

1. Наименования работы

Численное моделирование нестационарных течений в гидротурбине на многопроцессорных системах

2. Состав коллектива исполнителей

Черный С.Г.¹, Чирков Д.В.¹, Банников Д.В.², Скороспелов В.А.³, Турук П.А.³

¹ *Институт Вычислительных технологий СО РАН,*

² *Новосибирский государственный университет,*

³ *Институт математики СО РАН,*

3. Контактное лицо

Черный Сергей Григорьевич, cher@ict.nnsc.ru

4. Научное содержание работы

4.1-4.3. В [1] авторами предложены постановки и методы решения задач численного моделирования пространственных течений в турбомашинах. Наиболее общей является постановка прямой задачи гидродинамики турбин, в которой моделирование нестационарного течения проводится во всём проточном тракте. Нестационарная постановка позволяет моделировать весь диапазон режимов работы гидротурбин (ГТ), в том числе и режимы неполной загрузки, учитывать взаимодействие ротора и статора турбины, описывать пульсации сил и моментов на лопатках, моделировать прецессирующий вихревой жгут за ротором и т.д.

Для расчёта потока строится многосвязная блочно-структурированная сетка, покрывающая весь проточный тракт турбины. На каждой итерации расчёт проводится во всех блоках с последующим обменом данных между соседними блоками. Итерации повторяются до тех пор, пока не будет найдено решение на текущем временном слое, затем происходит переход на следующий шаг по времени. Нестационарная постановка требует значительных вычислительных ресурсов, а повышение точности расчетов за счёт увеличения количества ячеек сетки приводит к нехватке оперативной памяти персонального компьютера. Например, расчет периодически нестационарного течения с прецессирующим вихревым жгутом на одном периоде (около трех оборотов РК) с использованием сетки, содержащей 1 млн. узлов, требует двух дней работы процессора Core2Duo 2.6 ГГц.

В настоящей работе внимание уделяется вопросу сокращения времени счёта нестационарных задач при помощи кластерных ЭВМ. Распараллеливание счета осуществляется распределением блоков расчетной сетки на процессоры кластера. Коммуникации осуществляются с использованием стандарта MPI. Проведен сравнительный анализ различных способов разбиения расчетной области по процессорам. Приводятся результаты ускорения счета, полученные на различных кластерах, на примере расчета нестационарного течения в турбине ГЭС Платановрисси (Греция).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 08-01-00364)

4.4-4.6.

Расчёты течения жидкости проводились в областях направляющего аппарата (НА), рабочего колеса (РК), диффузора (ДФ) и отсасывающей трубы (ОТ), а так же совместные расчёты в прилегающих областях. Максимальное число используемых процессоров для НА равно числу блоков расчетной сетки в НА (числу лопаток НА); для РК равно числу блоков сетки в РК (числу лопастей РК); для ДФ равно числу блоков сетки в ДФ (4 блока); для ОТ равно 3 (3 блока расчетной сетки). В табл. 1 приведены размерности конечно-объемной сетки для элементов гидротурбины (ГТ).

Исследование ускорения счета проводилось на следующих многопроцессорных системах.

1. Кластер НГУ. 128 процессоров (64x2 Intel Xeon 2.6GHz Quad-core, 8Mb кэш, RAM 16Gb, сеть InfiniBand). Компилятор Intel Fortran 10.0.
2. Кластер ИВМиМГ НКС-160. 168 процессоров (84x2 Itanium 1.6Ghz, 3Mb кэш, RAM 4Gb, сеть InfiniBand). Компилятор Intel Fortran 10.0.
3. Кластер ИВТ. 6 процессоров (3x2 Intel Xeon 3GHz, 0.5Mb кэш, RAM 2Gb, Gigabit Ethernet). Компилятор Intel Fortran 9.0.
4. Персональный компьютер. 4 процессора (1x4 Intel Core 2 Quad 9400 2.66GHz, 6Mb кэш, RAM 3Gb, Gigabit Ethernet). Компилятор Intel Fortran 9.0.

Таблица 1. Размеры расчётных сеток в ГТ

	НА	РК	ДФ	ОГ	ГТ
Число блоков	20	16	4	3	43
Число ячеек в блоке	11 191	15 162	25 872	46 827 4 312	
Общее число ячеек во всех блоках	223 820	242 592	103 408	55 451	625 351

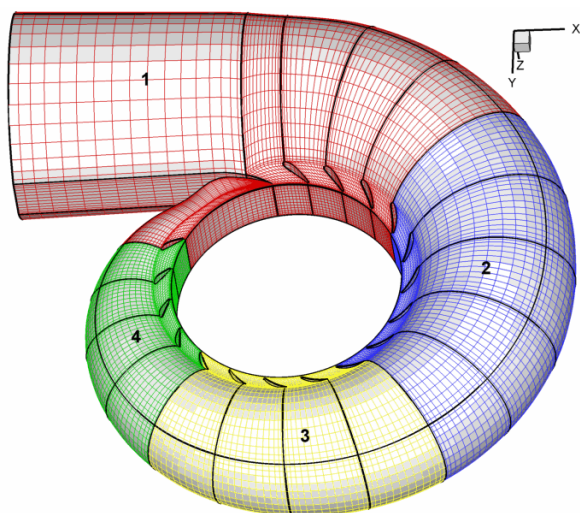


Рис. 1. Пример разбиения блоков в спиральной камере на 4 процессора.

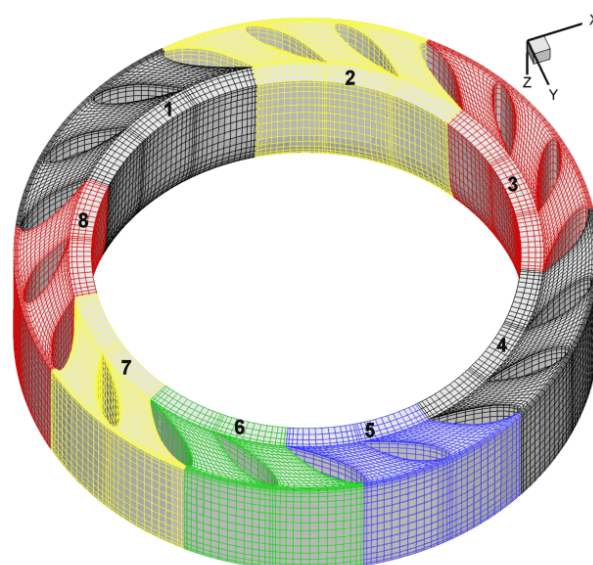


Рис. 2. Пример разбиения блоков в направляющем аппарате на 8 процессоров.

Расчёт стационарного потока в направляющем аппарате

Проведены расчёты стационарного течения в одном из элементов гидротурбины – направляющем аппарате (НА) на различном числе процессоров (1, 2, 4, 5, 10, 20). В табл. 2 представлены время счёта на различном числе процессоров, полученное ускорение счёта, а так же идеальное ускорение S^* . Из табл. 3 (для $N=1$) видно, что наибольшим быстродействием обладает процессор РК Intel Quad, затем кластер НГУ, ИВМиМГ, ИВТ. На кластере НГУ не имеет смысла решать данную задачу больше, чем на 10 процессорах; ИВМиМГ – 5; ИВТ – 2; РК – 4.

Таблица 2. Результаты ускорения счёта для направляющего аппарата на различных многопроцессорных системах

N	S*	НГУ		ИВМиМГ		ИВТ		PC Intel Quad	
		Время, с	S	Время, с	S	Время, с	S	Время, с	S
1	1	503	1	933	1	1164	1	480	1
2	2	306	1.64	480	1.94	708	1.64	255	1.88
3	3	210	2.4	383	2.44	874	1.33	195	2.46
4	4	123	4.08	342	2.73	612	1.90	150	3.20
5	5	116	4.3	260	3.59	514	2.26	-	-
10	10	80	6.3	192	4.86	-	-	-	-
20	20	52	9.7	-	-	-	-	-	-

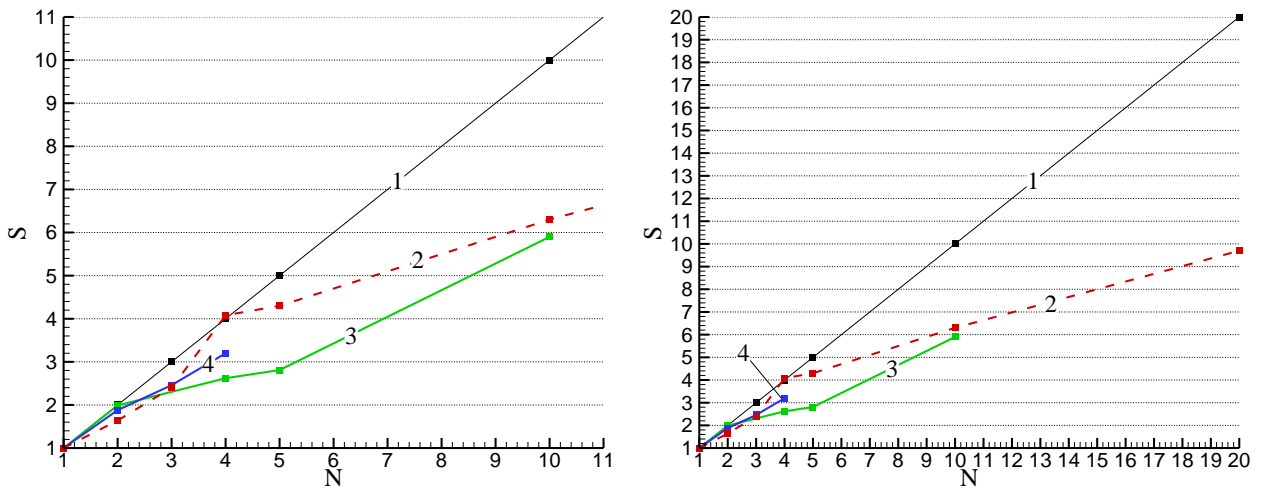


Рис. 3. Ускорение счёта: 1– идеальное; 2 – НГУ; 3– ИВМиМГ; 4 – PC Intel Quad.

Расчёт потока в направляющем аппарате и рабочем колесе

Проведены расчёты стационарного течения жидкости в области НА и РК на различном числе процессоров (1, 2, 3, 4, 9, 18, 36). Пусть доступно N процессоров, расчёт течения в НА ведётся на n_1 процессорах, в РК на n_2 , т.е.

$$N = n_1 + n_2.$$

Тогда на каждый процессор в НА и РК будет приходиться следующее число ячеек расчетной сетки

$$\frac{223\,820}{n_1}, \frac{242\,592}{n_2}.$$

Возьмём $n_1 = 2$, $n_2 = 2$, тогда число ячеек на 1 процессор, рассчитывающего течение в блоке НА или РК, будет

$$\frac{223\,820}{2} = 111\,910, \frac{242\,592}{2} = 121\,296.$$

В табл. 3 приведены примеры разбиения расчетных блоков по процессорам и число ячеек на каждый процессор. Для получения наибольшего ускорения, необходимо добиваться, чтобы на каждый счетный процессор приходилось одинаковое число ячеек сетки.

Таблица 3. Разбиение процессоров между НА и РК, число ячеек на каждый процессор

N	n_1	n_2	$\frac{223\ 820}{n_1}$	$\frac{242\ 592}{n_2}$
			n_1	n_2
2	1	1	223 820	242 592
4	2	2	111 910	121 296
8	4	4	55 955	60 648
9	5	4	44 764	60 648
18	10	8	22 380	30 324
36	20	16	11 191	15 162

Таблица 4. Результаты ускорения счёта для совместного расчета НА и РК на различных многопроцессорных системах

N	S^*	НГУ		ИВМиМГ		PC Intel Quad	
		Время, с	S	Время, с	S	Время, с	S
1	1	3812	1	2847	1	669	1
2	2	2015	1.89	-	-	316	2.12
3	3	-	-	-	-	302	2.22
4	4	1086	3.5	852	3.34	226	2.96
8	8	589	6.5	-	-	-	-
9	9	512	7.4	600	4.75	-	-
18	18	389	9.8	350	8.13	-	-
36	36	263	14.5	-	-	-	-

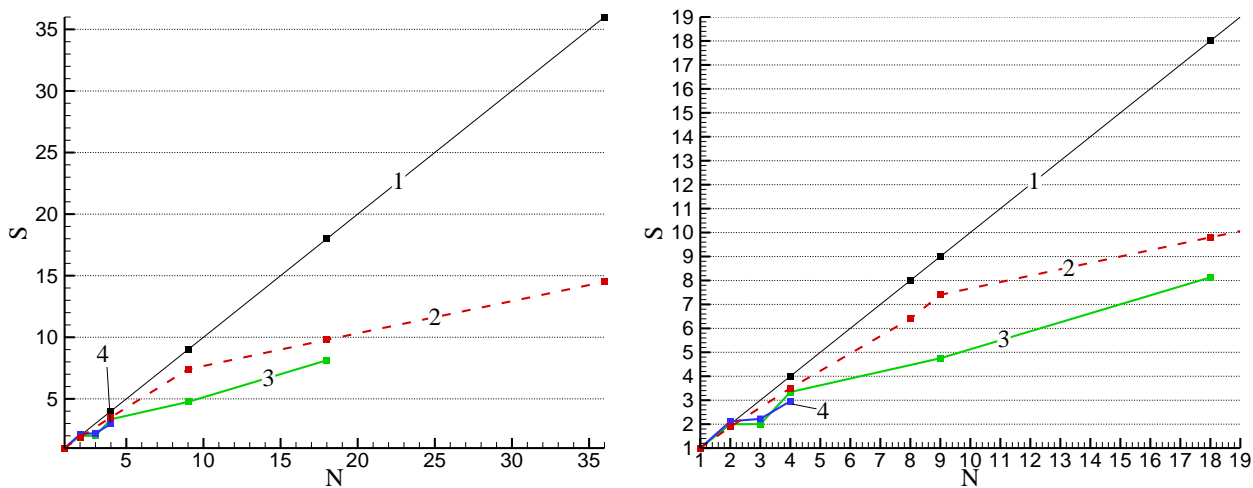


Рис. 4. Ускорение счёта: 1 - идеальное; 2 – НГУ; 3 - ИВМиМГ; 4 – PC Intel Quad.

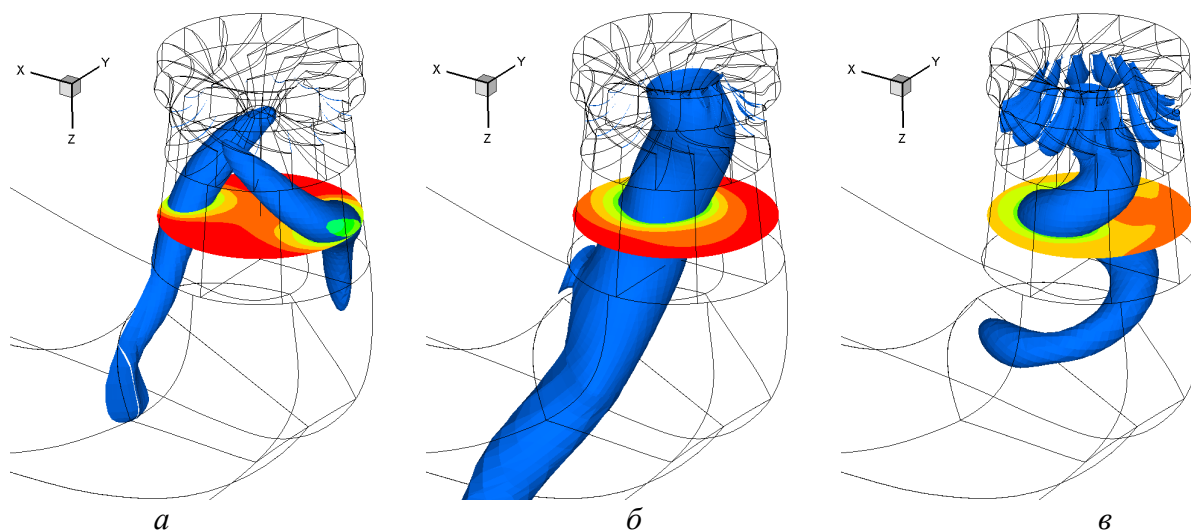


Рис.5. Вихревой жгут в конусе отсасывающей трубы СШГЭС на различных режимах работы гидротурбины. Настационарный расчет в полной постановке.

5. Перечень результатов, содержащих результаты работы

1. Лобарева И.Ф., Черный С.Г., Чирков Д.В., Скорospelов В.А., Турук П.А., Банников Д.В. Постановки задач и численные методы для моделирования пространственных нестационарных течений в гидротурбинах // Тез. докл. всероссийской конф. «Математика в приложениях», приуроченной к 80-летию академика С.К.Годунова (Россия, Новосибирск, 20-24 июля 2009 г.) – Новосибирск: Изд-во инс-т математики СО РАН. 2009. – С.174-175.
2. Черный С.Г., Чирков Д.В., Банников Д.В., Скорospelов В.А., Турук П.А. Численное моделирование нестационарных течений в гидротурбине на многопроцессорных системах // Тезисы докладов V Сибирской конференции по параллельным и высокопроизводительным вычислениям (Россия, Томск, 1-3 декабря, 2009 г.). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2009. – С. 50-51.

Список литературы

1. Черный С.Г., Чирков Д.В., Лапин В.Н., Скорospelов В.А., Шаров С.В. Численное моделирование течений в турбомашинах – Новосибирск: Наука. – 2006. – 202 с.