

# CUDA-MPI реализация метода BiCGStab для решения СЛАУ в задачах моделирования больших пластических деформаций



Ю.В. Халевицкий\*,  
А.С. Партин,  
А.В. Коновалов

# Про задачу

- Конечные элементы
- Моделируется деформация металла с очень сложной моделью: упруговязкопластичность, модель основана на металловедческих феноменах
- Несимметричная матрица с симметричным портретом
- Процесс дважды итерационный: ~1000 шагов по времени, внутри каждого из которых 15 шагов компенсации нелинейности
- Поток из ~15000 тяжёлых СЛАУ, которые надо решать последовательно

# Предыдущая работа

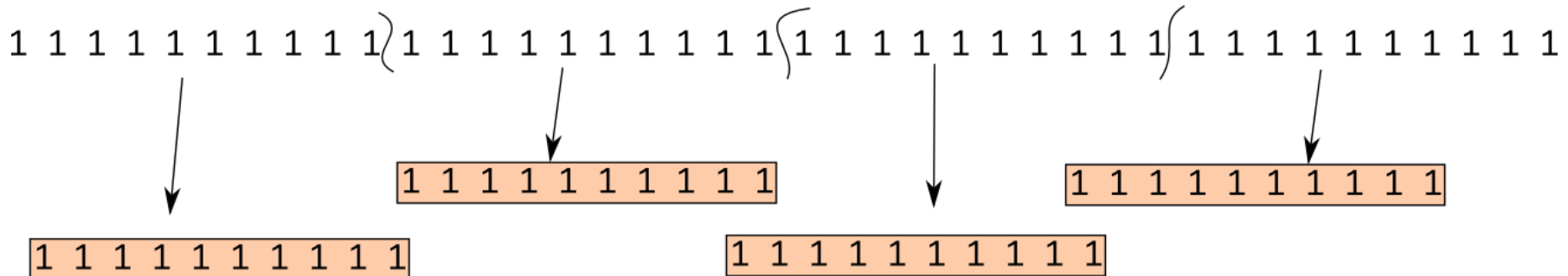
- Уже реализован конечно-элементный код, для решения СЛАУ используется PARDISO, Iis, CUSP
- Есть потребность подключить к решению карты на кластере
- На момент начала работ библиотек для кластера с теслами не было
- Была создана эффективная реализация SpMV в гибридном формате

# Текущая работа

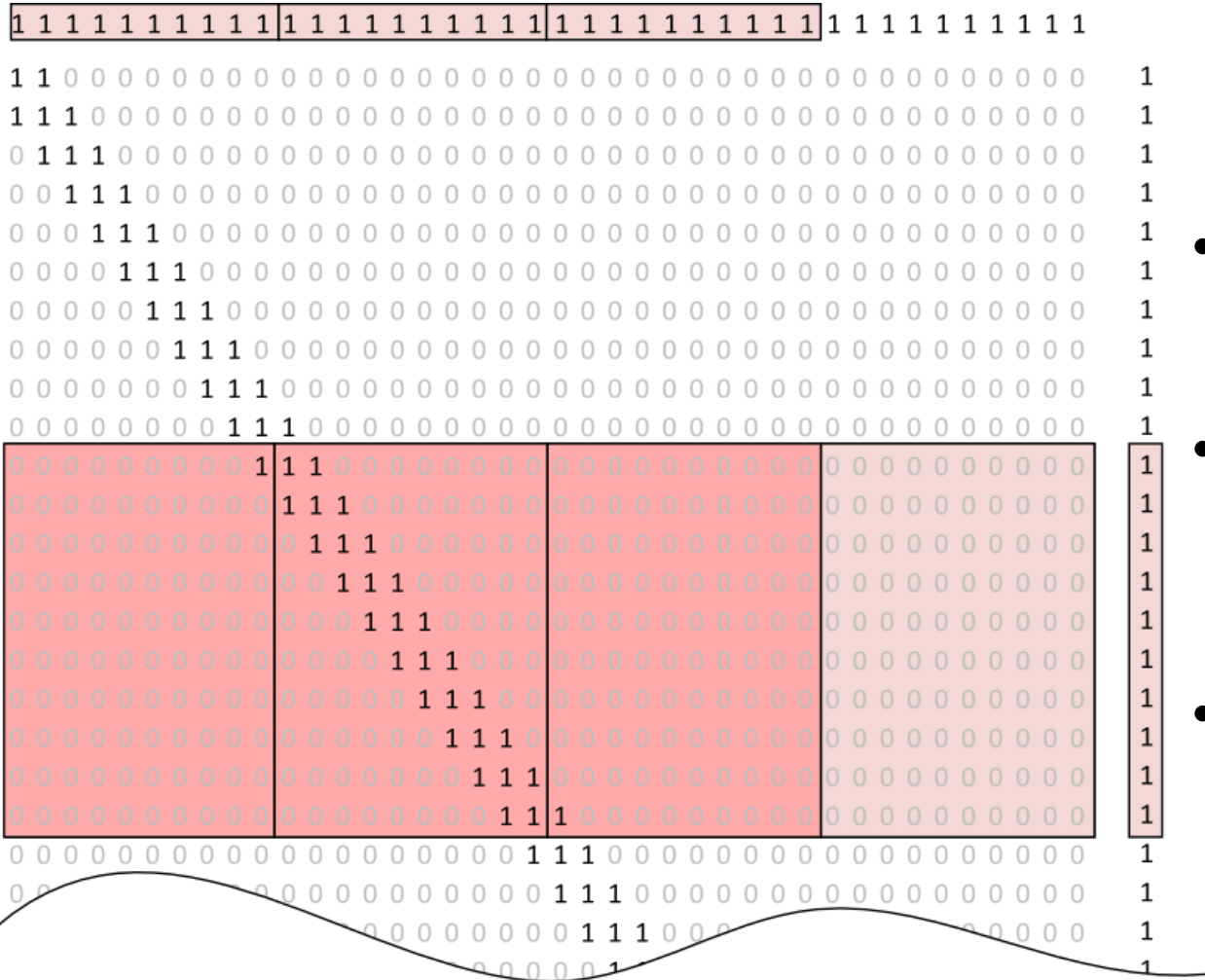
- Из созданного примитива собран предобусловленный переупорядоченный BiCGStab [1]
- В качестве предобуславливателя используется блочный Якоби с ILU(0) внутри блоков

# Распределение вектора

- Вектор хранится на вычислителях в разреженном формате
- Минимальная единица хранения вектора – порция
- Вектор передаётся между узлами порциями

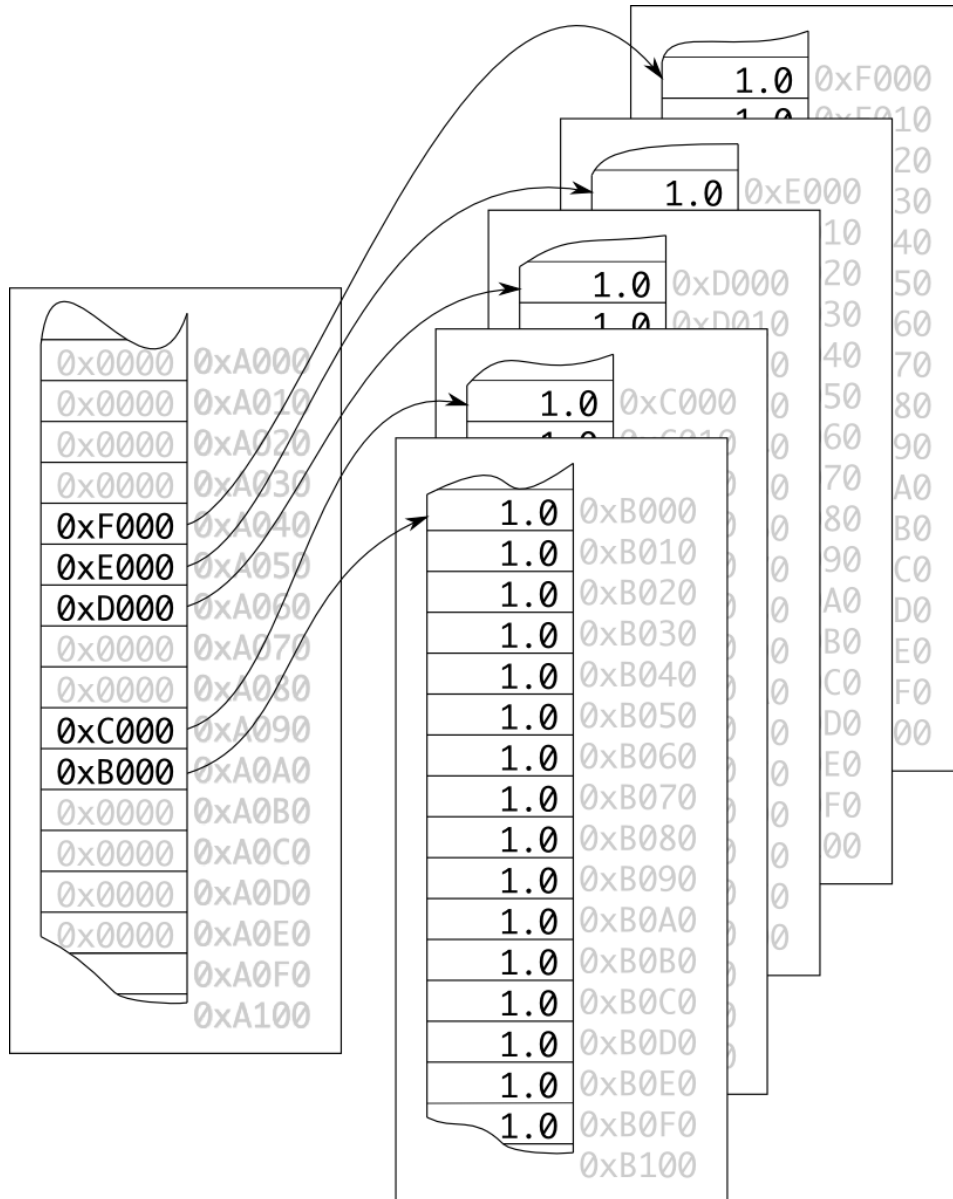


# Распределение матрицы



- Матрица распределяется по логическим вычислителям слоями
- Размер слоя кратен размеру порции вектора
- Каждый слой обрабатывается отдельным ускорителем
- На этапе сборки матрицы жёсткости можно выяснить, куда и какие порции передавать

# Массив диспетчеризации



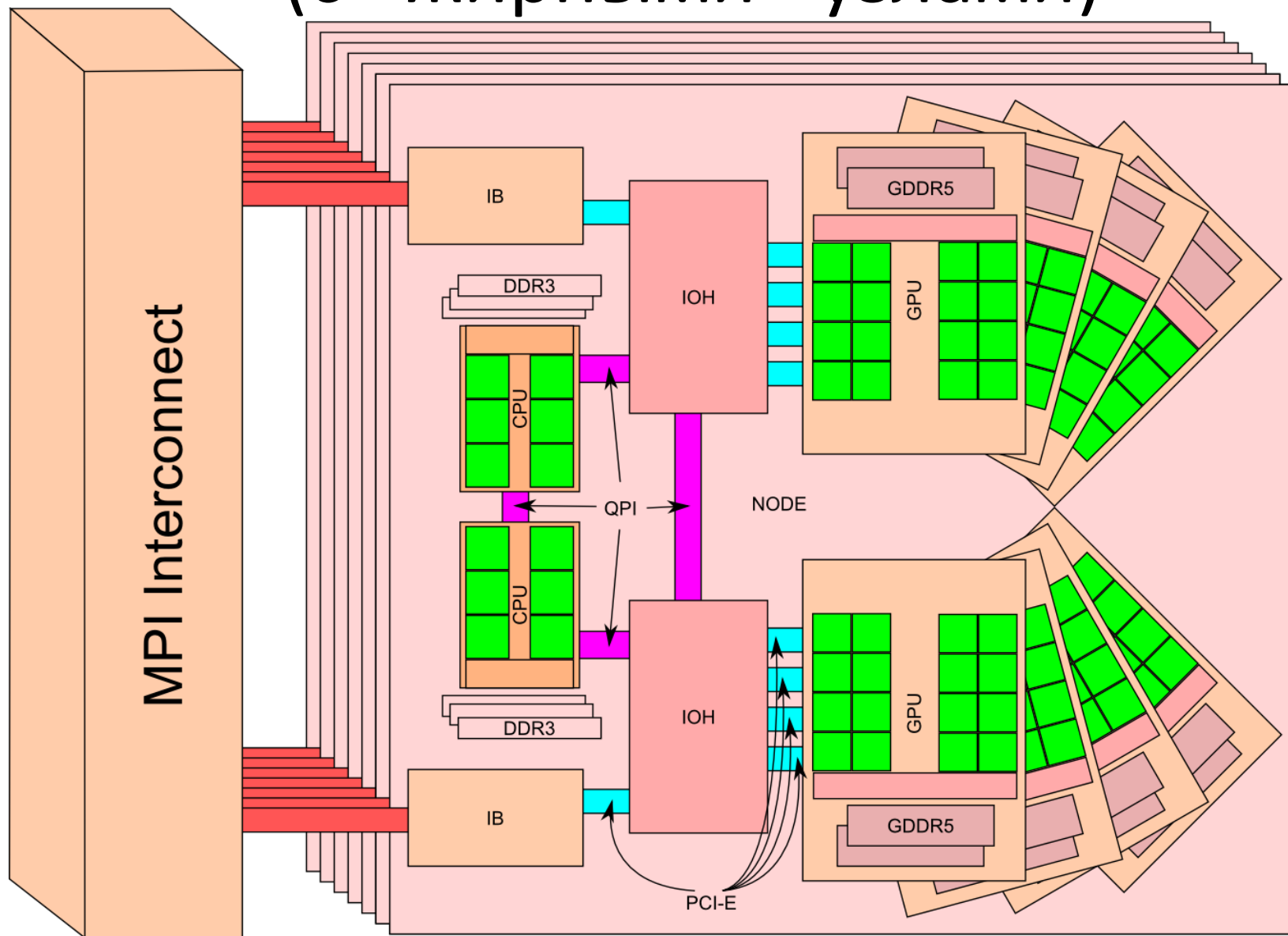
- Информация в порциях вектора хранится в двумерном массиве
- Указатели на начало каждой строки хранятся в другом массиве, расположенном в сверхоперативной памяти
- Адрес начала строки можно получить за  $O(1)$  делением индекса на размер порции

# Вычислительный эксперимент

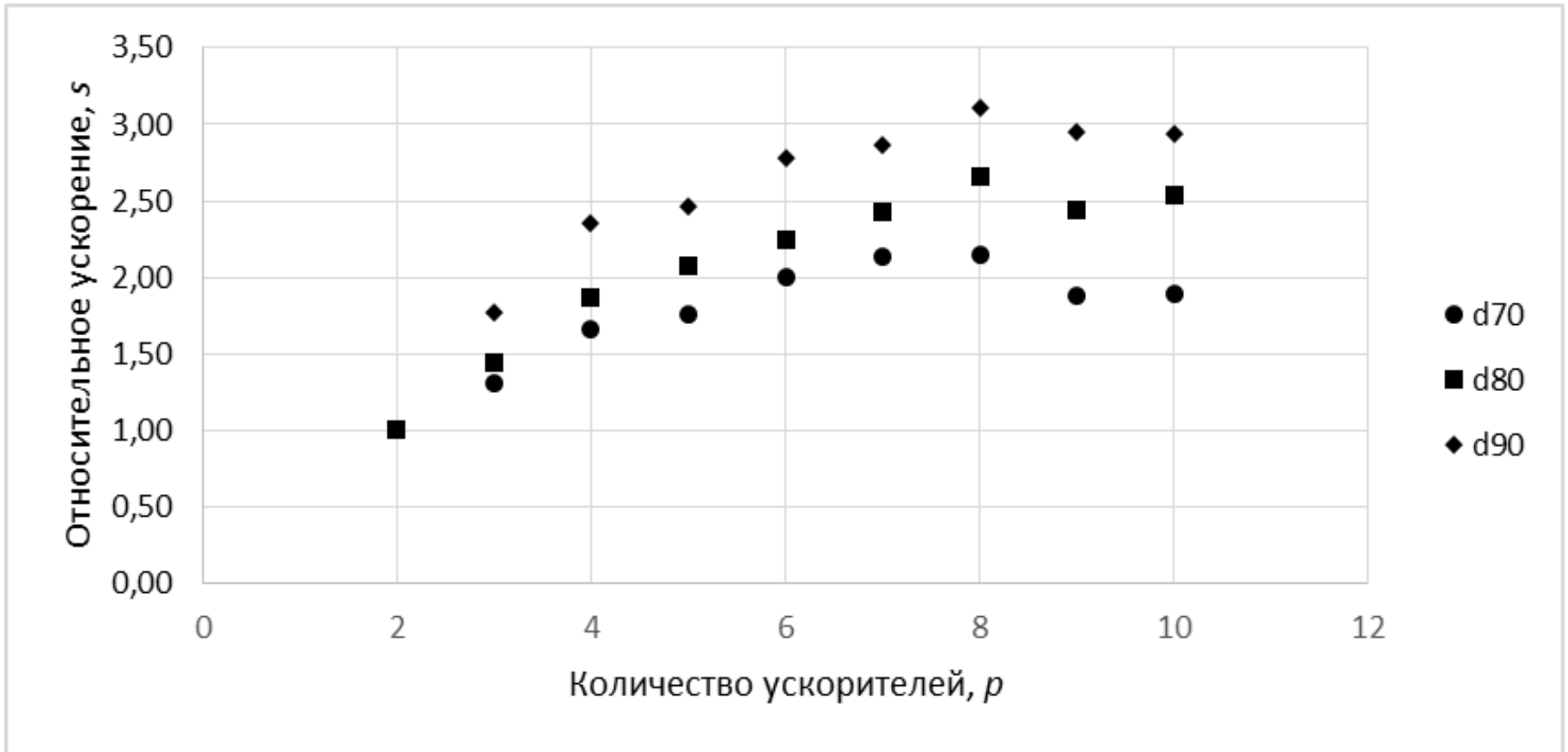
- Кластер «Уран» с «тяжёлыми» узлами
- Методическая задача — деформация куба плоскими плитами
- Сетки имеют размерность  $70 \times 70 \times 70$ ,  $80 \times 80 \times 80$  и  $90 \times 90 \times 90$  гексаэдров



# Гетерогенный кластер с ускорителями (с «жирными» узлами)



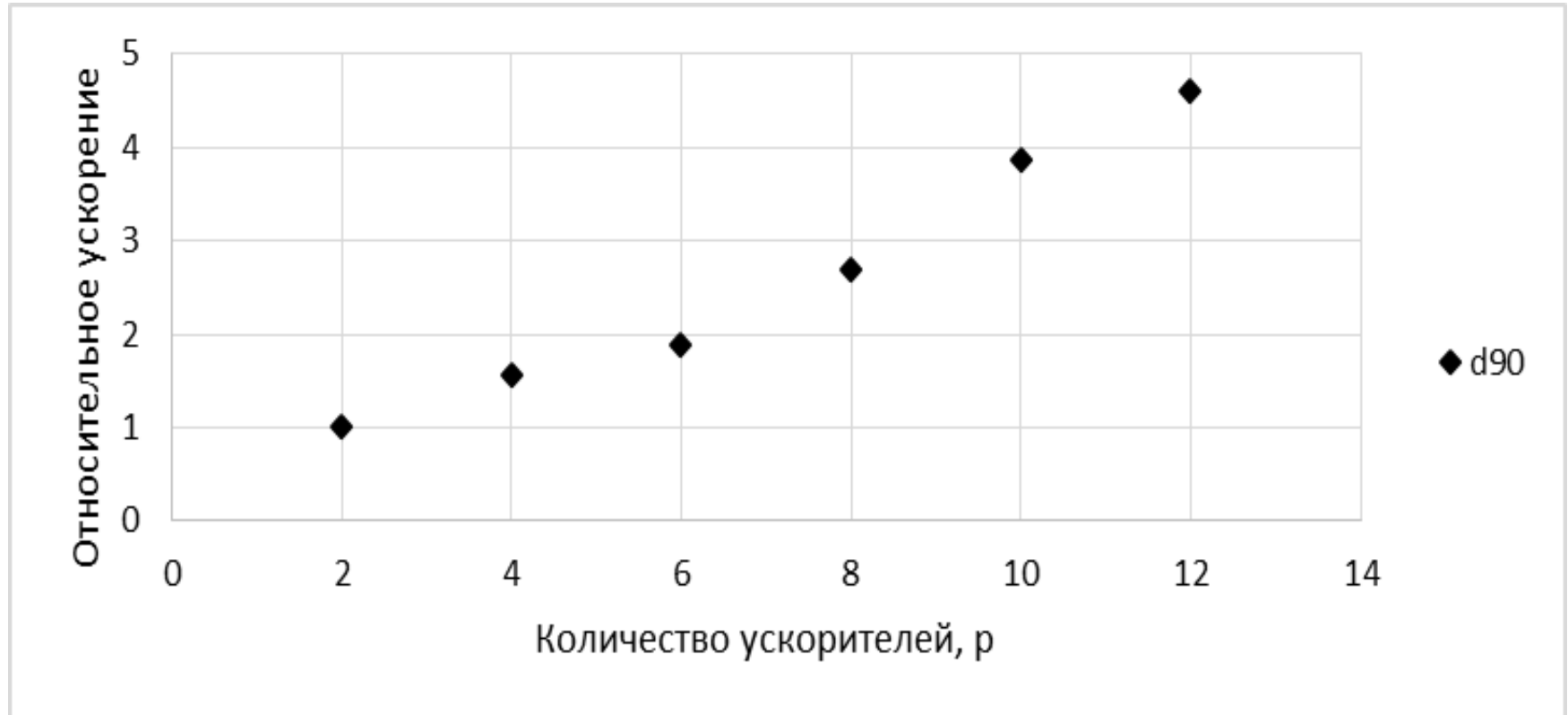
# Результаты-1



# Обсуждение отрицательных результатов

- Происходит насыщение шины PCI-E: через неё взаимодействуют восемь карт и две платы интелекконнекта
- Производитель рекомендует один ускоритель на один сокет
- Были проведены эксперименты с рекомендуемым соотношением

# Результаты-2



$p$	2	4	6	8	10	12
$p/p_0$	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
$s$	1,00	1,57	1,88	2,70	3,87	4,41

# Выводы и обсуждение

- На «лёгких» узлах реализация работает хорошо — для достижения насыщения не хватило свободных узлов
- Предобуславливатель подобран неудачно

# CUDA-MPI реализация метода BiCGStab для решения СЛАУ в задачах моделирования больших пластических деформаций



Ю.В. Халевицкий\*,  
А.С. Партин,  
А.В. Коновалов