Тюменское отделение «СургутНИПИнефть»
НИО математического моделирования нефтегазовых месторождений

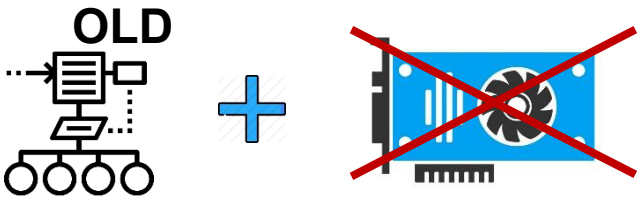
Ускорение процессов геолого-гидродинамического моделирования с использованием новых алгоритмов для решения систем уравнений

Доклад подготовил: А.А.Зенов

Научный руководитель: Н.А.Воробьёв

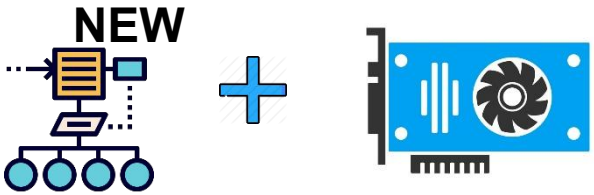
Актуальность, цели и задачи

Актуальность: Недостаточно оптимальные подходы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) и неполное использование доступных вычислительных ресурсов (графических карт)



Цель: Ускорение процессов численного моделирования геолого-гидродинамических моделей

Задача: Внедрение новых подходов решения СЛАУ и более эффективное применение современных многоядерных процессоров ЦПУ и ГПУ в корпоративном программном обеспечении (ПО) «Техсхема» и «Геосхема»



Проблемы и пути решения

ПРОБЛЕМЫ

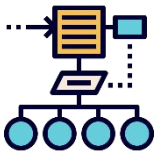
575 часов каждый день (2019г) тратится на процесс моделирования

Процесс моделирования:

ПУТИ РЕШЕНИЯ

решение СЛАУ

NEW

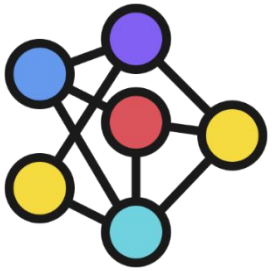


Система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ)

СЛАУ

в гидродинамическом моделировании

решения дифференциальных уравнений многофазной фильтрации вязкой сжимаемой жидкости в пористой среде



в геологическом моделировании

трёхмерное моделирование при использовании интерполяционного метода кригинг

двухмерное моделирование при использовании комбинированного метода интерполяции сплайнами и кригинга

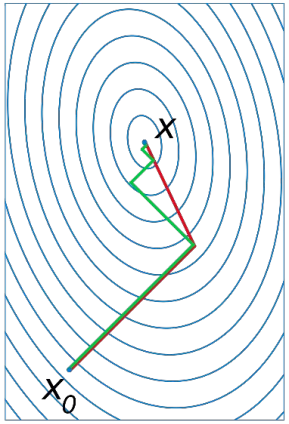
Методы решения СЛАУ

NEW

Самые быстрые и эффективные методы в числовой линейной алгебре – методы крыловского типа

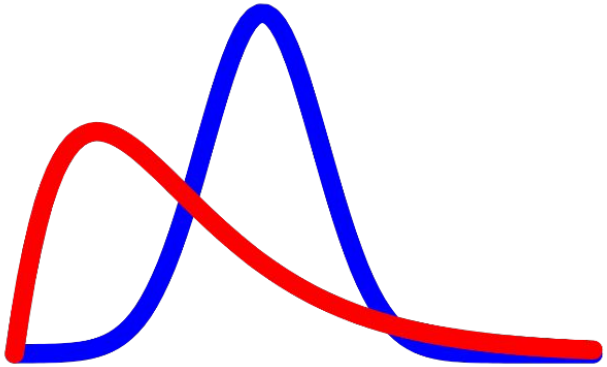
обобщенные минимальные невязки (GMRES)

квазиминимальные остатки без транспонирования (TFQMR)



сопряжённые градиенты (CG)

стабилизированные бисопряженные градиенты (BiCGStab)

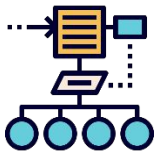


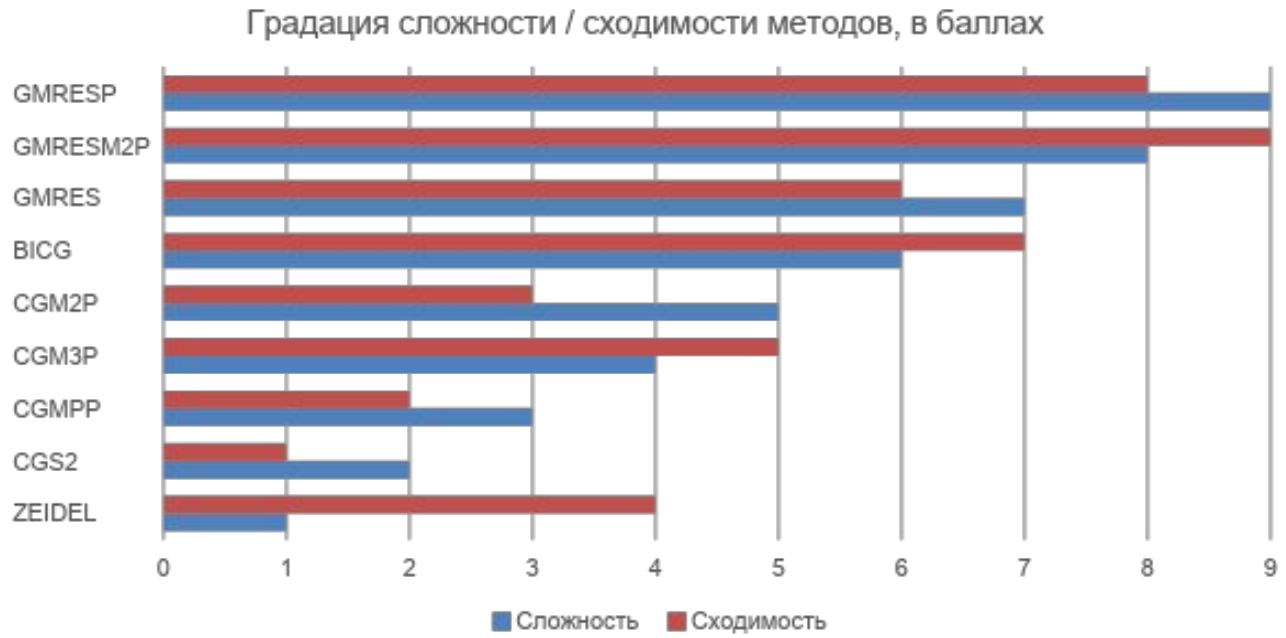
Особенности

- Ориентация на матрицы больших размерностей
- Снижение числа матрично-матричных операций
- Преимущественное использование простых операции

Применимость методов решения СЛАУ

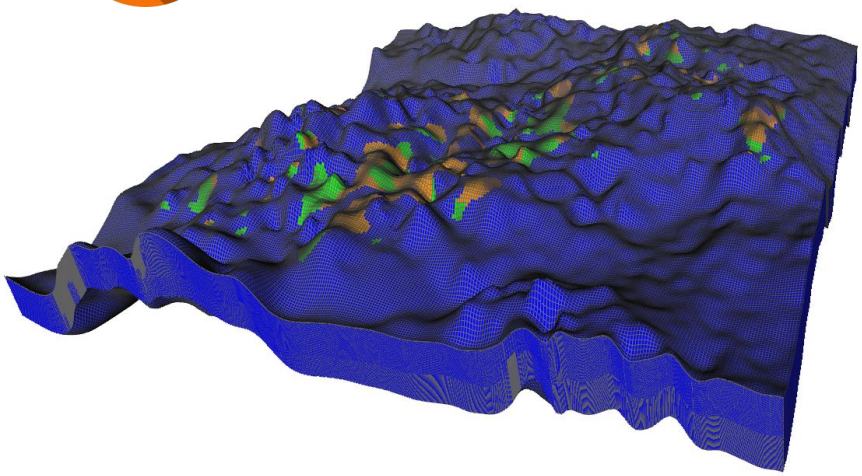
NEW





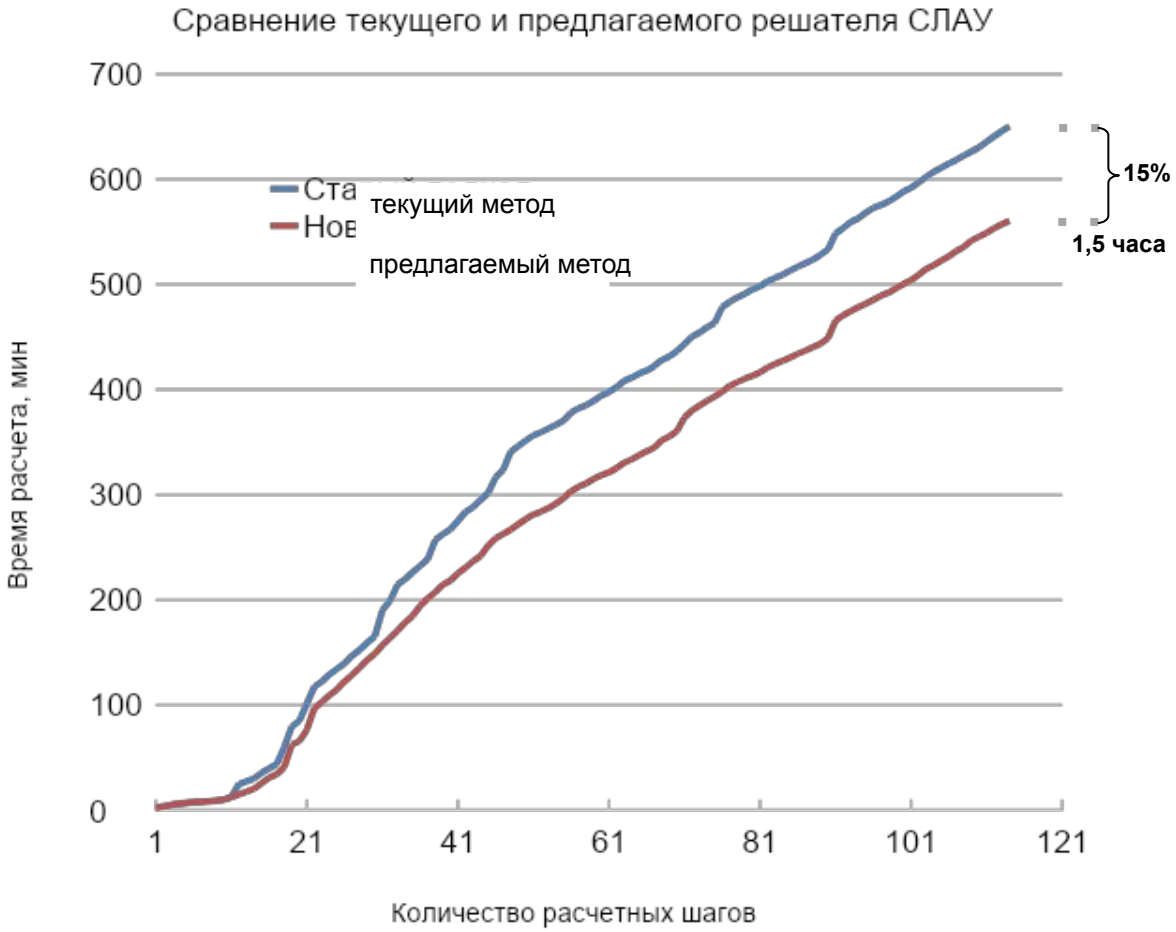
Эффективность решения СЛАУ на примере Лянторского месторождения в ПО «Техсхема»

Лянторское месторождение



Параметры модели:

Размерность	1 822 419 × 1 822 419
Число элементов	3 321 211 011 561
Число ненулевых элементов	11 958 657
Количество скважин	7342
Моделируемое время	30 лет

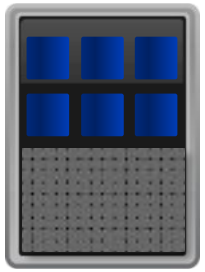


Расчеты проводились на рабочей станции (Intel Xeon Gold 6134 CPU 3,2GHz),16 потоков

Графические процессоры

Научные и технические приложения могут быть значительно ускорены с помощью графических процессорных устройств (ГПУ)

Технически ГПУ, оснащены почти все современные электронно-вычислительные машины



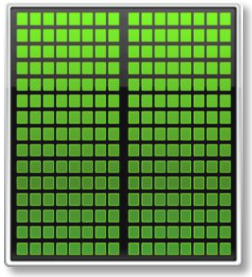
несколько ядер, для задач последовательной обработки

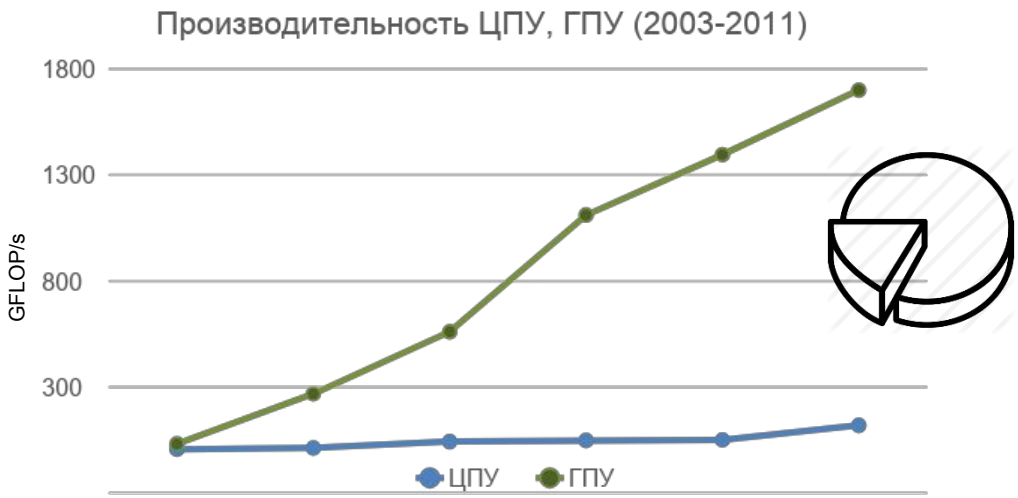
Пример:
Intel Xeon E5-2670 – 16 ядер

VS

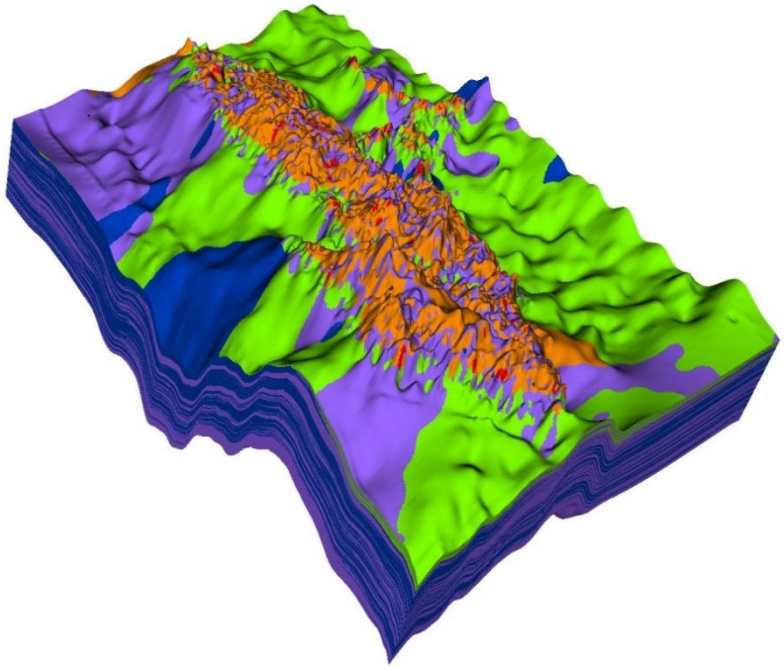
тысячи маленьких, эффективных ядер для параллельной работы

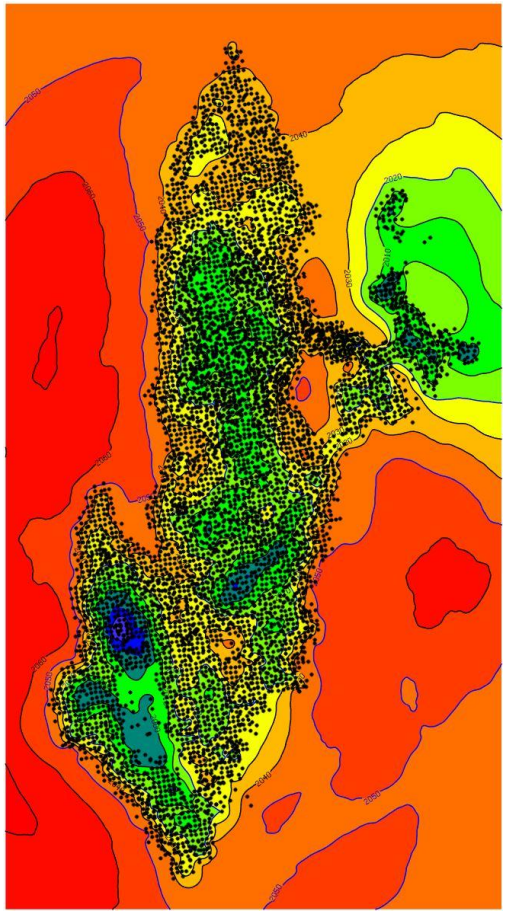
Пример:
NVIDIA Tesla K40 – 2880 ядер





Геологическая модель Лянторского месторождения

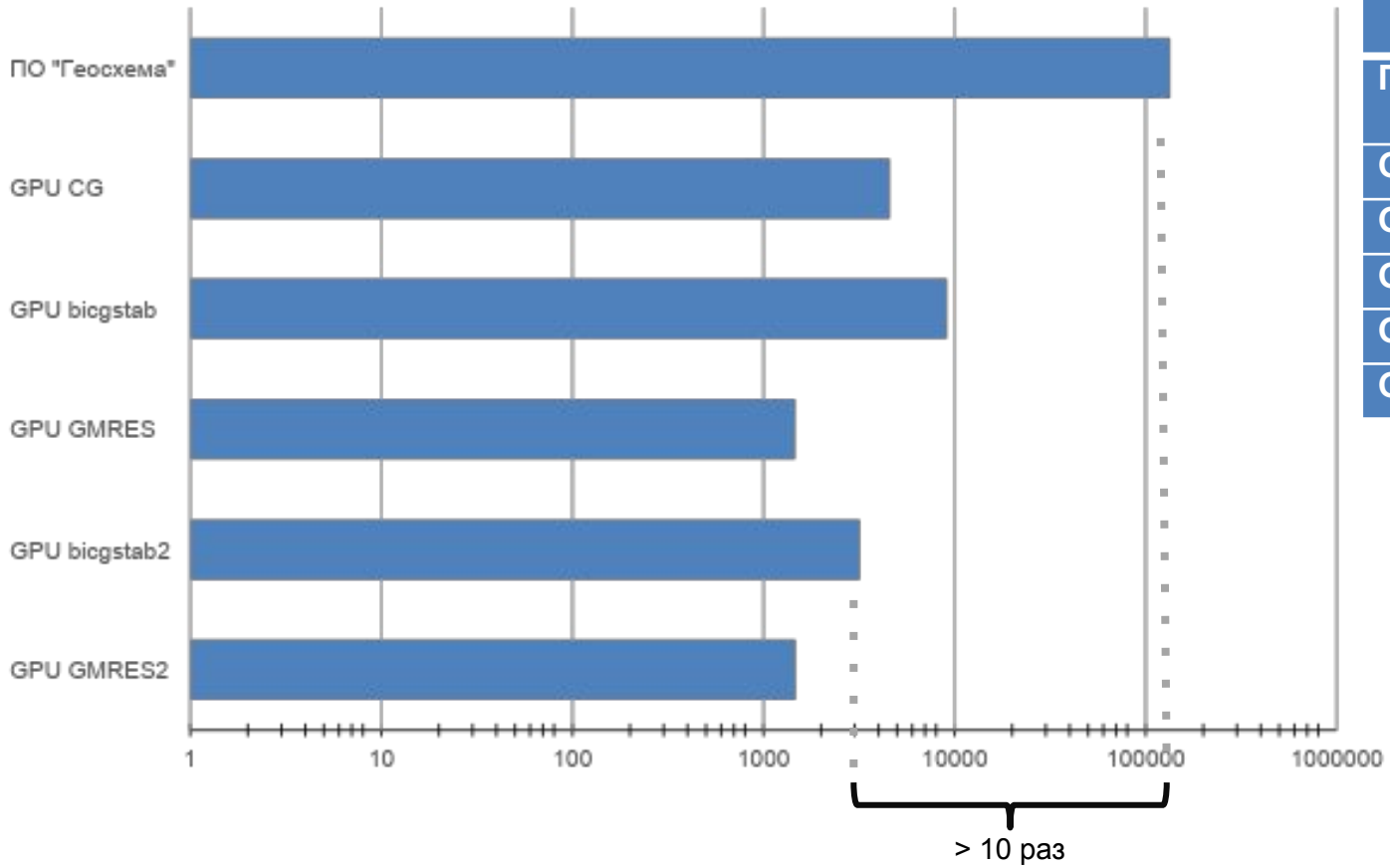




Характеристики матрицы:

- Размерность матрицы – 7283×7283
- Число элементов – 53 042 089
- Норма Чебышева – 7282
- Евклидова норма – 2073,8
- Преобладание главной диагонали
- Положительная определённость

Возможный эффект от решения СЛАУ для плотных матриц на графических процессорах



Метод	Погрешность, % <0,05
ПО "Геосхема"	✔
GPU CG	-
GPU bicgstab	✔
GPU GMRES	-
GPU bicgstab2	✔
GPU GMRES2	-

Прогнозируемый эффект от применения графических процессоров для решения плотных уравнении , с заменой прямого LU метода на метод крыловского типа **приводит к ускорению процесса расчёта СЛАУ на 90%**

Выводы

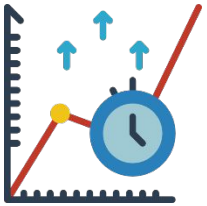
- Применение новых методов на ЦПУ для ПО «ТЕХСХЕМА», сокращает время решения на предложенных образцах на 15%
- Исследование новых методов на ЦПУ для ПО «ГЕОСХЕМА», сокращает время решения СЛАУ на 75%
- Применение технологии расчета на графических ядрах для ПО «ГЕОСХЕМА» сокращает время решении для матриц большой размерности на 90%, без потери в точности решения
- Улучшенный контроль точности решении
- Улучшенная стабильность работы решателя

Экономическая эффективность

Таблица 5 – Трудозатраты и объёмы работ по гидродинамическому моделированию в рамках создания постоянно-действующих геолого-гидродинамических моделей, научно-исследовательский комплекс по управлению выработкой запасов углеводородов, Тюменское отделение «СургутНИПИнефть»

	Месторождение (модель)	Количество ячеек общее	Количество яеек активных	Время 1 расчёта истории, сек	Количество расчётов за год, расч./год	Временные затраты за год, час.	Время 1 расчёта прогноза на 5 лет, сек	Количество расчётов за год, расч./год	Временные затраты за год, час.	Геометрические размеры ячейки, м Х м
1	Тромъеганское (АС10)	1 641 600	1 641 600	10856	49	147,8	6256	124	215,5	50x50
2	Восточно-Тромъеганское (АС10)	3 039 232	3 039 232	4314	52	62,3	3902	139	150,7	50x50
3	Нижне-Сортымское (АС12)	22 757 328	22 643 136	14676	101	411,7	7900	443	972,1	50x50
4	Камынское (АС11)	24 509 952	24 386 965	21960	87	530,7	13390	176	654,6	50x50
5	Хорлорское (АС10/2)	10 869 120	1 179 334	2846	89	70,4	2215	149	91,7	50x50
6	Санинское (БС4/1(1-2))	4 126 760	4 126 760	120	39	1,3	186	86	4,4	100x100
7	им. Н.К.Байбакова (ВК1) + Филипенко (ВК1)	64 241 100	20 484 126	26069	251	1817,6	29895	271	2250,4	50x50
8	им. Н.К.Байбакова (ЮК2-5)	184 714 320	94 595 772	1800	47	23,5	3785	82	86,2	50x50
9	им. Н.К.Байбакова (Pz)	62 508 990	524 278	10657	49	145,1	5442	37	55,9	100x100
10	Рогожниковское (ЮК2-5)	102 878 832	9 824 626	23172	105	675,9	13662	169	641,4	100x100
11	Рогожниковское (ВК1)	44 916 960	14 344 431	4 511	977	1224,2	2200	187	114,3	50x50
12	Комарьинское (АС8-10)	26 310 060	3 821 944	43200	343	4116,0	19172	245	1304,8	50x50
13	Лянторское (АС9-11)	14 534 784	14 515 248	70189	718	13998,8	37998	1421	14998,7	100x100
14	Лянторское (БС8/2)	1 670 328	1 670 328	1080	394	118,2	520	245	35,4	50x50
15	Северо-Лабатьюганское (АС10/1+АС11)	1 065 716 352	863 299 540	28430	795	6278,3	24420	1540	10446,3	100x100
16	Западно-Чигоринское (АС12)	22 749 363	1 132 185	10812	297	892,0	2580	589	422,1	50x50
17	Алинское (В10)	8 980 488	1 478 562	6 364	271	479,1	3182	541	478,2	50x50
18	Ульяновское (АС11/1)	3 611 344	751 929	6123	38	64,6	2199	97	59,3	50x50
19	Ульяновское (БС4/1(1-2))	19 278 204	1 359 540	12962	65	234,0	7527	124	259,3	50x50
20	ЦБ Талаканского НГКМ (О-1)	3 525 613	1 054 828	12 280	505	1722,6	7140	1407	2790,6	100x100
21	им. А.В.Филипенко (ЮК2-5)	120 473 220	74 111 646	120	37	1,2	80	74	1,6	50x50
22	им. А.В.Филипенко (ПЗ)	7 106 160	433 250	0	0	0,0	2232	38	23,6	50x50
23	Восточно-Алинское (В10)	7 363 584	1 269 460	2 861	245	194,7	1431	722	286,9	50x50
24	Жумажановское (АС10/2)	26 194 080	1 784 179	7140	202	400,6	2800	378	294,0	50x50
25	Ватлорское (АС10/2, АС11/01-02)	49 383 640	37 611 226	1800	242	121,0	1200	426	142,0	100x100
26	Ай-Пимское (АС11 + АС12)	208 716 840	150 965 487	31 863	512	4531,6	17627	850	4161,9	50x50
27	Быстринское (БС16-17 + БС18-20)	21 188 800	999 443	27540	487	3725,6	15760	122	534,1	100x100
28	Быстринское (ЮС2)	3 921 492	138 513	12210	505	1712,8	8808	187	457,5	100x100
29	Западно-Сахалинское (АС11/1-2 + АС12/1-2)	66 532 206	1 126 142	4041	518	581,5	1173	741	241,4	100x100
30	Западно-Камынское (АС12/1)	86 791 888	1 473 977	5257	812	1185,7	1528	121	51,4	100x100
31	Назаргалеевское (АС11) + Санинское (АС11)	15 165 843	15 165 843	15300	61	259,3	3600	121	121,0	50x50
		2 305 418 483	1 370 953 530			45 728			42 347	

Экономическая эффективность



Временные затраты на моделирование

88 075 часов/год

Экономия времени (15 %)

13 211 часов в год

Стоимость человека часа

1 697 рублей

(Плановая стоимость 1 чел.часа на выполнение научно-исследовательских работ по Тюменскому отделению «СургутНИПИнефть»)

Экономия

22.4 млн. рублей / год

СУРГУТНЕФТЕГАЗ

Спасибо за внимание!

Программирование ГПУ (Бонус издание)

Программирование ГПУ происходит с помощью платформы CUDA

Библиотеки GPU с открытым исходным кодом, основанные на CUDA:

- CUSP Sparse Linear Algebra
- CULA tools CULA Sparse
- cuSolver
- cuBLAS
- cuSPARSE

- Большие ускорения в операциях требующих постоянного перебора и перемещения данных
- Высокоэффективные умножения с разреженной и плотной матрицей
- Высокая скорость параллелизации вычислении
- Высокая эффективность при большой плотности операции и объёме данных

- Трудоемкая операция обмена данными между ЦПУ и ГПУ
- Ограниченность внутренней, быстрой памяти (десятки Гб)
- Низкоуровневое программирование для работы с памятью, при выполнении специфичных операции
- Наличие графических карт NVIDIA

Один из самых перспективных методов повышения производительности – применение **гетерогенной (гибридной) системы**

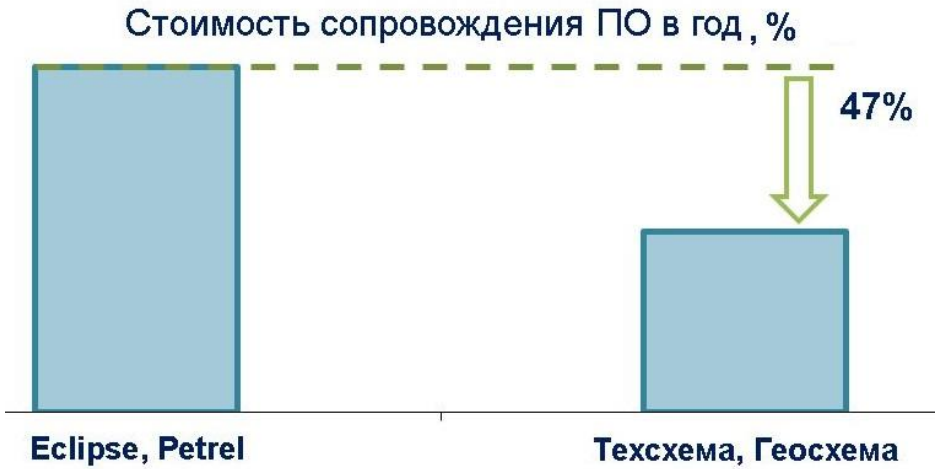
CPU + GPU

Можно крафтить биткоины

Направления продолжения работ (Бонус издание)

- Введение новых, более качественных предобуславлевателей
- Применение графических процессоров для обсчёта решении разреженных матриц
- Применение новых методов решения СЛАУ и гибридных методов процесса решения СЛАУ
- Повышение точности и стабильности процесса решения СЛАУ
- Увеличение скорости решения расчётов
- Другие меры оптимизационной направленности

Экономическая эффективность



Сопровождение программного обеспечения для геолого-гидродинамического моделирования за 2019г. (Инновационный план «СургутНИПИнефть»)