

**Отображение на кластеры с графическими процессорами циклов с зависимостями по данным в DVMH-программах**

В.А. Бахтин, А.С. Колганов, В.А. Крюков, Н.В. Поддержюгина, М.Н. Притула  
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

# Модель DVMN

- ▶ Предложена в 2011 г.
- ▶ Основана на директивах
- ▶ Расширение модели DVM
  - Указание выгружаемого кода
  - Дополнительные свойства циклов
  - Управление перемещениями данных
- ▶ Целевая машина – кластер с многоядерными процессорами и ускорителями различной архитектуры

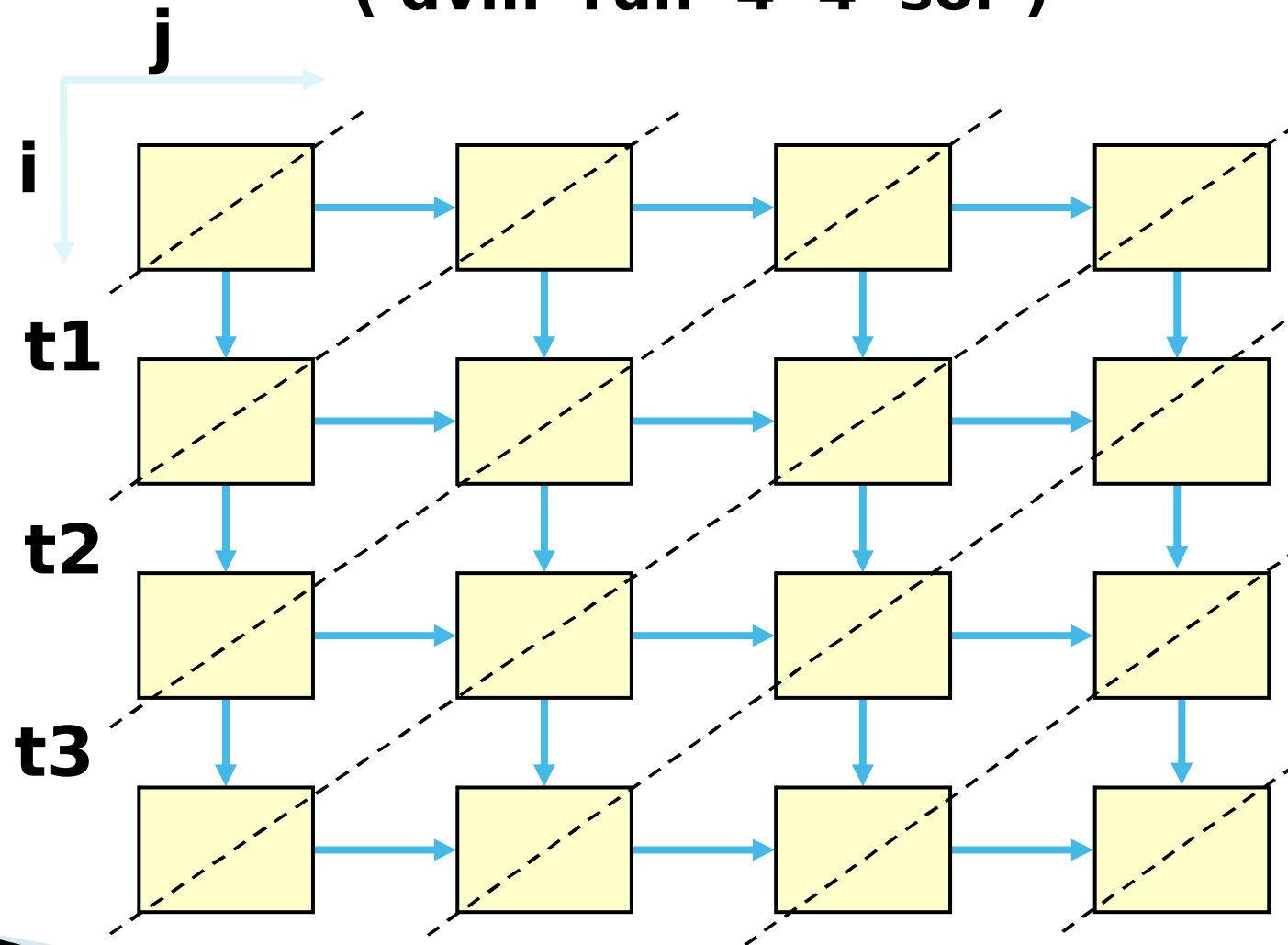
# Циклы с зависимостями

- ▶ Указание **ACROSS** при параллельном цикле
- ▶ Режимы обработки
  - В режиме конвейера
    - Порционное обновление теневых граней
  - Без конвейера – гиперплоскостями
- ▶ Меняется шаблон доступа в память – проблемы с эффективным выполнением на GPU

# Fortran-DVM программа

```
PROGRAM      SOR_DVM
PARAMETER    (L=1000, ITMAX=20, W = 0.5)
REAL  A(L,L) , EPS, S
!DVM$ DISTRIBUTE A(BLOCK,BLOCK)
PRINT *, '***** TEST_SOR *****'
DO IT = 1, ITMAX
  EPS = 0.
!DVM$  PARALLEL(J, I) ON A(I, J), ACROSS(A(1:1,1:1)),
!DVM$&  REDUCTION(MAX(EPS))
  DO J = 2, L-1
    DO I = 2, L-1
      S = A(I, J)
      A(I, J) = (W / 4) * (A(I-1, J) + A(I+1, J) + A(I, J-1) +
&      A(I, J+1)) + (1-W) * A(I, J)
      EPS = MAX ( EPS, ABS( S - A( I, J )))
    ENDDO
  ENDDO
  PRINT 200, IT, EPS
200  FORMAT(' IT = ',I4, ' EPS = ', E14.7)
ENDDO
END
```

# Параллелизм по гиперплоскостям в DVM ( `dvm run 4 4 sor` )



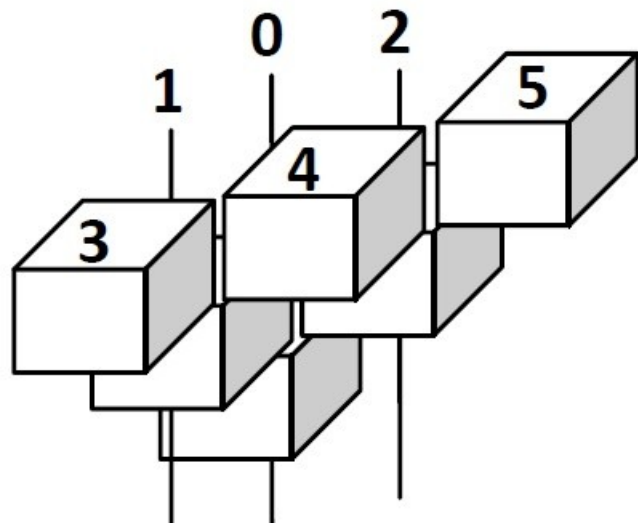
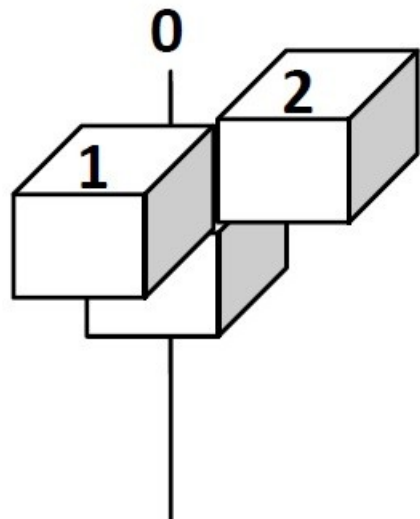
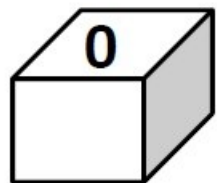
# Fortran-DVMH программа

```
PROGRAM      SOR_DVMH
PARAMETER    (L=1000,  ITMAX=20,  W = 0.5)
REAL  A(L,L) ,  EPS,  S
!DVM$ DISTRIBUTE A(BLOCK,BLOCK)
PRINT *, '***** TEST_SOR *****'
DO IT = 1, ITMAX
  EPS = 0.
!DVM$  ACTUAL(EPS)
!DVM$  REGION
!DVM$  PARALLEL(J, I) ON A(I, J), ACROSS(A(1:1,1:1)),
!DVM$&  REDUCTION(MAX(EPS)), PRIVATE(S)
  DO J = 2, L-1
    DO I = 2, L-1
      S = A(I, J)
      A(I, J) = (W / 4) * (A(I-1, J) + A(I+1, J) + A(I, J-1) +
&      A(I, J+1)) + (1-W) * A(I, J)
      EPS = MAX ( EPS,  ABS( S - A( I, J )))
    ENDDO
  ENDDO
!DVM$  END_REGION
!DVM$  GET_ACTUAL(EPS)
PRINT 200,  IT,  EPS
200  FORMAT(' IT = ',I4, '  EPS = ', E14.7)
ENDDO
END
```

# Реализация для GPU

- ▶ Зависимость по 1 измерению – его сериализация
- ▶ Зависимость по 2,3,4 измерениям – выполнение гиперплоскостями
- ▶ Зависимость по 5 и более – комбинация методов
- ▶ Изменение порядка выполнения витков – изменение шаблона доступа в память
- ▶ Переупорядочивание элементов массивов

# Реализация: метод гиперплоскостей



1й запуск  
ядра

2й запуск  
ядра

3й запуск  
ядра

И т.д.



# Переупорядочивание массивов

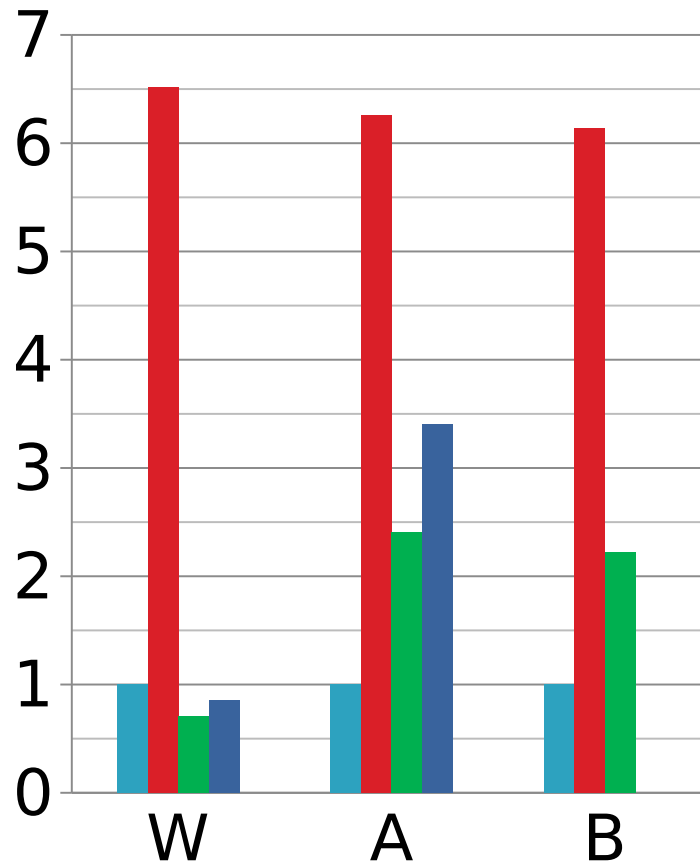
- ▶ Никаких дополнительных указаний в DVMH-программе
- ▶ Работает в динамике
- ▶ Для каждого цикла для каждого массива выбирает лучший порядок элементов
- ▶ Поддержка диагонализированных представлений
- ▶ Не происходит возврата состояния в конце цикла, только переход в требуемое

# Апробация на тестах NPВ

- ▶ BT (Block Tridiagonal)
  - 57 параллельных циклов, 6 с зависимостями
  - 3850 строк, 76 - директивы
- ▶ SP (Scalar Pentadiagonal)
  - 56 параллельных циклов, 12 с зависимостями
  - 3500 строк, 215 - директивы
- ▶ LU (Lower-Upper)
  - 107 параллельных циклов, 2 с зависимостями
  - 4500 строк, 171 - директивы

# BT

**Ускорение**

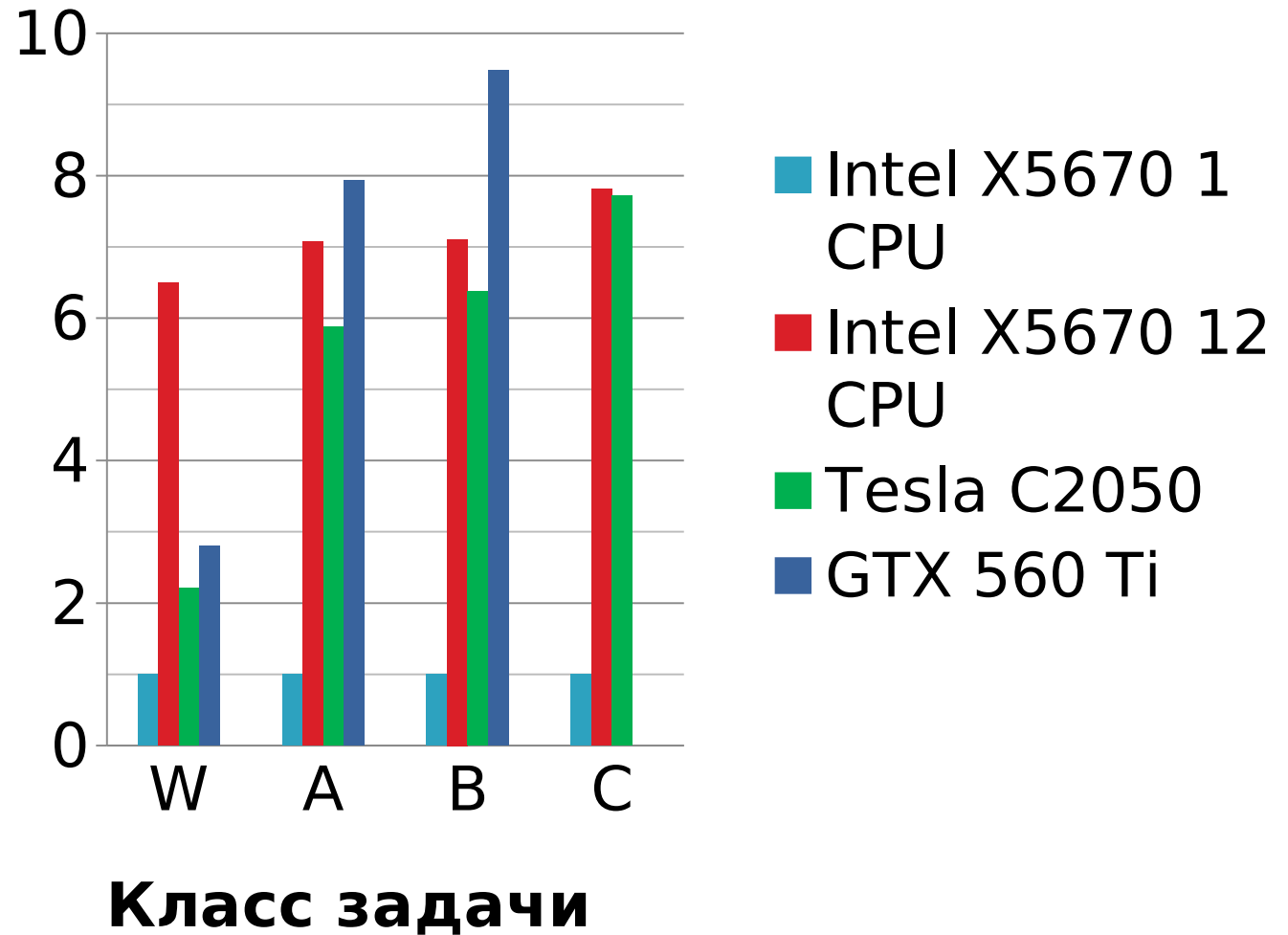


- Intel X5670 1 CPU
- Intel X5670 12 CPU
- Tesla C2050
- GTX 560 Ti

**Класс задачи**

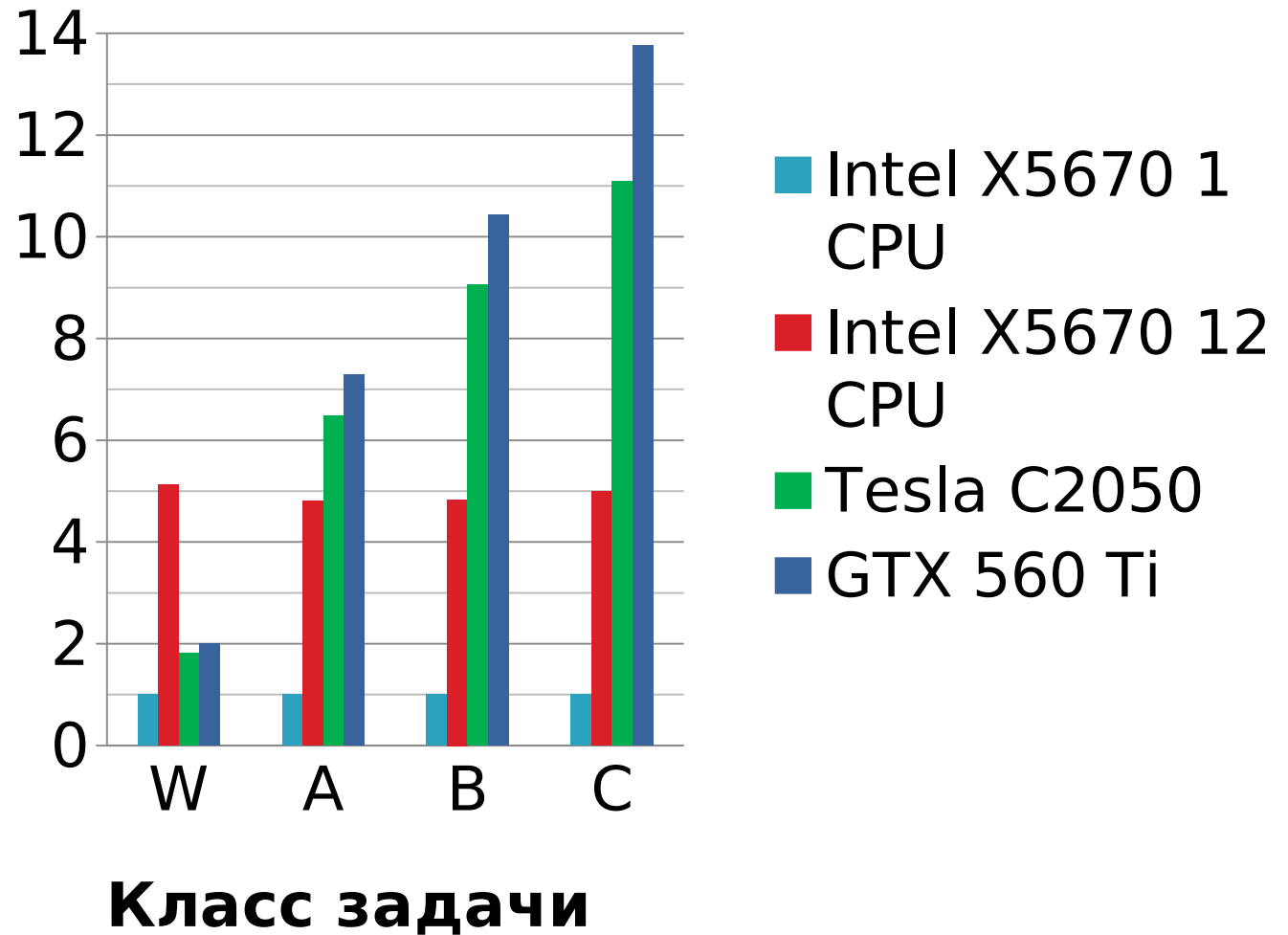
# SP

**Ускорение**

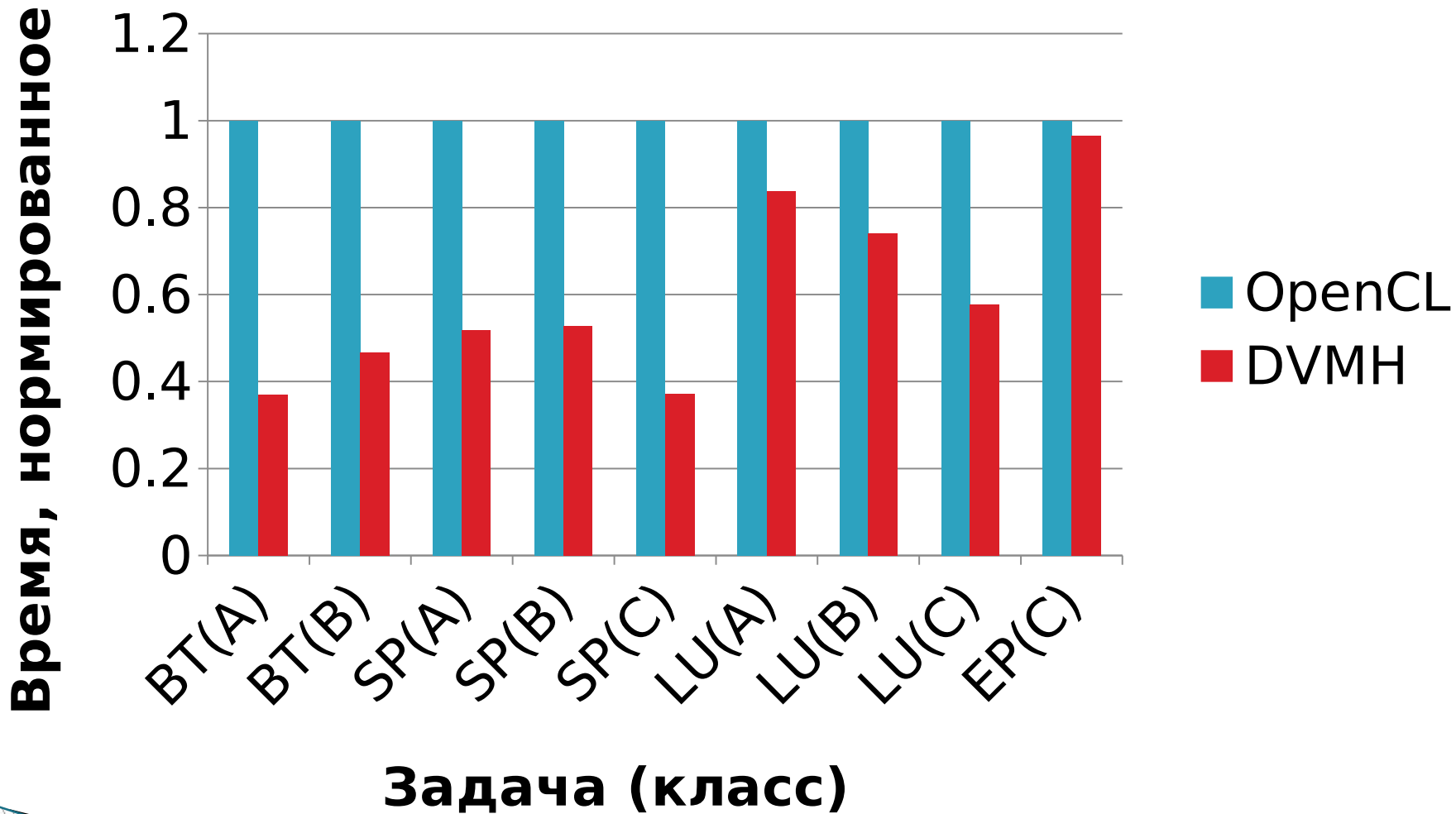


# LU

**Ускорение**



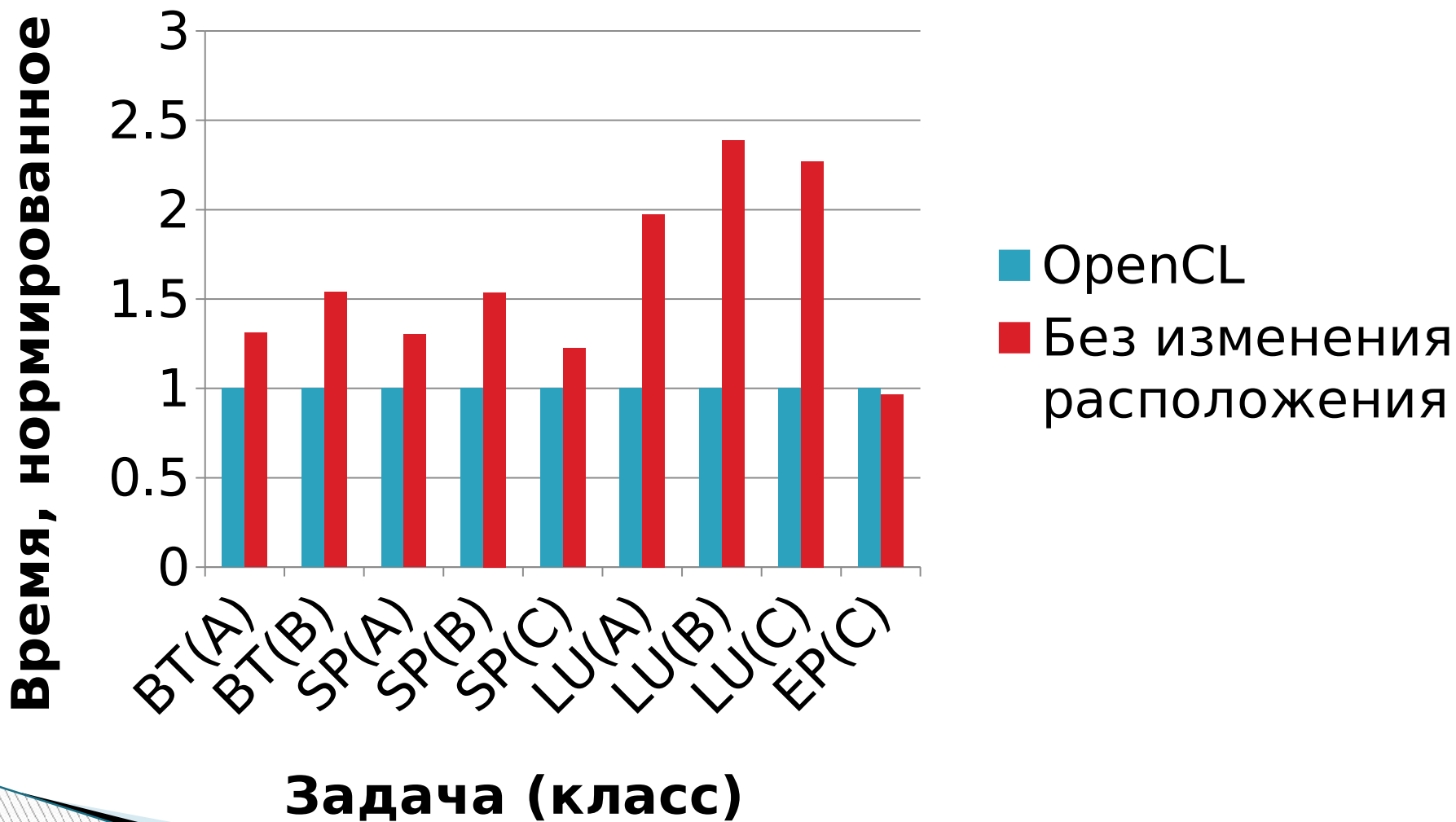
# Сравнение с OpenCL-версией



**Приглашаем к ознакомлению с DVM-системой, обогащенной поддержкой  
графических процессоров**

[dvm@keldysh.ru](mailto:dvm@keldysh.ru)

# Сравнение с OpenCL-версией





# Ссылки на результаты для сравнения

- ▶ Performance Analysis of a Hybrid MPI/CUDA Implementation of the NAS-LU Benchmark / S.J. Pennycook, S.D. Hammond, S.A. Jarvis, G.R. Mudalige // ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review – Special issue on the 1st international workshop on performance modeling, benchmarking and simulation of high performance computing systems (PMBS 10). — 2011. — Vol. 38, Issue 4. — P. 23–29.
- ▶ Performance Characterization of the NAS Parallel Benchmarks in OpenCL / S. Seo, G. Jo, J. Lee // 2011 IEEE International Symposium on. Workload Characterization (IISWC). — 2011. — P. 137–148.