчетов/Modeling setup

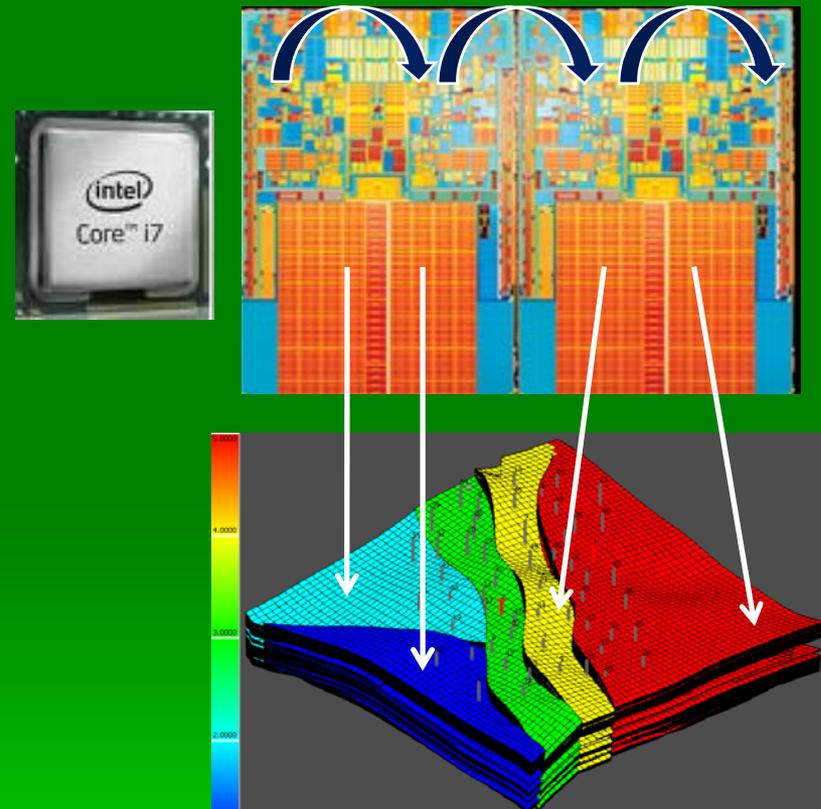


Многоядерные и кластер/Multicore vs cluster

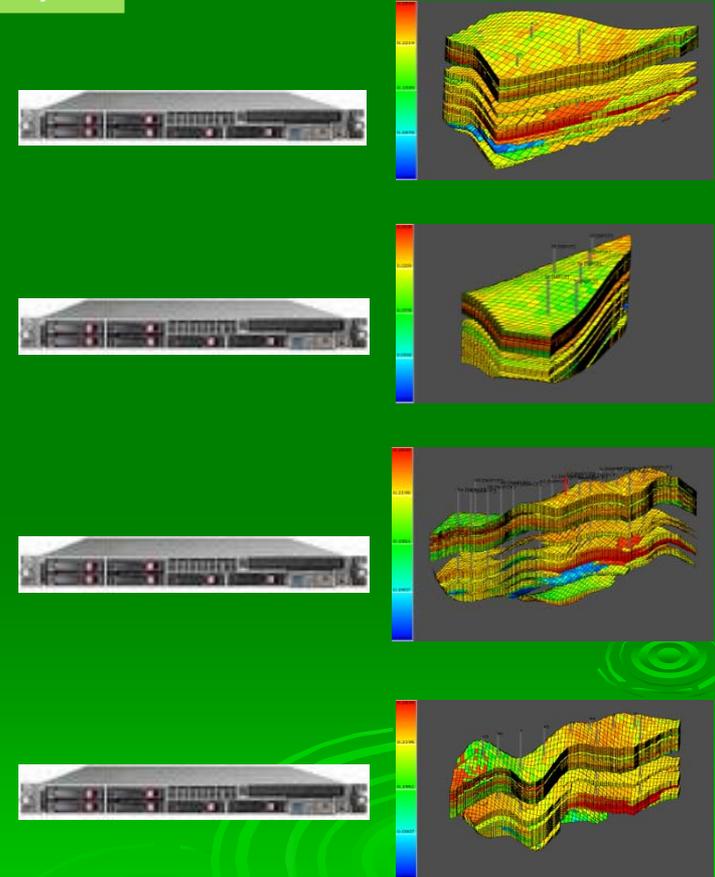
Общая память/Shared memory

Распределенная память/Distributed

Контроллер памяти/Memory controller (Потоки/Threads)

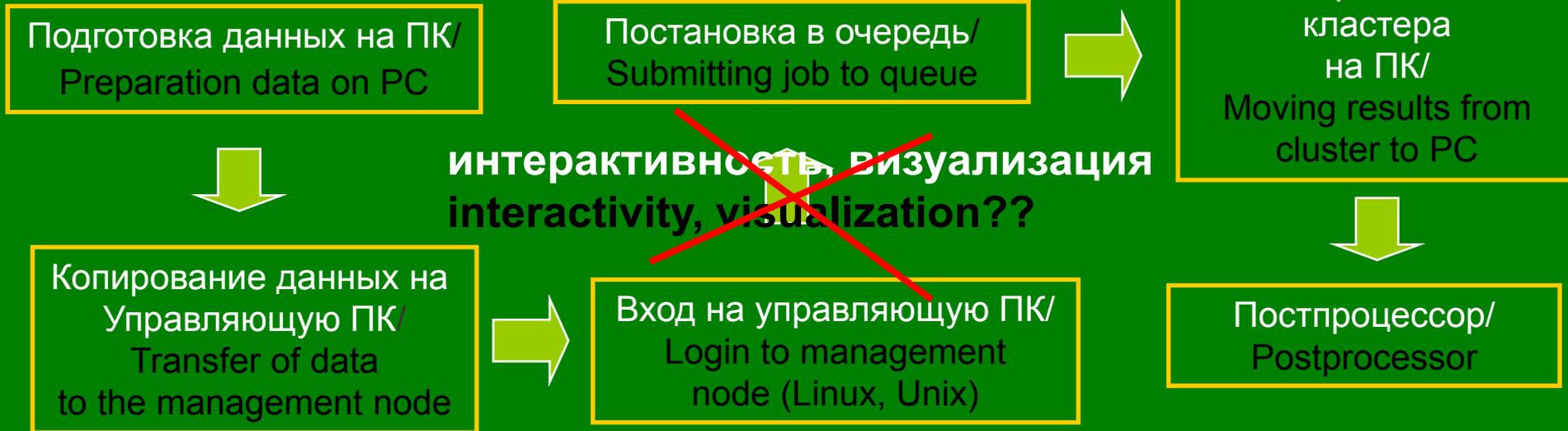


Сеть/Network(MPI)

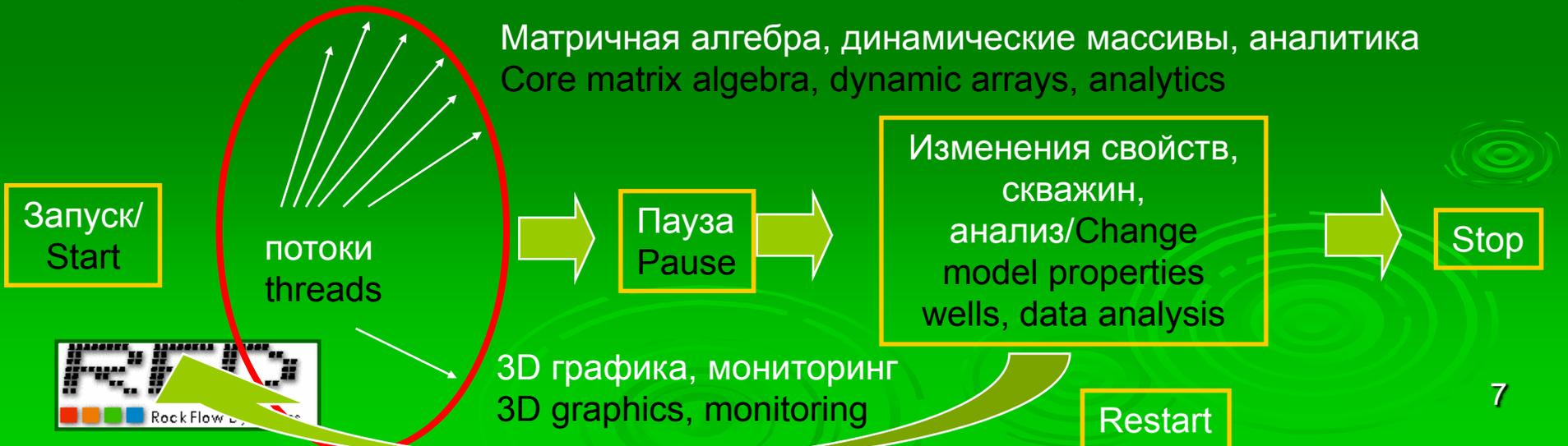


Многоядерные и кластер/Multicore vs cluster

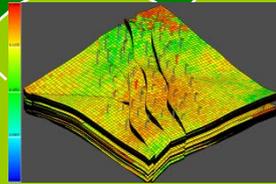
➤ Кластер/Cluster



➤ ПК с общей памятью/Shared memory PC



Преимущества общей памяти/Shared memory benefits



Начальные данные/
Initial data

Рассчитанные данные/
Simulation data

Ядро/Core

Якобиан/
Jacobian

Интерактивные данные/
Interactive data

Использование механизмов «потоков»
для максимально эффективного
распараллеливания /Using native
“threads” for maximum parallel
performance

Отсутствие ненужных
накладных расходов
/No unnecessary overheads

Хранение в файлах только «главных
переменных», вычисление остальных «на
лету»/Only the main variables are stored in
files, the rest is calculated “on the fly”:

Нет копирования
данных/No data copying

Нет дублирования данных/
No data duplication



Кубы динамических
свойств/Dynamic variables

3D трейсеры/3D tracers

MPI для общей памяти?/MPI for shared memory?

Для многоядерных ПК все производители, кроме CMG, используют специальное ПО для кластерной эмуляции / For multicore PCs, all the vendors except CMG use «cluster emulation» software.

Значительные
накладных расходы
/Significant overheads

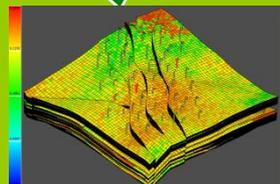
Цена как у кластерной версии
Цена = $F(N \text{ ядер}) /$
As expensive to buy as cluster version
Price = $F(N \text{ cores})$

«Пожиратель памяти»:
 $M = \text{«Размер модели»} \times N \text{ ядер} /$
«Memory monster»:
 $M = \text{«Model size»} \times N \text{ cores}$

Так же сложен в установке и работе как кластер/
As complicated to install and use as for cluster

Потеря производительности (до 50%)
Performance loss (up to 50%)

Преимущества общей памяти/Shared memory benefits



Начальные данные/
Initial data

Рассчитанные данные/
Simulation data

Ядро/Core

Якобиан/
Jacobian

Интерактивные данные/
Interactive data

Гибкое автоматическое распараллеливание на уровне матрицы Якобиана, а не регионов сетки модели(авто) /Flexible automatic Jacobian matrix based(not grid domains) parallelization algorithm

Параллельный алгоритм всегда применим!
/Parallel algorithm is always applied!

Измельчение сетки/
LGR

Интерактивность/
Interactivity – **New!**

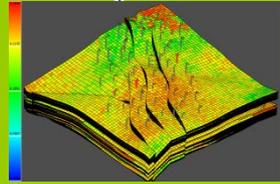
Разломы/faults

Несоседние соединения/
NNC

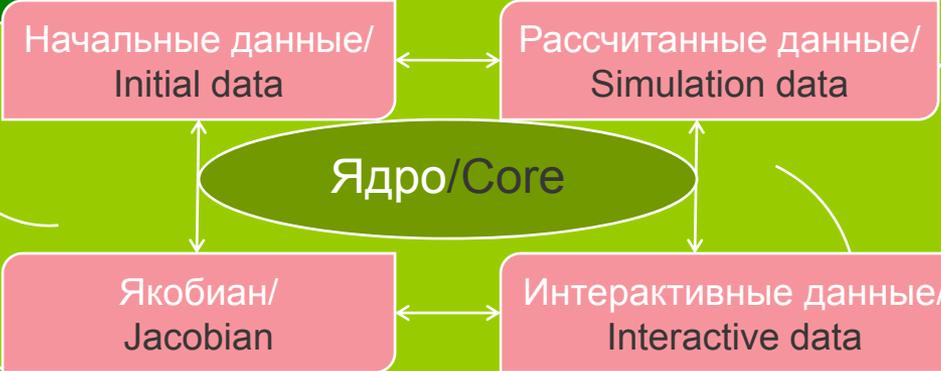
Длинные скважины/
Long wells



Преимущества общей памяти/Shared memory benefits



Надежная синхронизация + 3D графика
=> интерактивность во время || расчета
/Safe synchronization+ 3D graphics
=> run-time interactivity



Новая аналитика/New analytics



Проектирование новых скважин/new wells design

Оптимизация расстановки/wells placement optimization

“Умная” автоадаптация/ “smart” auto history matching

Многоядерные ПК/Multicore PC

Однопроцессорные/1P

Двухпроцессорные/2P

Четырехпроцессорные/4P

4 ядра/cores (6 AMD, 8 Intel)

8 ядра/cores (12 AMD, 16 Intel)

16 ядер/cores (24 AMD, 32 Intel)



\$2,000 – \$4,000

>\$4,000

>\$10,000

12 GB (6 x 2GB)

24 GB (12 x 2GB)

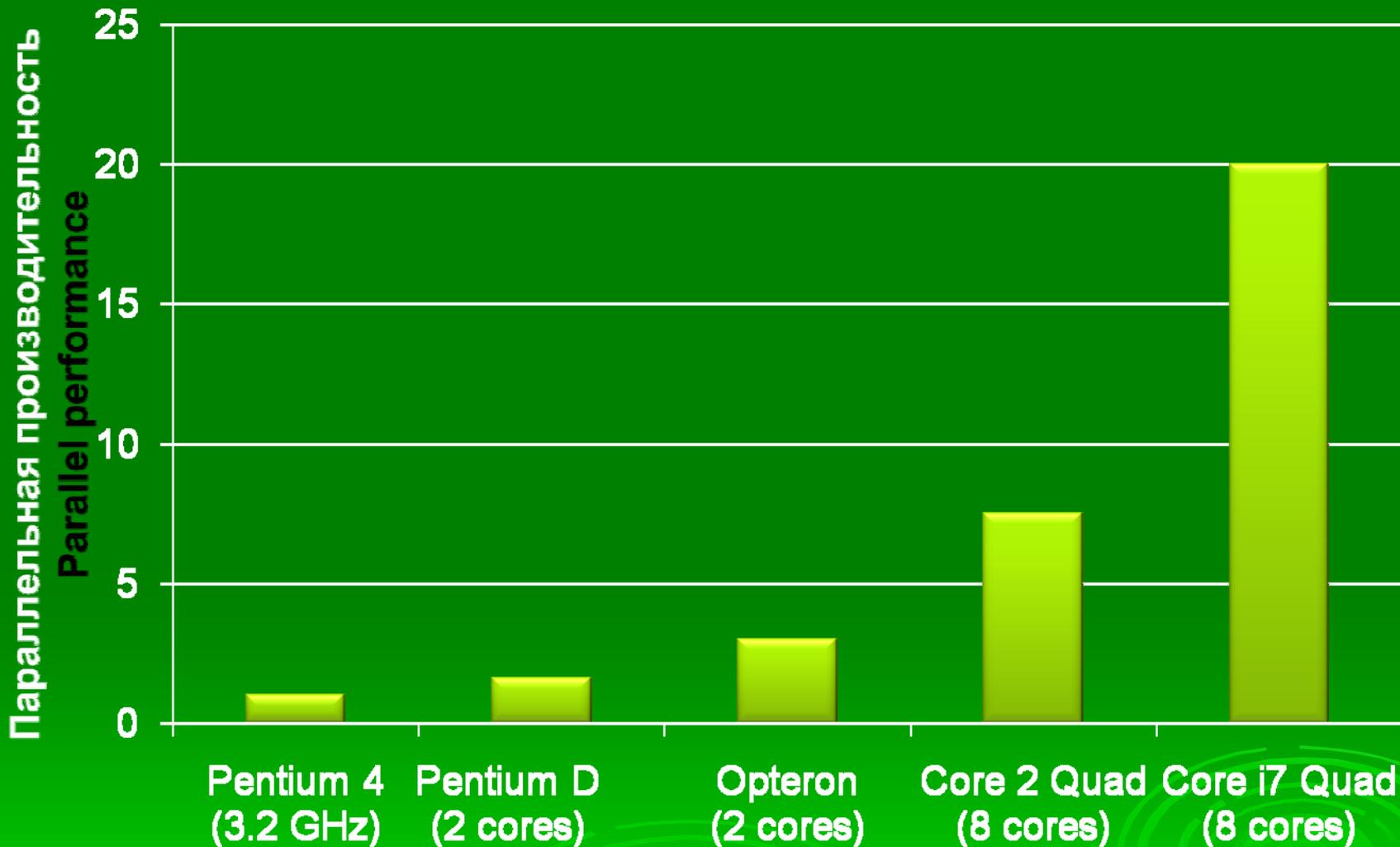
>48 GB (24x2GB)

|| ускорение/speedup ~ **3.0**
Core i7(Intel)

|| ускорение/speedup ~ **6.0**
Core i7(Intel)

|| ускорение/speedup ~ **10.0(?)**

Эволюция параллельной производительности ПК Evolution of PC parallel performance



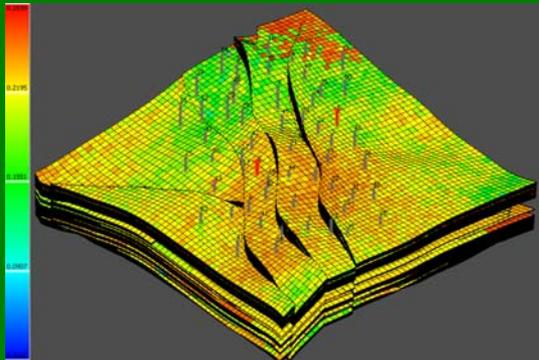
2

Среда коллективной работы
с большими моделями/
Distributed collective work with
large models

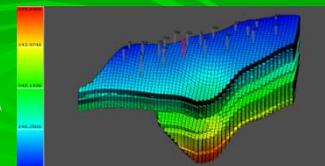
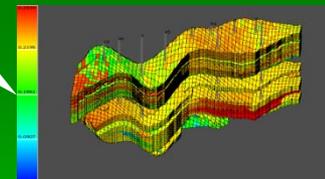
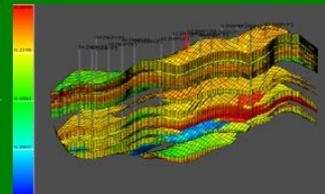
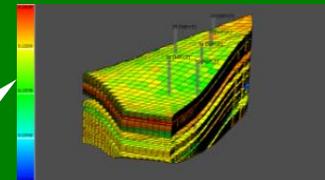
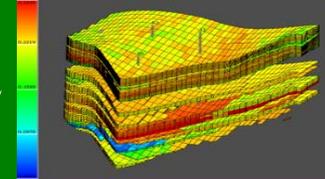
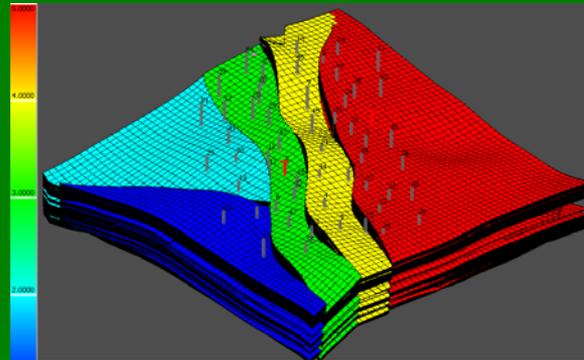
Среда коллективной работы с большими моделями / Distributed collective work with large models

Автоматическое «разрезание» модели на самостоятельные ячейки/
Automatic splitting and merge of full fields into sector models

Исходная модель/
Original model



Карта ячеек(создается пользователем)
User defined map of sectors



Главный(диспетчерский) файл
«разрезанной» модели /
Top file(dispatcher) of “split” model

model.patterns

Граничные условия /
Boundary conditions

Самостоятельные модели ячеек /
Independent sector models

model_pattern1.data
model_pattern2.data
model_pattern3.data
model_pattern4.data
model_pattern5.data

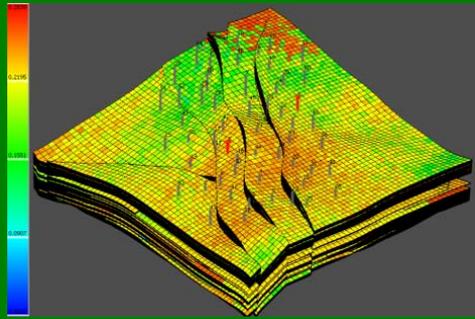
model_pattern1.flux
model_pattern2.flux
model_pattern3.flux
model_pattern4.flux
model_pattern5.flux



Среда коллективной работы с большими моделями / Distributed collective work with large models

Автоматическая «сборка» модели из ячеек /
Auto-merge of sector models back to the full-field

model.patterns



Все обновления в секторах
автоматически добавляются
в составную «виртуальную» модель /
All the updates in sector models are
propagated automatically to the combined
“virtual” model



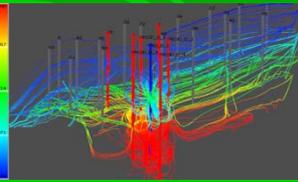
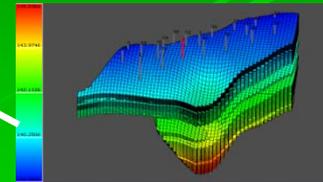
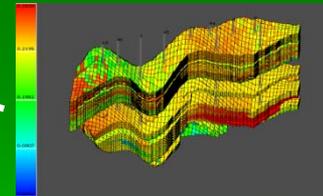
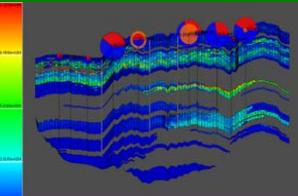
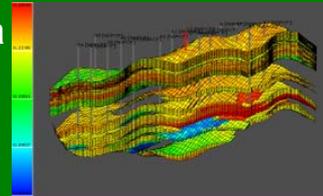
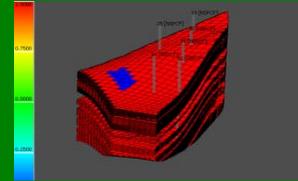
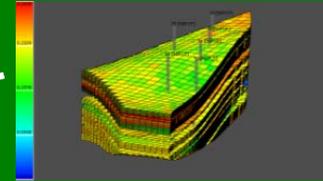
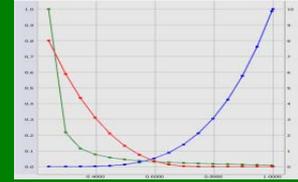
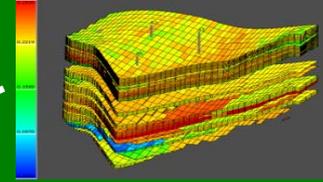
отн. фазовые проницаемости
relative permeabilities

изменение свойств в регионе
model properties modifications

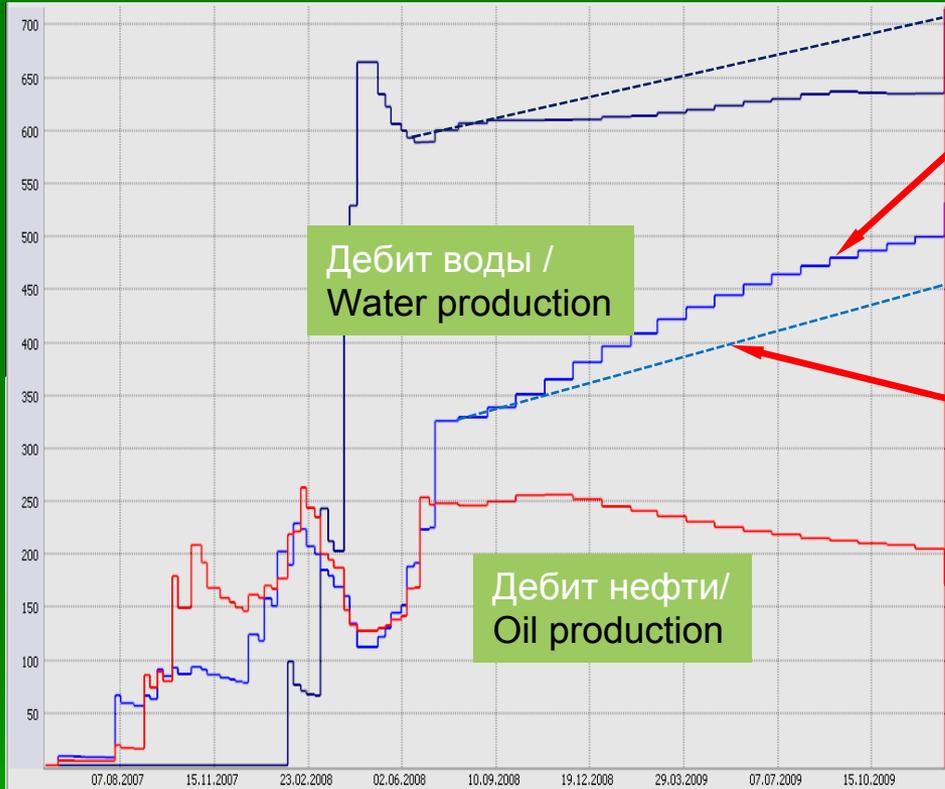
новая горизонтальная скважина
new horizontal well

новые PVT свойства
new PVT values

новая «5-ти точка»
new 5-spot



Среда коллективной работы с большими моделями / Distributed collective work with large models



С граничными условиями/
With boundary conditions

Без граничных условий (непротекание)/
No boundary conditions (no flux on borders)

3

Проект версий модели.
Связь с БД/
Model versions project.
DB connector

Проект версий модели. Связь с БД/Model versions project. DB connector

Исходная модель/Original model

DemoSpe.data
DemoSpe_grid.inc
DemoSpe_pvt.inc
DemoSpe_rp.inc
DemoSpe_regs.inc
DemoSpe_init.inc
DemoSpe_sch.inc



Транслируется в отдельные файлы ключевых слов /
Model is translated into separate specific keywords files

Основной файл становится файлом дерева
версий в формате XML / Top file is saved as *.XML
version tree file

Изменяем свойства модели в препроцессоре /
Use preprocessor to modify model interactively

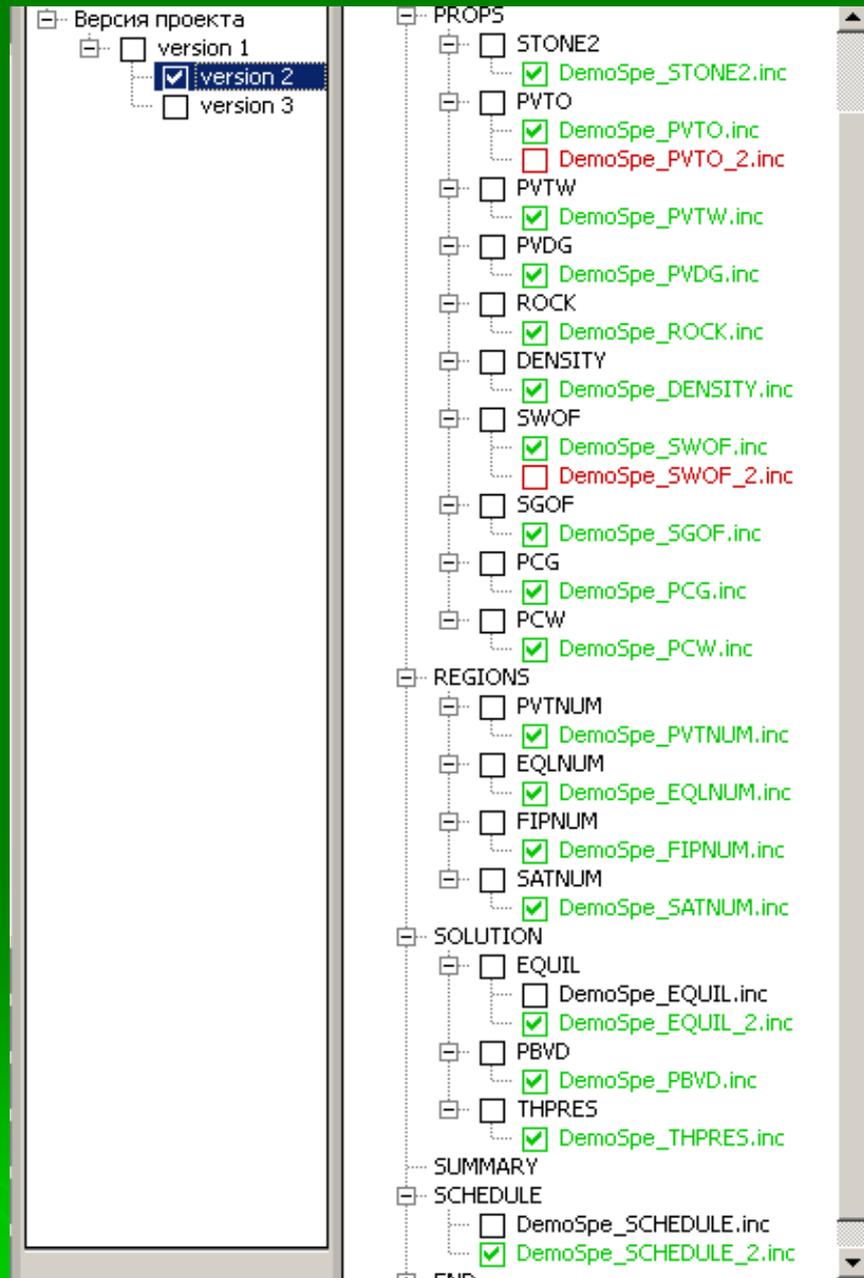


Все изменения в модели фиксируются и могут быть
автоматически спасены как новые версии файлов
ключевых слов / All the changes are detected and can
be automatically saved as new versions of keywords files.

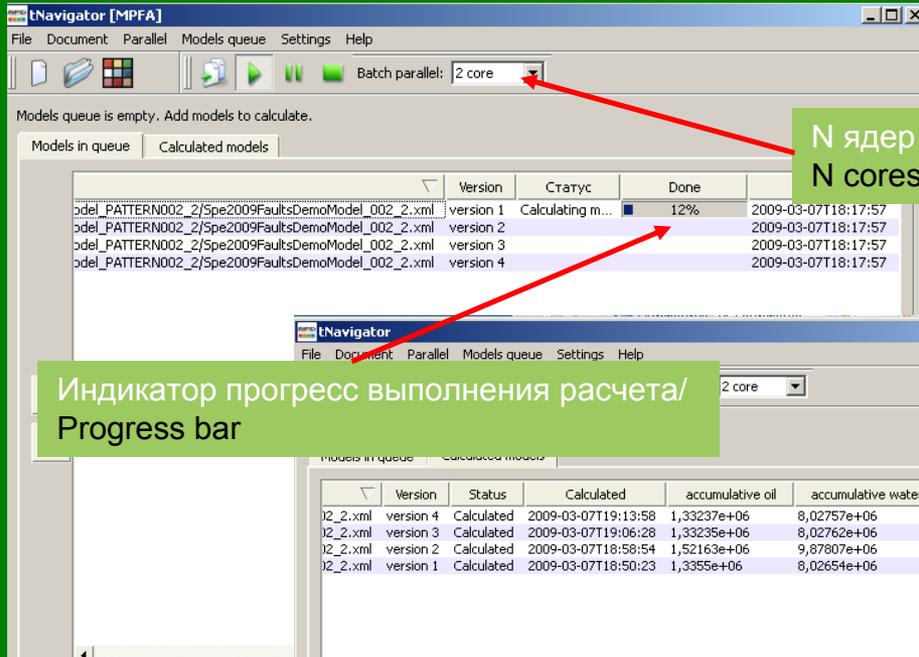


XML версии, файлы ключевых слов

полностью формализованы и готовы к БД/Generated structures are formal and **DB ready**



Проект версий модели. Связь с БД/Model versions project. DB connector



Запуск версий на || расчет/Versions to batch

N ядер для фонового расчета/
N cores for background jobs

Рассчитанные модели, результаты/
Finished jobs, results

Индикатор прогресс выполнения расчета/
Progress bar

Совместный просмотр результатов/
Simultaneous results viewing



Описание демо/Demo description

Эффективность через интеграцию!

Демонстрация элементов построения новой интегрированной среды гидродинамического моделирования.

Efficiency through integration!

Elements of new integrated environment for hydrodynamic simulations.



Описание демо/Demo description

1. Загрузка модели, сохранение модели как проект версий модели (*.XML)/
Loading model, saving model as model versions project (*.XML)
2. Загрузка *.XML проекта модели, меняем **интерактивно**:
Load model as *.XML model versions project file, modify **interactively**:
 - ВНК/WOC
 - кривые относительной проницаемости/Relative permeability curves
 - таблицы ПВТ/PVT tables
 - добавляем 5-ю точку на шаге/ Add 5-spot at some future step
3. Автоматически сохраняем все изменения как набор новых версий файлов ключевых слов, создаем и сохраняем **4-е версии** расчета, запускаем их на параллельный расчет в фоновом режиме/
Perform automatic save of all the changes as a set of new versions of keyword files create and save **4 versions** of the base model, submit all the versions for parallel simulations to the background batch queue.

Описание демо/Demo description

4. Загрузка новой модели, **интерактивное выделение сектора сетки**, вырезание и сохранение сектора как отдельной самостоятельной модели,
Loading new model, **interactive selection, extraction, saving of the grid sector** as an independent self-sufficient model
5. Загрузка вырезанной секторной модели, запуск на параллельный расчет:
Loading of extracted sector model, start parallel simulations:
 - интерактивное прокладывание новой горизонтальной скважины,
- adding new horizontal well interactively
 - интерактивный рестарт, изменение параметров горизонтальной скважины,
- interactive re-start, changing controls of the new horizontal well.



Продолжение....
Continued...

Описание демо/Demo description

- интерактивное моделирование ГРП через полный тензор проницаемости:
- interactive modeling of hydraulic fracture using full permeability tensor:

Применяется новая схема адаптивной многоточечной аппроксимации, впервые компенсирующая эффекты самой геометрии сетки. В отличие от других схем она более стабильна, более полно компенсирует ориентационные эффекты и не вырождается в обычную 2-х точечную аппроксимацию на ортогональных сетках, что позволяет, например, моделировать протекание «наискосок» (27-точка, Самарский вырождаются и не дают возможности это сделать).

New adaptive multipoint approximation is used. Compared to known 27-point and Samarsky operators schemes this approach is more stable, better compensates for grid orientation biases and doesn't degenerate into usual 2-point approximation even for orthogonal grids. It allows, for example, modeling of “diagonal flux” between adjacent grid cells (27-point and Samarsky cannot do it).

Описание демо/Demo description

6. Интерактивное выделение зоны дренирования новой горизонтальной скважины по распределению трубка тока и оценка остаточных запасов/
Interactive estimation of remaining reserves in the drainage volume of the new well by using its streamlines distribution.
7. Загрузка и расчет проектного файла «разрезанной» модели, проверка что новая горизонтальная скважина автоматически добавлена из секторной модели/
Loading and running of “split model” project file. Test to see that new horizontal well got auto integrated into the full field model.
8. Интерактивный анализ матрицы дренирования и эффективности закачки/
Interactive analysis of the drainage matrix and injection efficiency
9. Сравнение результатов закончившихся многовариантных расчетов/
Comparing results of finished multi-variant background simulations.

Выводы/Conclusion

1. За время презентации я не разу не редактировал текстовые файлы :)
During presentation I never edited any ASCII files :)
2. За 20 минут был выполнен многочасовой (многодневный?) объем работ /
In 20 minutes we performed tasks that would take hours if not days
3. Мы видим огромный потенциал для повышения эффективности, удобства использования и расширения границ моделирования в соответствии с современными техническими и программными возможностями /
We see great potential for boosting modeling efficiency, users friendliness and expanding the limits of hydrodynamic simulations in accordance with modern hardware and software capabilities.
4. Новая эра мощных многоядерных ПК заставляет пересмотреть старые подходы /
New era of powerful multicore PC requires re-thinking of old practices.
5. Непараллельные приложения теряют всякий смысл (но продажи идут!) /
Non-parallel software becomes obsolete (but your salesman doesn't know about it!).