

Эффективное выполнение высокоточных численных расчетов на основе системы остаточных классов

*В.С. Князьков, А.В. Логинов, К.С. Исупов
Вятский государственный университет*

Вычислительный кластер ВятГУ



Вычислительный кластер: характеристики

- Пиковая производительность системы – **19 TFlops**
- Количество вычислительных узлов – **288**
- Общее количество вычислительных ядер – **2304**
- Количество выделенных управляющих узлов – **2**

Вычислительные узлы



Блейд-серверы - "половинной" высоты на платформе HP ProLiant BL460c G1

- **База** - 4-х ядерные процессоры Quad-Core Intel Xeon® 5345 EM64T (тактовая частота 2.33 ГГц, процессорный КЭШ - 8 Мб).
- **Оперативная память** - 2 GB
- **Дисковая память** - 2 дисковых накопителя типа - HP 10K SAS 2.5 Hot Plug Hard Drive с объемом одного дискового накопителя 36 GB.
- **Монтаж оборудования** вычислительных узлов и коммуникационных сетей выполнен в шести стандартных 19`` 42U шкафах

Технические особенности вычислительного узла

Емкость оперативной памяти на каждое вычислительное ядро узла	512 МВ
Количество сетевых адаптеров	2 + 1
Плотность монтажа - <i>поддержка до 16 блейд-серверов "половинной" высоты в корпусе HP BladeSystem c7000</i>	
Объем дисковой подсистемы <i>вычислительного узла</i>	памяти - 72 GB
Совместимость по системному программному обеспечению с Linux Kernel 2.4, 2.6 и выше.	

- **Построена с использованием технологии Infiniband** и обеспечивает коммуникации для 288 вычислительных узлов системы
- **Спроектирована на базе коммутаторов - HP BLc Bnt 1GbE2 Switch, HP BLc 4X DDR IB Switch**
- **Поддерживаются сетевые интерфейсы:**
 - 16 Internal 1Gb Downlinks,
 - 5 External 10/100/1000BASE-T Uplinks,
 - 2 Internal cross-connects,
 - 1 Management Console Port, 16 Internal 4X DDR downlinks, 8 external 4X DDR uplinks,
 - 1 Management Console Port.

Особенности программного обеспечения

Среда разработки:	MS Visual Studio 2008/2010 + Intel Parallel Studio 2011
Технология распределения вычислений:	OpenMP
Язык программирования:	MS Visual C++
Компилятор:	Intel C++, MS VC++
Библиотека для работы с длинными позиционными данными:	cBigNumber [10]
Параметры системы остаточных классов	
Число оснований:	8
Вид оснований:	Взаимно-простые числа
Разрядность оснований:	32 бита
Диапазон представления чисел, обеспечиваемый выбранными основаниями:	$[0; 2^{255}]$
Параметры исходных данных	
Размерность матриц:	от 100x100 до 1800x1800
Тип матриц:	плотные
Разрядность элементов матриц:	от 32 бит до 248 бит
Способ заполнения матриц:	заполнение средствами пакета cBigNumber, все элементы матриц инициализировались одинаковыми значениями. Разрядность элементов указывалась с точностью до 1 бита.
Среда выполнения	
Вычислительная система:	Высокопроизводительный программно-аппаратный комплекс Enigma000 Вятского государственного университета
Аппаратная платформа:	HP Hewlett-Packard Cluster Platform 3000 BL460c, Intel EM64T Xeon 5345, 2,3 ГГц, Infiniband
Размер памяти каждого вычислительного узла:	4 Гб
Количество ядер на узле:	8
Операционная система:	Windows Server 2008 HPC (Build 6001: Service Pack 1)

Аспекты вычислений над многоразрядными числами в системе остаточных классов

Таблица 1 –Представление десятичных чисел от 0 до 29 в СОК

Значение модулей												
	5	3	2		5	3	2		5	3	2	
0	0	0	0	10	0	1	0	20	0	2	0	
1	1	1	1	11	1	2	1	21	1	0	1	
2	2	2	0	12	2	0	0	22	2	1	0	
3	3	0	1	13	3	1	1	23	3	2	1	
4	4	1	0	14	4	2	0	24	4	0	0	
5	0	2	1	15	0	0	1	25	0	1	1	
6	1	0	0	16	1	1	0	26	1	2	0	
7	2	1	1	17	2	2	1	27	2	0	1	
8	3	2	0	18	3	0	0	28	3	1	0	
9	4	0	1	19	4	1	1	29	4	2	1	

Аспекты вычислений над многоразрядными числами в системе остаточных классов

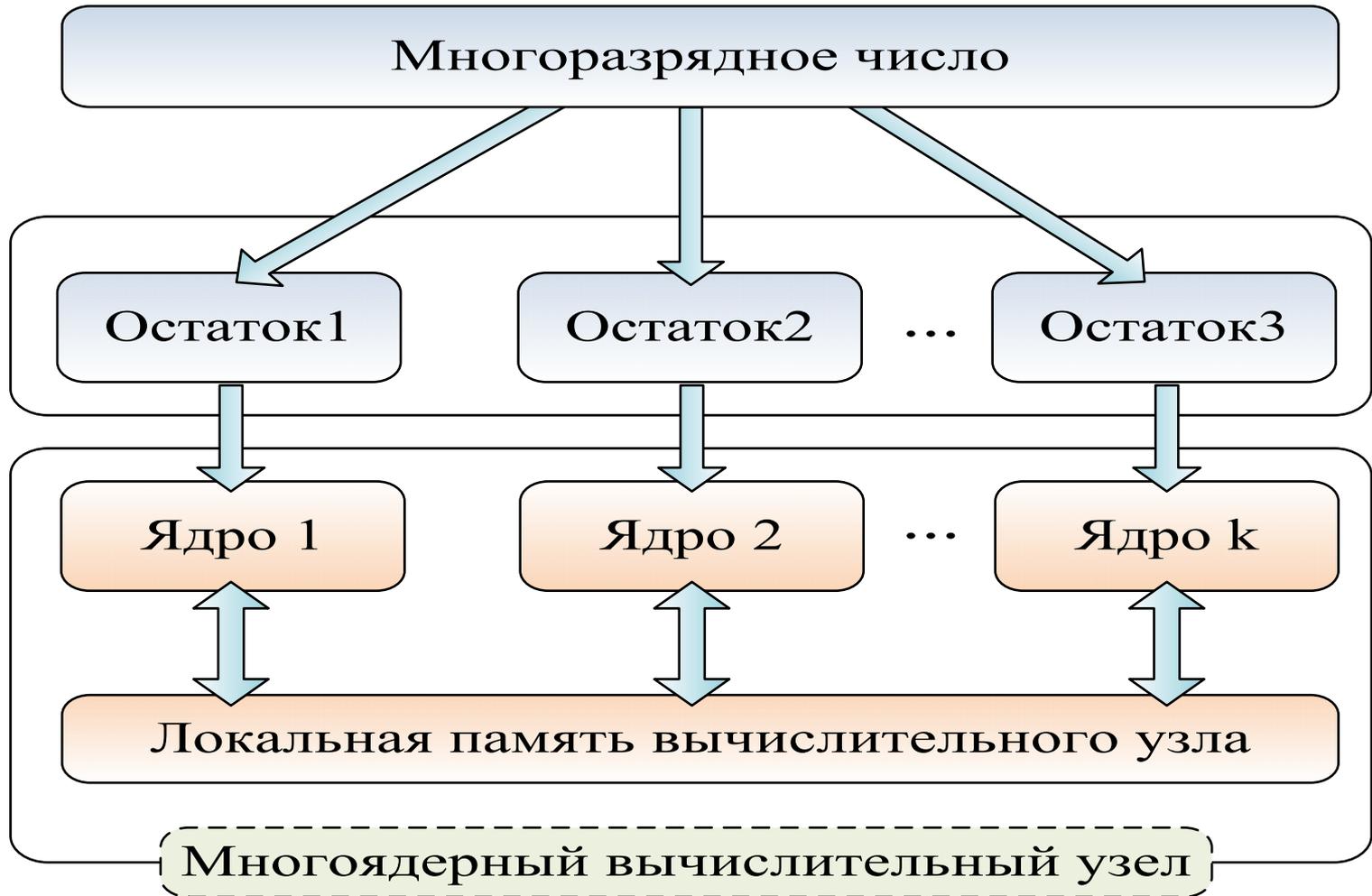
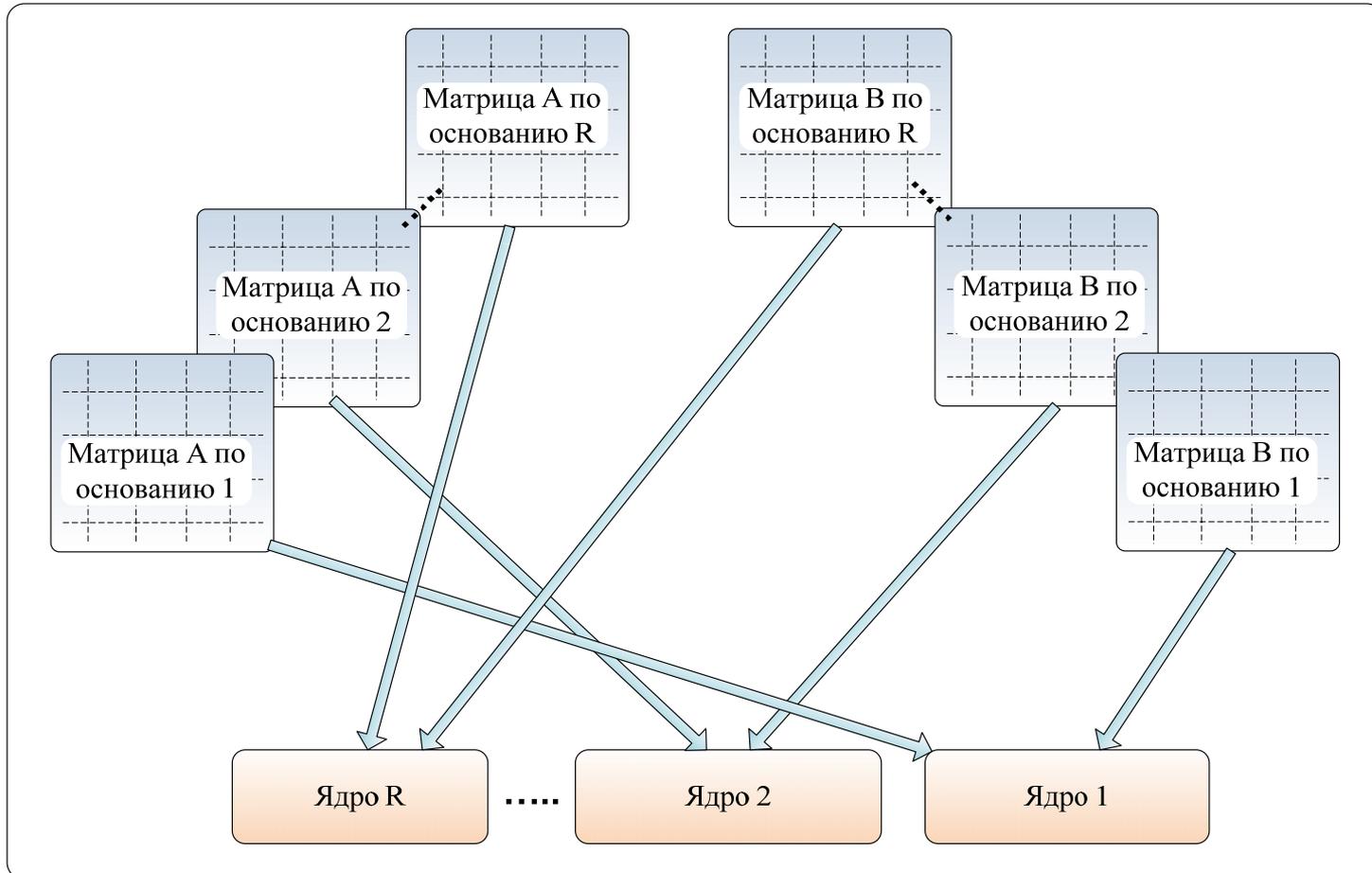
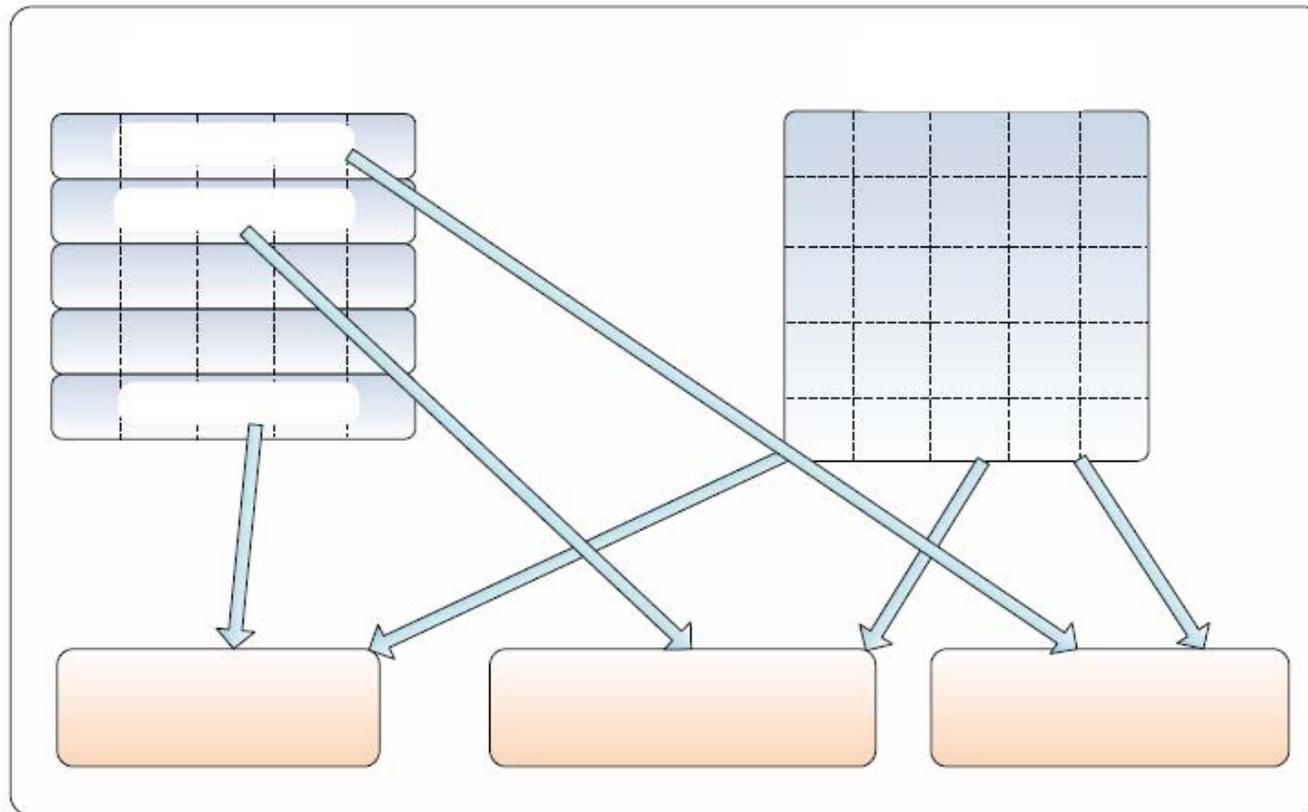


Схема распределения массивов в СОК



Типичное ленточное разбиение



Система оснований:

$$4294967295 = 2^{32} - 1$$

$$4294967294 = 2^{32} - 2$$

$$4294967293 = 2^{32} - 3$$

$$4294967291 = 2^{32} - 5$$

$$4294967287 = 2^{32} - 9$$

$$4294967281 = 2^{32} - 15$$

$$4294967279 = 2^{32} - 17$$

$$4294967273 = 2^{32} - 23$$

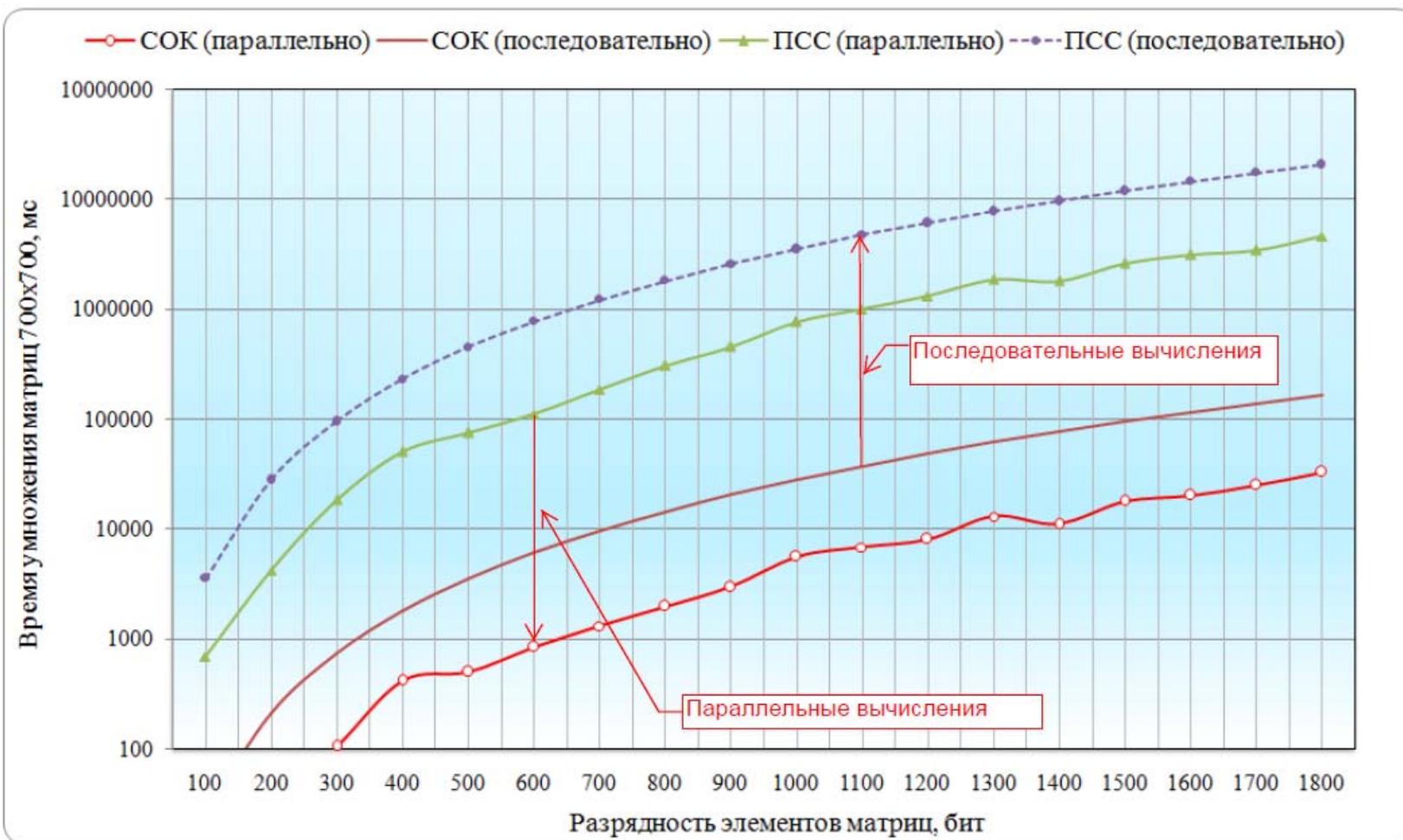
Диапазон представления соответственно равен:

$$2^{256} - 75$$

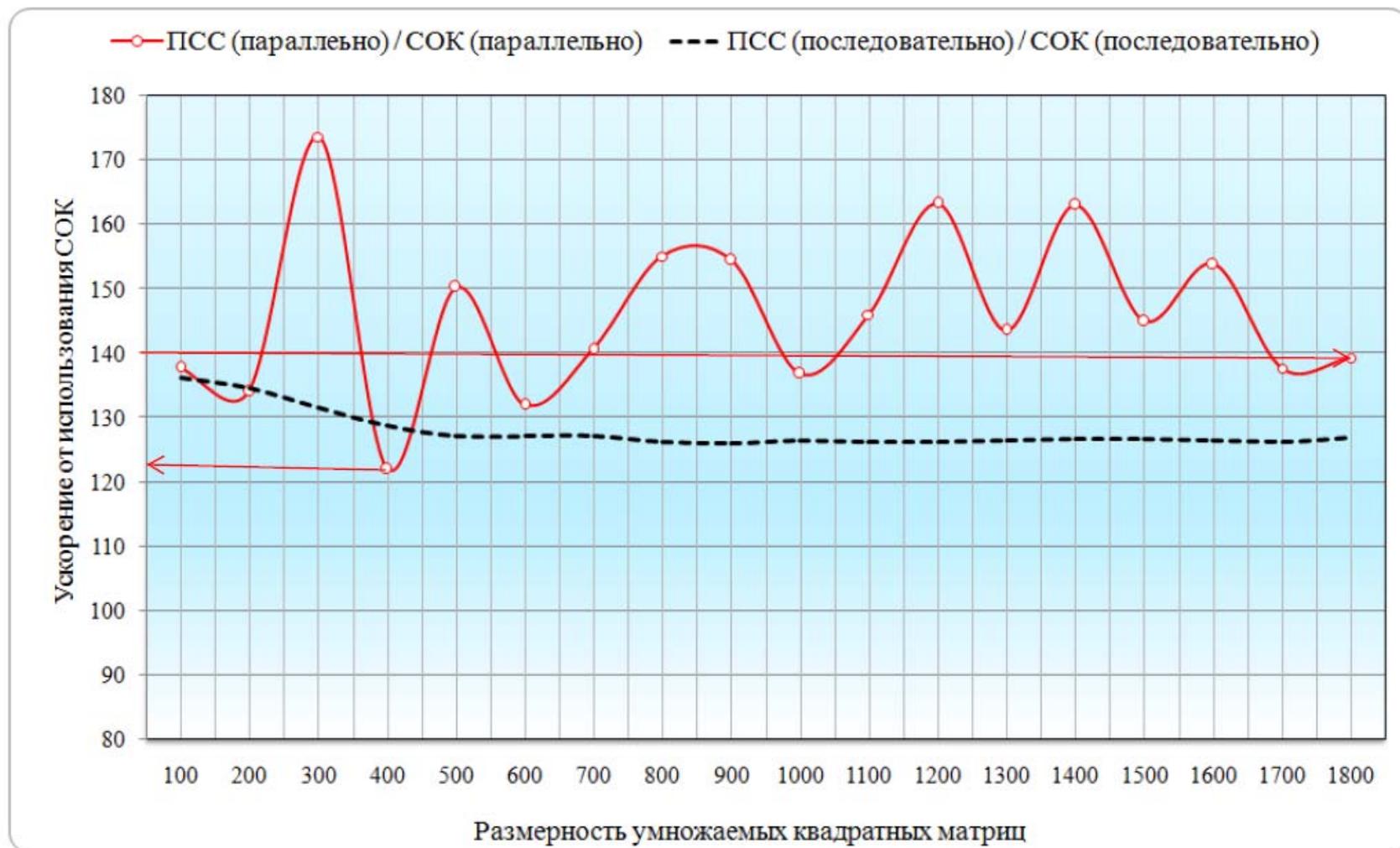
Результаты экспериментов

Разрядность чисел 248 бит, размер матриц изменяется от 100x100 до 1600x1600								Ускорение		
Длина числа (ПСС)	Инициализация	Перевод в СОК	СОК	СОК	ПСС	ПСС	Размерность матрицы	ПСС без	ПСС с OpenMP/	
			с OpenMP	без OpenMP	с OpenMP	без OpenMP		СОК без OpenMP	СОК с OpenMP	
248	9	596	5	26	689	3541	100	136,2	137,8	
248	39	2387	31	209	4159	28145	200	134,7	134,2	
248	87	5642	105	725	18230	95423	300	131,6	173,6	
248	227	9548	415	1774	50651	228491	400	128,8	122,1	
248	296	14945	499	3494	74990	444724	500	127,3	150,3	
248	372	21513	833	6045	110000	768962	600	127,2	132,1	
248	421	29172	1311	9578	184424	1218126	700	127,2	140,7	
248	765	38111	1981	14306	307302	1805560	800	126,2	155,1	
248	865	48420	2958	20395	456857	2569126	900	126,0	154,4	
248	976	59534	5609	27914	767909	3530458	1000	126,5	136,9	
248	1077	72290	6786	37221	991302	4697285	1100	126,2	146,1	
248	2106	86190	8034	48157	1311616	6085872	1200	126,4	163,3	
248	2334	101252	12961	61530	1860537	7788201	1300	126,6	143,5	
248	2590	116875	11045	76503	1800693	9690096	1400	126,7	163,0	
248	2761	134191	17846	94161	2586836	11930100	1500	126,7	145,0	
248	3016	153989	20254	114174	3116537	14450096	1600	126,6	153,9	
248	3015	173349	24811	137281	3415754	17348307	1700	126,4	137,7	
248	3370	195156	32916	162537	4585192	20617147	1800	126,8	139,3	

Результаты экспериментов



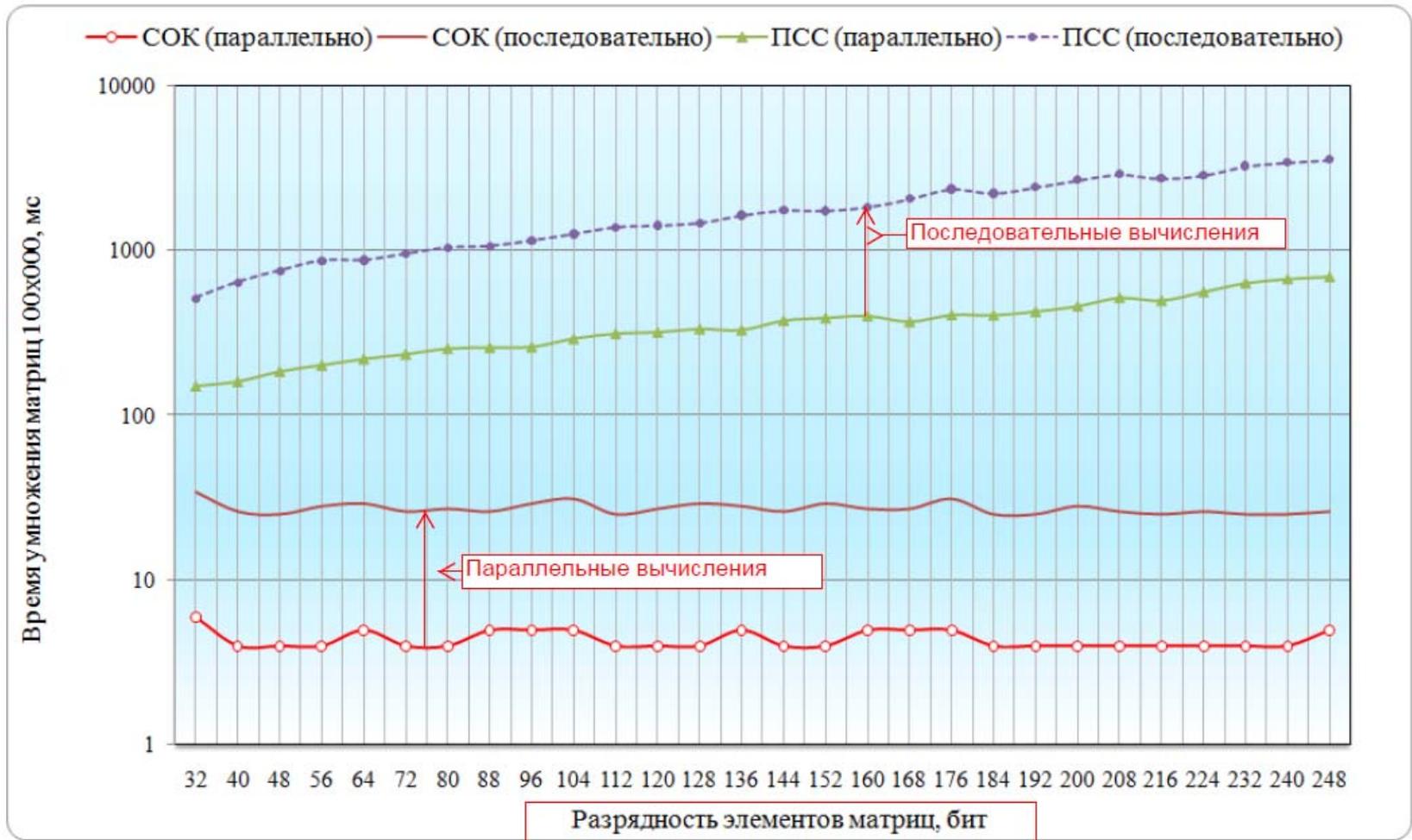
Результаты экспериментов



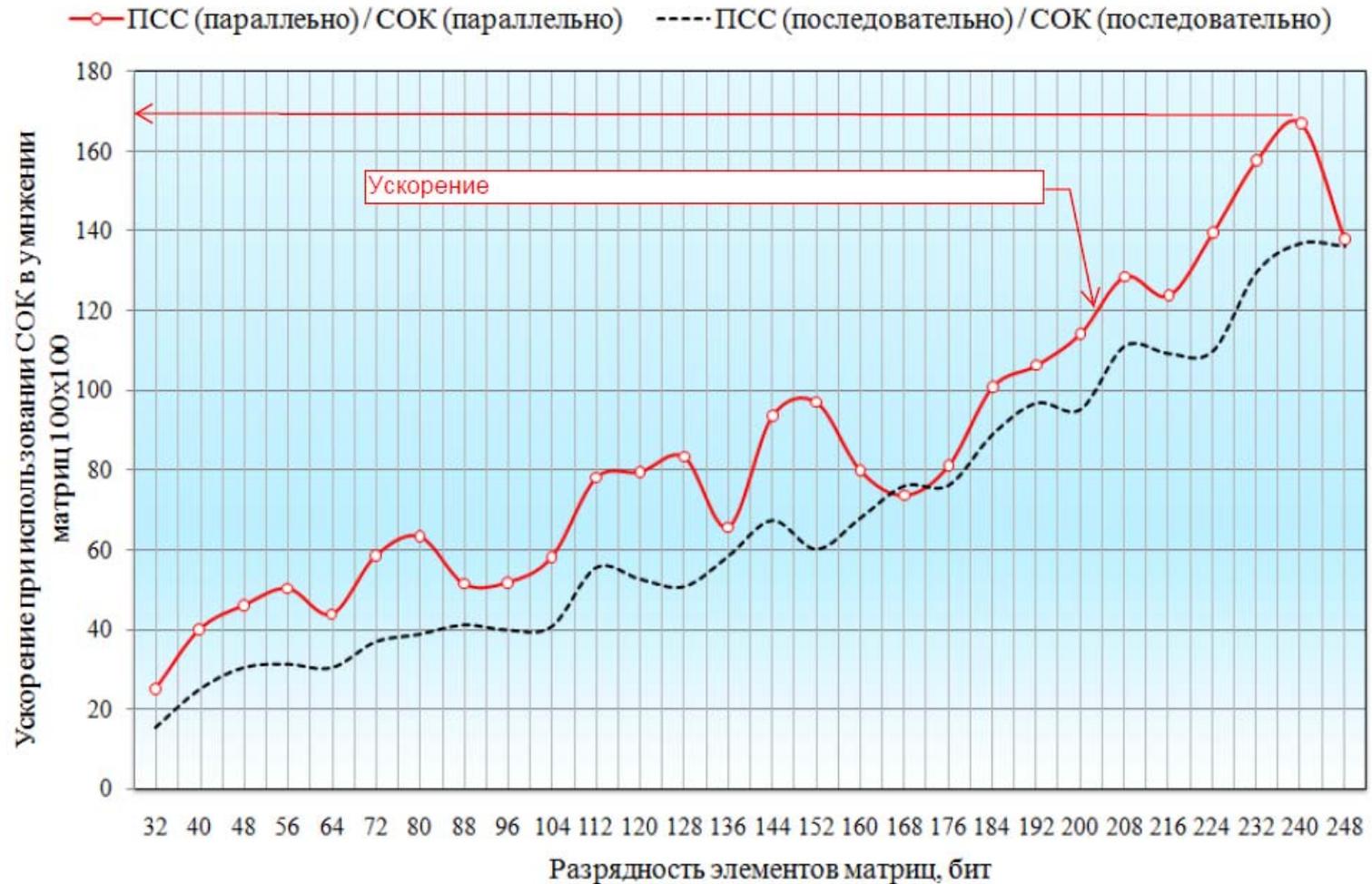
Результаты экспериментов

Разрядность чисел изменяется от 32 бит до 248 бит, размер матриц - 100x100									Ускорение	
Длина числа (ПСС)	Инициализация	Перевод в СОК	СОК		ПСС		Размерность матрицы	ПСС без OpenMP/ СОК без OpenMP		ПСС с OpenMP/ СОК с OpenMP
			с OpenMP	без OpenMP	с OpenMP	без OpenMP				
32	12	144	6	34	150	516	100	15,2	25,0	
40	10	131	4	26	160	645	100	24,8	40,0	
48	9	139	4	25	184	756	100	30,2	46,0	
56	10	145	4	28	201	871	100	31,1	50,3	
64	9	227	5	29	219	876	100	30,2	43,8	
72	10	239	4	26	234	956	100	36,8	58,5	
80	9	251	4	27	253	1043	100	38,6	63,3	
88	9	271	5	26	257	1066	100	41,0	51,4	
96	10	246	5	29	259	1150	100	39,7	51,8	
104	8	259	5	31	291	1259	100	40,6	58,2	
112	9	271	4	25	312	1385	100	55,4	78,0	
120	9	282	4	27	318	1417	100	52,5	79,5	
128	9	323	4	29	333	1468	100	50,6	83,3	
136	9	333	5	28	328	1631	100	58,3	65,6	
144	10	347	4	26	374	1749	100	67,3	93,5	
152	9	354	4	29	388	1740	100	60,0	97,0	
160	9	396	5	27	399	1832	100	67,9	79,8	
168	9	409	5	27	368	2051	100	76,0	73,6	
176	9	420	5	31	405	2358	100	76,1	81,0	
184	9	435	4	25	403	2222	100	88,9	100,8	
192	9	486	4	25	425	2420	100	96,8	106,3	
200	9	501	4	28	457	2666	100	95,2	114,3	
208	9	513	4	26	514	2889	100	111,1	128,5	
216	9	527	4	25	495	2730	100	109,2	123,8	
224	9	564	4	26	558	2856	100	109,8	139,5	
232	9	576	4	25	631	3245	100	129,8	157,8	
240	9	589	4	25	668	3424	100	137,0	167,0	
248	9	596	5	26	689	3541	100	136,2	137,8	

Результаты экспериментов



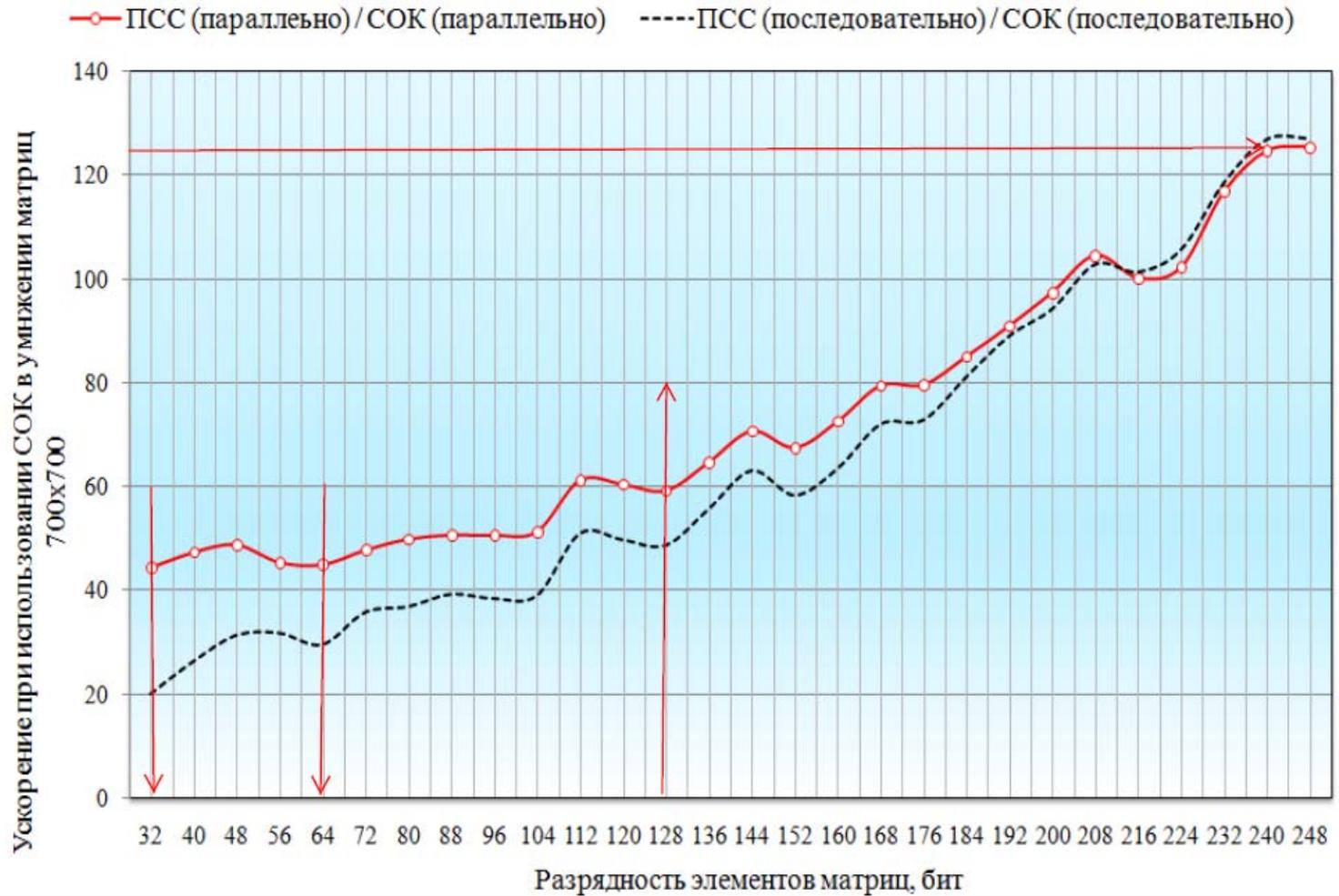
Результаты экспериментов



Результаты экспериментов

Разрядность чисел изменяется от 32 бит до 248 бит, размер матриц - 700x700								Ускорение		
Длина числа (ПСС)	Инициализация	Перевод в СОК	СОК с	СОК без	ПСС с	ПСС без	Размерность матрицы	ПСС без	ПСС с OpenMP/	
			OpenMP	OpenMP	OpenMP	OpenMP		СОК без OpenMP	СОК с OpenMP	
32	452	6100	1388	10452	61651	210179	700	20,1	44,4	
40	452	6521	1310	9594	62073	253126	700	26,4	47,4	
48	436	6864	1295	9344	63274	293654	700	31,4	48,9	
56	452	7285	1404	10436	63851	332358	700	31,8	45,5	
64	437	11013	1389	10405	62525	308085	700	29,6	45,0	
72	437	11747	1295	9376	61932	336195	700	35,9	47,8	
80	437	12324	1326	9921	66207	366460	700	36,9	49,9	
88	437	13104	1326	9484	67268	372934	700	39,3	50,7	
96	436	12090	1404	10452	71152	402199	700	38,5	50,7	
104	436	12652	1482	11201	76175	437939	700	39,1	51,4	
112	437	13322	1311	9376	80309	478655	700	51,1	61,3	
120	422	13806	1326	9828	80169	489388	700	49,8	60,5	
128	436	15803	1404	10499	83226	512008	700	48,8	59,3	
136	437	16317	1358	10234	87906	571116	700	55,8	64,7	
144	421	16848	1326	9719	93787	613876	700	63,2	70,7	
152	422	17284	1389	10437	93787	609492	700	58,4	67,5	
160	421	19422	1326	9968	96268	633812	700	63,6	72,6	
168	421	20046	1326	9828	105362	708599	700	72,1	79,5	
176	421	20592	1467	11185	116828	815677	700	72,9	79,6	
184	422	21372	1310	9391	111447	763277	700	81,3	85,1	
192	437	23665	1310	9407	119184	838500	700	89,1	91,0	
200	421	24399	1326	9859	129215	930275	700	94,4	97,4	
208	437	25053	1326	9766	138637	1005436	700	103,0	104,6	
216	422	25724	1326	9344	132803	947575	700	101,4	100,2	
224	421	27550	1341	9360	137187	990194	700	105,8	102,3	
232	421	28252	1294	9344	151242	1109518	700	118,7	116,9	
240	421	28954	1295	9391	161429	1193072	700	127,0	124,7	
248	421	29172	1311	9578	164424	1218126	700	127,2	125,4	

Результаты экспериментов



Спасибо Вам за внимание.