



РОСАТОМ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Метод двухуровневого распараллеливания прогонки для решения систем алгебраических трехточечных уравнений на гибридных ЭВМ с многоядерными сопроцессорами

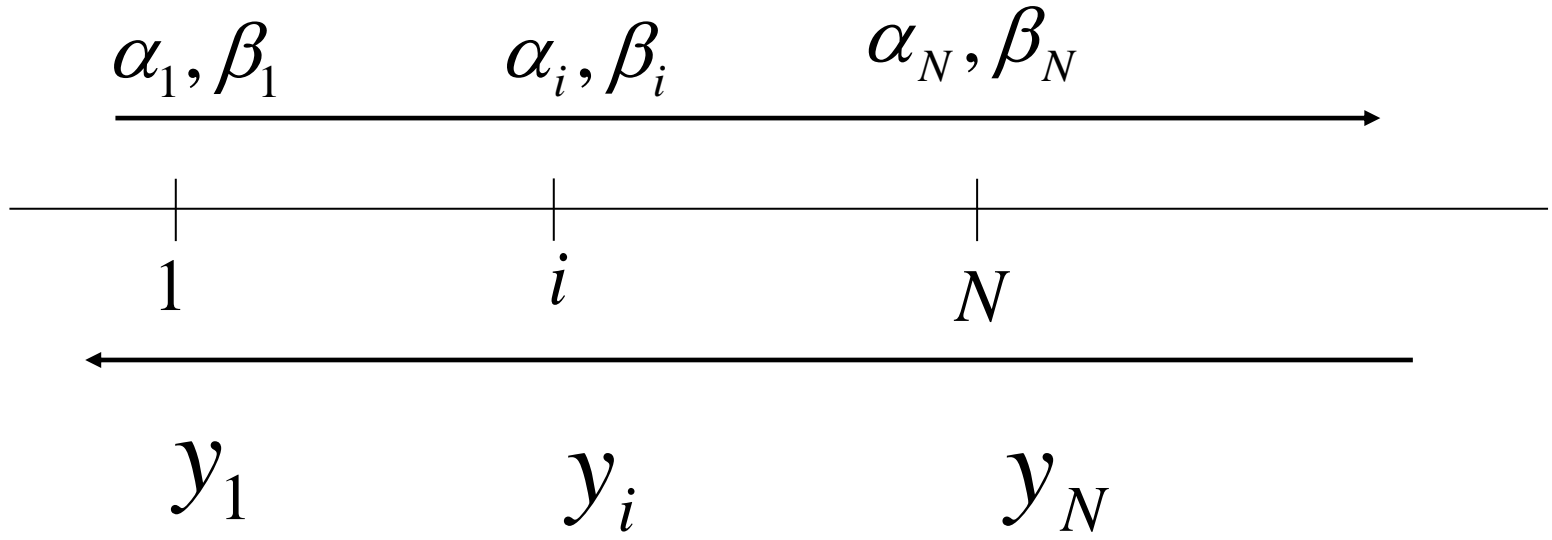
Федоров А.А., Быков А.Н.

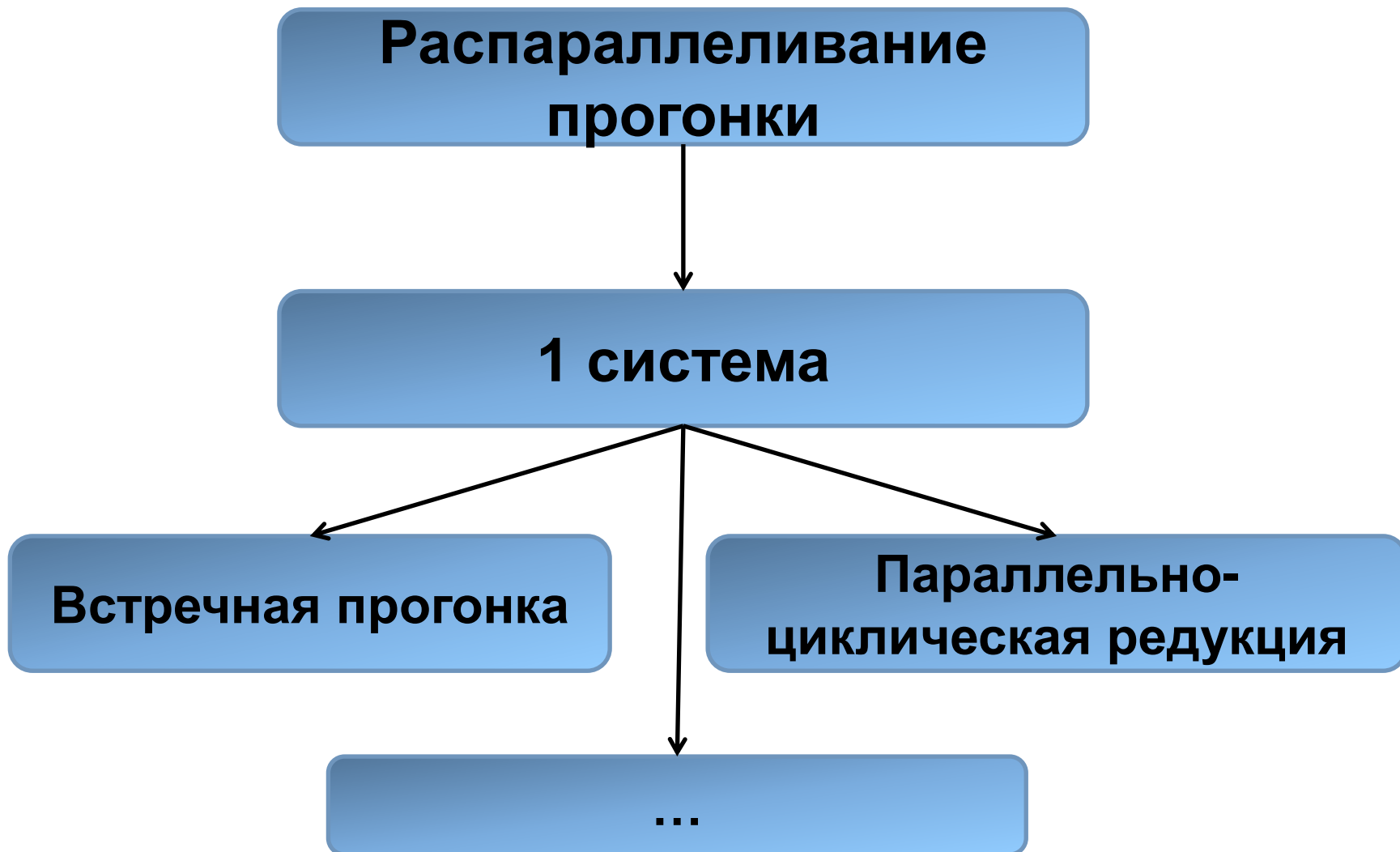
Параллельные вычислительные технологии
Архангельск
2016

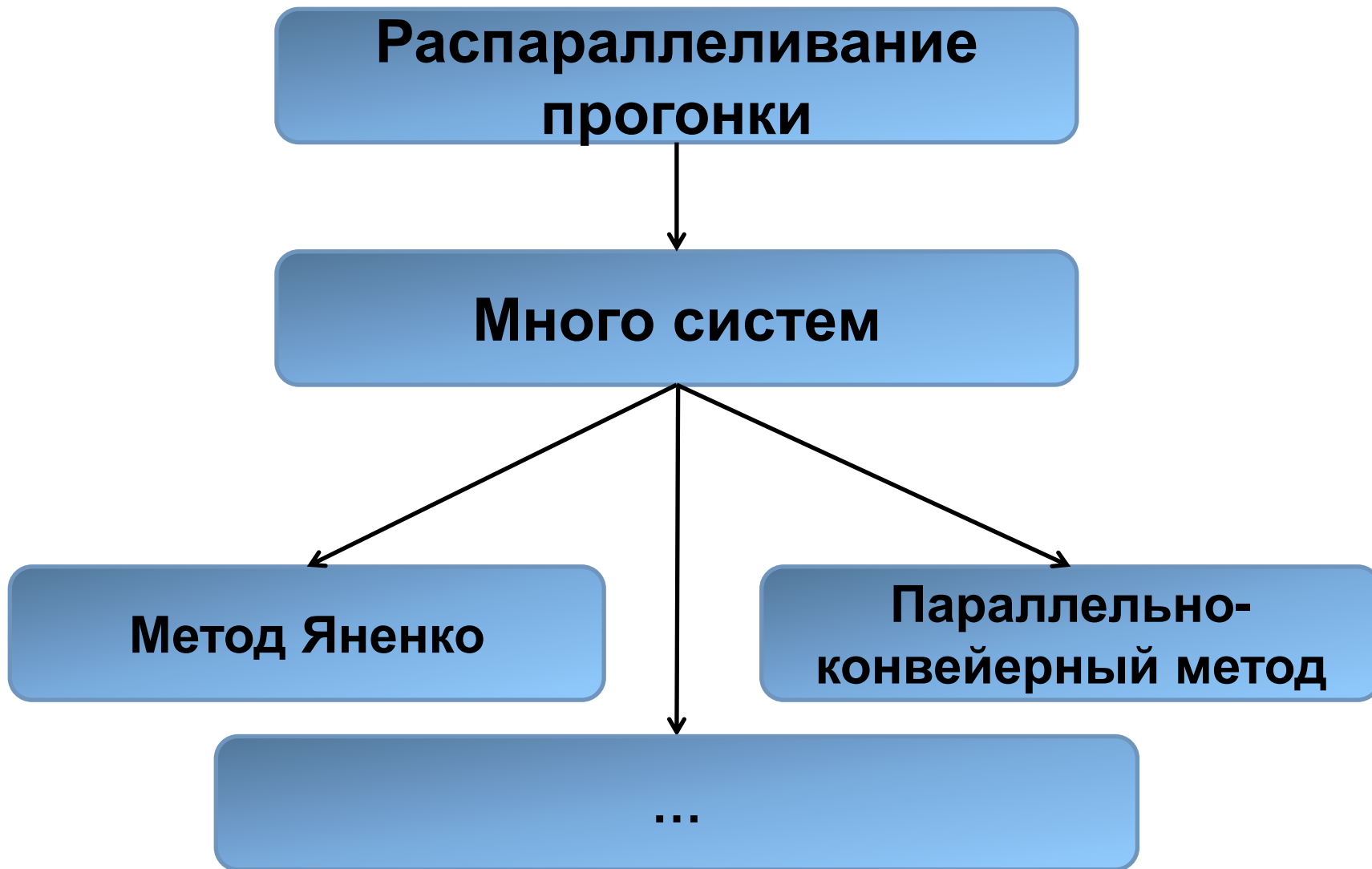
Выполнить распараллеливание множества прогонок, возникающих при моделировании двумерных или трехмерных физических процессов, на ЭВМ, содержащей сопроцессоры Intel Xeon Phi (симметричный режим)

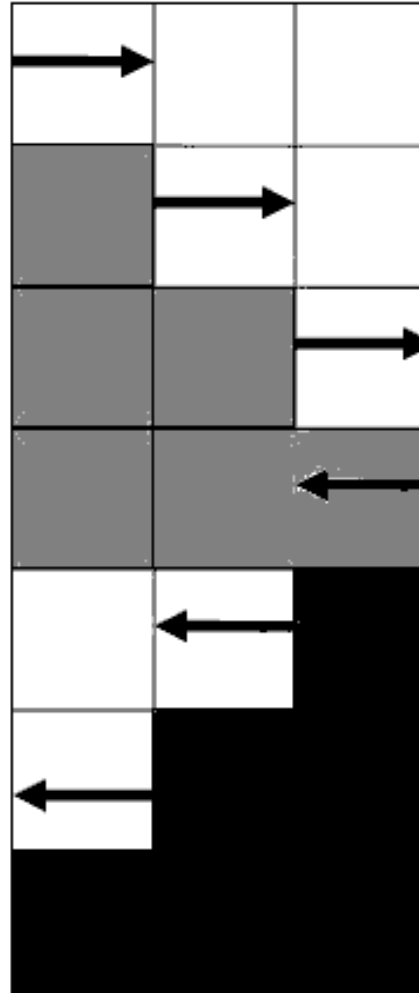
$$a_i y_{i-1} + b_i y_i + c_i y_{i+1} = d_i, b_i \neq 0, i = 1, 2, \dots, N - 1$$

$$b_0 y_0 + c_0 y_1 = d_0, a_N y_{N-1} + b_N y_N = d_N.$$









$$y_{(j-1)*m+i} = z_{j-1}u_i + z_jv_i + w_i$$

Найти решение трёх систем (предрешения)

$$a_i u_{i-1} + b_i u_i + c_i u_{i+1} = 0,$$

$$u_{(j-1)*m} = 1, \quad u_{j*m} = 0;$$

$$a_i v_{i-1} + b_i v_i + c_i v_{i+1} = 0,$$

$$v_{(j-1)*m} = 0, \quad v_{j*m} = 1;$$

$$a_i w_{i-1} + b_i w_i + c_i w_{i+1} = d_i,$$

$$w_{(j-1)*m} = 0, \quad w_{j*m} = 0;$$

$$i = (j-1)*m+1, \dots, j*m-1,$$

$$j = 1, \dots, M.$$

~~3~~ 1,6

Найти решение системы, состоящей из гранично-процессорных точек

$$A_j z_{j-1} + B_j z_j + C_j z_{j+1} = D_j$$

$$B_0 z_0 + C_0 z_1 = D_0$$

$$A_M z_{M-1} + B_M z_M = D_M$$

Восстановить решение исходной системы, используя предрешения и решения, найденные в гранично-процессорных точках

$$y_{(j-1)*m+i} = z_{j-1}u_i + z_jv_i + w_i$$



Эффективность распараллеливания всего метода зависит от эффективности распараллеливания второго этапа



Выбор метода распараллеливания прогонки на втором этапе метода Яненко



1. Метод правой прогонки

Число арифметических операций: $8M-7$;

Число независимо работающих MPI-процессов: 1.

2. Метод встречной прогонки

Число арифметических операций: $8M-5$;

Число независимо работающих MPI-процессов: 2 (почти всегда).

3. Метод параллельно-циклической редукции

Число арифметических операций:

$$12M \lceil \log_2(M+1) \rceil - 12 \left(\lceil \log_2(M+1) \rceil + d - 1 \right)^2 + 12dM$$

$d=0$, если M является степенью двойки, $d=1$, если M не является степенью двойки;

Число независимо работающих MPI-процессов: $M-1$ (почти всегда).

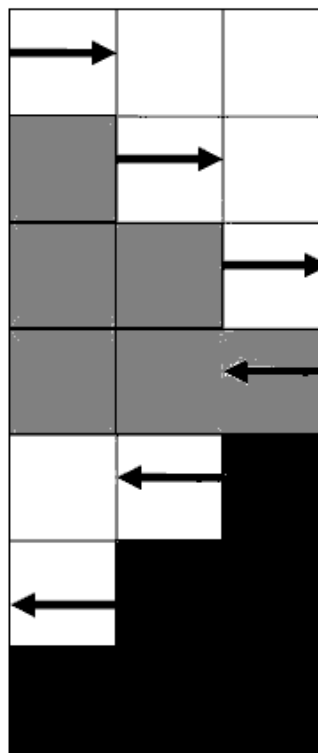
MPI + OpenMP

В каждом OpenMP-потоке решается несколько трехдиагональных систем

	MPI	MPI	MPI
MPI	OpenMP OpenMP OpenMP OpenMP	OpenMP OpenMP OpenMP OpenMP	OpenMP OpenMP OpenMP OpenMP
MPI	OpenMP OpenMP OpenMP OpenMP	OpenMP OpenMP OpenMP OpenMP	OpenMP OpenMP OpenMP OpenMP
MPI	OpenMP OpenMP OpenMP OpenMP	OpenMP OpenMP OpenMP OpenMP	OpenMP OpenMP OpenMP OpenMP

Реализация двухуровневого распараллеливания второго этапа метода Яненко

Параллельно-конвейерный метод с автоматическим выбором числа порций на втором этапе



Вычислительный комплекс Центра компетенций и обучения (ЦКО).

2 CPU Intel Xeon E5-2680 (10 ядер в каждом)

2 Intel Xeon Phi coprocessor 7120P (61 ядро в каждом)

Библиотека S-MPI

Слабая масштабируемость

$$V_p = (t_1 / t_p) \cdot 100\%$$

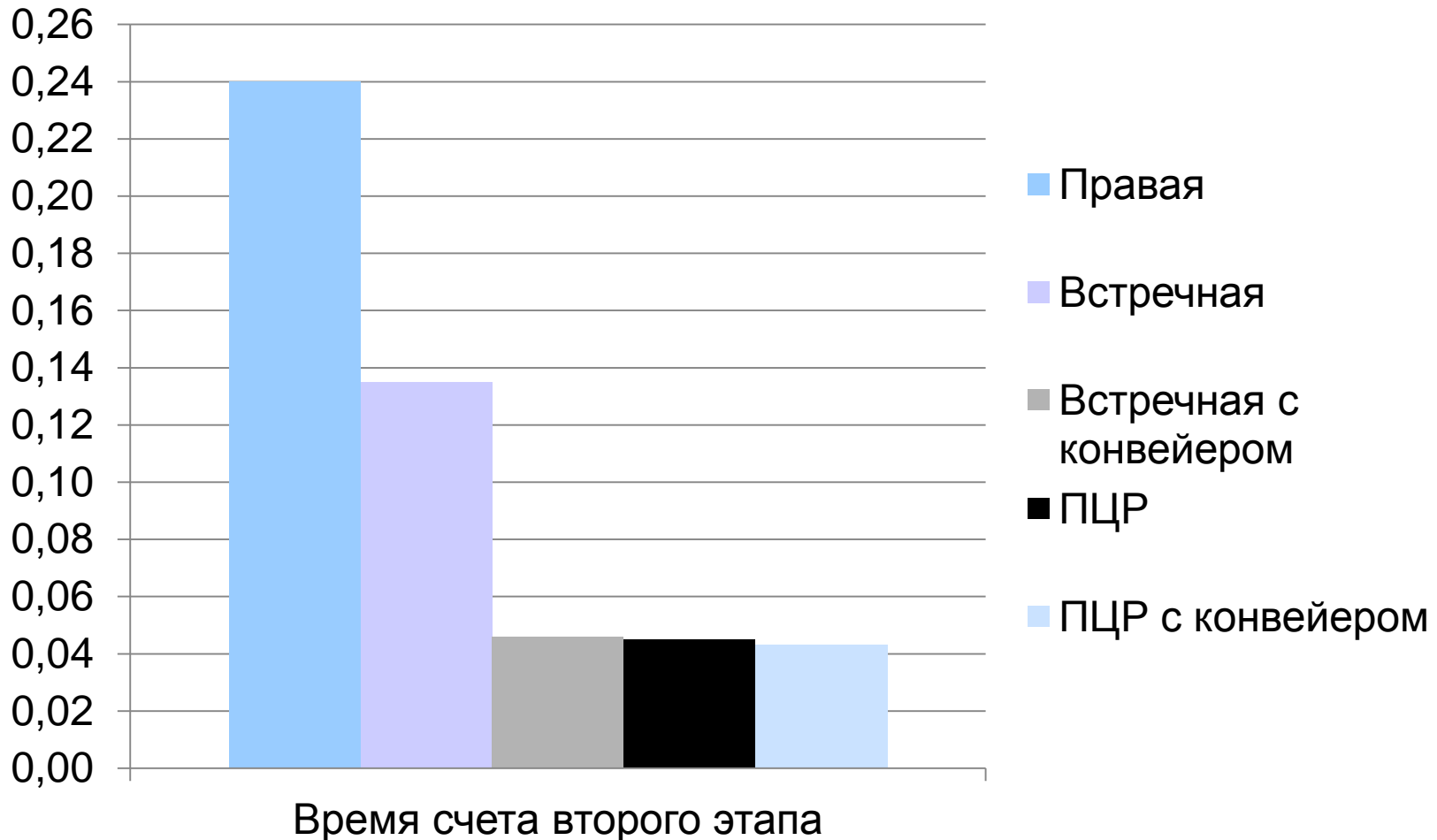
Сильная масштабируемость

$$V_p = (t_1 / pt_p) \cdot 100\%$$

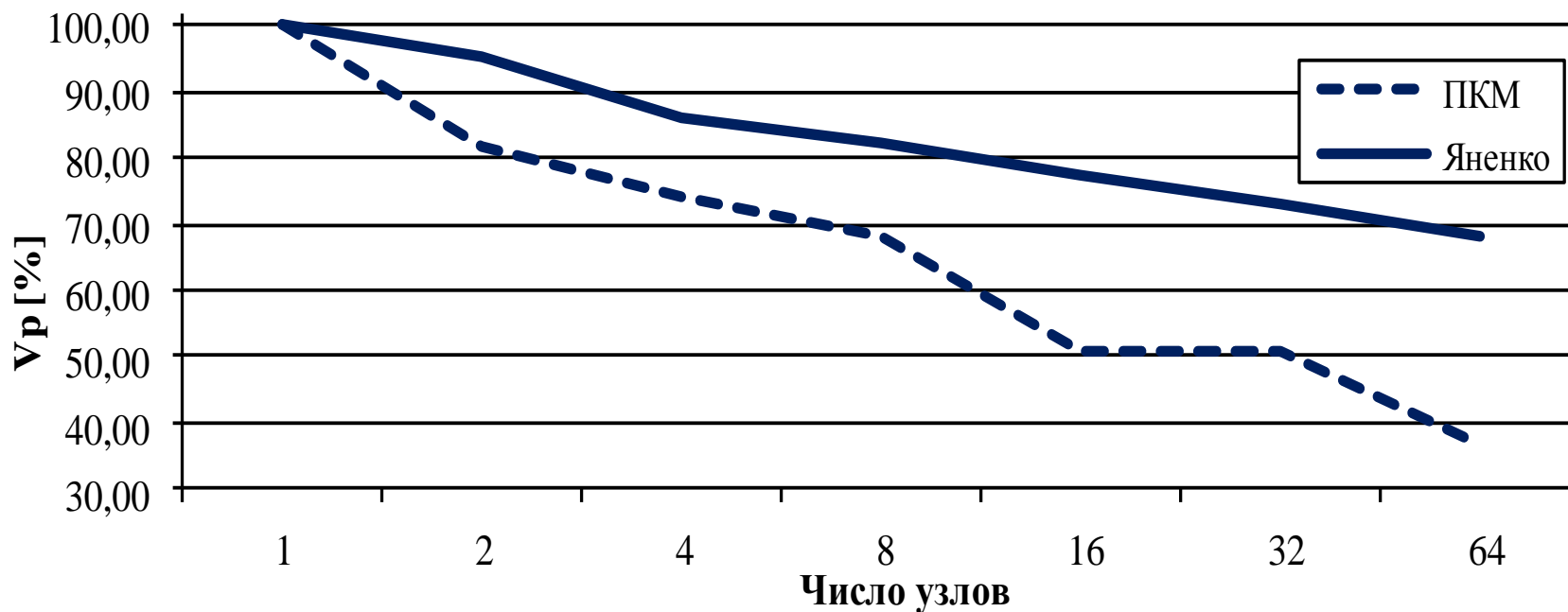
Трехмерная тестовая задача газовой динамики (неявная схема аппроксимации)

Задача: 500x200x200

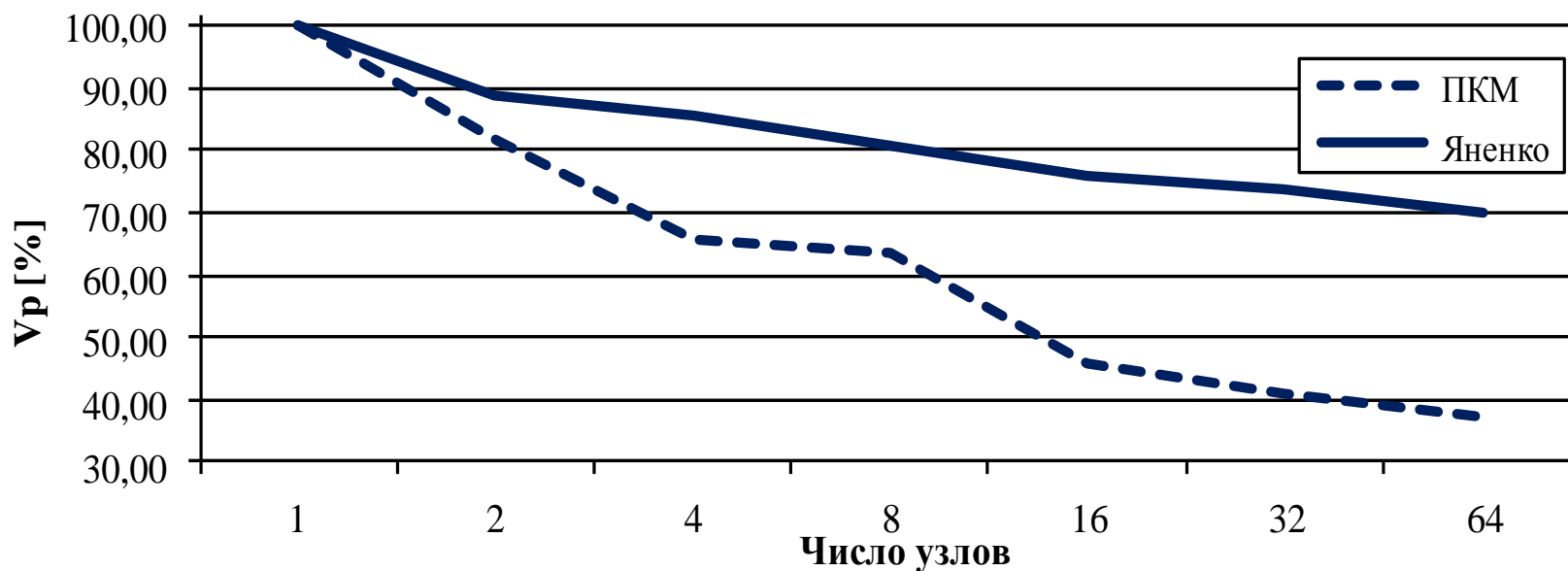
Декомпозиция: 128x1x1 (64 узла: 2 MPI x 10 OpenMP)



Сравнение параллельно-конвейерного метода и метода Яненко
2 MPI x 10 OpenMP на каждом узле. Трёхмерная декомпозиция
200x200x200 = 8 000 000 точек



Сравнение параллельно-конвейерного метода и метода Яненко
2 MPI x 10 OpenMP на каждом узле. Трёхмерная декомпозиция
200x200x200 = 8 000 000 точек



Native-режим. Метод Яненко. На каждом сопроцессоре запущен 1 MPI-процесс и 240 OpenMP-потоков

Число сопроцессоров	1	2	4
V_p , [%]	100.00	96.32	92.83

2x10 ядер на универсальной части + 2 сопроцессора

Симметричный режим

Число гибридных узлов	1	2
V_p , [%]	100.00	95.28
Ускорение от использования сопроцессоров	2.20	2.16

1. Е. Н. Акимова, Распараллеливание алгоритма матричной прогонки, Матем. моделирование, 1994, том 6, номер 9, 61–67
2. Povitsky A. Parallelization of the pipelined Thomas algorithm. ICASE Report No. 98-48. Hampton. NASA Langley Research Center. 1998. 22 p.
3. Ильин С.А. Старченко А.В. Распараллеливание схемы покомпонентного расщепления для численного решения уравнения теплопроводности // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ' 2015): Труды международной научной конференции (Екатеринбург, 31 марта – 2 апреля 2015 г.). Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. С. 399-402.
4. Л. В. Логанова. Параллельный алгоритм метода циклических встречных прогонок для двумерной области // Вестник СГАУ. №2. Самара. 2008.

Реализован метод распараллеливания прогонки для решения множества трехточечных систем, основанный на методе Яненко и отличающийся от него применением параллельно-конвейерного метода распараллеливания встречной прогонки на этапе нахождения решений в гранично-процессорных точках с автоматическим подбором числа порций.

Выполнено двухуровневое распараллеливание (MPI + OpenMP), позволяющее эффективно решать множество трехточечных систем на гибридных ЭВМ с сопроцессорами Intel Xeon Phi.



РОСАТОМ



Благодарю за внимание!