

УДК 681.32

С.М.Толстых

## ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ В МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

*Воронежский институт высоких технологий*

*В статье обсуждаются пути повышения производительности современных вычислительных систем. Этого можно достичь за счет применения многопроцессорной архитектуры, а также вследствие привлечения гетерогенных платформ на базе специализированных вычислительных модулей. Вследствие того, что есть конечная скорость в передаче информации среди элементов вычислительных машин, можно прийти к пределу производительности в вычислениях. Указаны две базовые модели вычислений, которые применяют в существующих условиях: модель вычислителя и модель коллектива вычислителей. С точки зрения типов процессоров можно сделать разделение многопроцессорных систем на однородные и неоднородные, одноуровневые и иерархические. Дана классификация одноуровневых многопроцессорных систем с точки зрения типа связи процессоров с оперативной памятью данных. В качестве достоинства многопроцессорной системы, которая имеет общую память данных, можно отметить то, что эту память используют лишь для того, чтобы реализовывать межпроцессорный обмен.*

**Ключевые слова:** процессор, производительность, параллельные вычисления, обработка данных.

Задачи формирования современных высокопроизводительных вычислительных комплексов на основе компьютерных систем являются весьма важными, поскольку происходит непрерывное увеличение объемов обрабатываемой информации, объемов исполняемых вычислений и разработок, использующих большие массивы данных [1-3]. При этом те высокопроизводительные вычислительные машины, которые используют сейчас, характеризуются ограниченным доступом в связи с тем, что их применяют для того, чтобы осуществлять приоритетные фундаментальные исследования и проводить решения по важным научно-техническим задачам, которые имеют большое прикладное значение. В этой связи в существующих условиях весьма интенсивным образом происходят исследования и идет развитие методов, связанных с повышением производительности по вычислительным компьютерным системам, применяемым массовым образом [4-6].

Для того, чтобы увеличить эффективность компьютерных вычислений довольно часто применяют многопроцессорную архитектуру. Но, как показывает практика существенный рост производительности многопроцессорных вычислений вследствие того, что происходит дальнейшее увеличение процессоров заметным образом не растет, когда их количество превышает определенный предел. Но при этом в современных компьютерных системах помимо центрального процессора, могут входить в состав специализированные вычислительные модули [7-

10]. Исходя из этого для того, чтобы решать задачи, связанные с повышением производительности компьютерных систем, можно рассматривать возможности по распараллеливанию программ для почти произвольного количества вычислений с привлечением гетерогенных платформ на базе специализированных вычислительных модулей.

В качестве существенного ограничения для повышения производительности вычислений на основе использования специализированных процессоров можно отметить то, что существует аппаратная поддержка чисел с плавающей точкой при разрядности не больше 32 бит. Для последних моделей специализированных процессоров и для профессиональных видеокарт есть возможности аппаратной поддержки чисел, имеющих большую разрядность, но для количественной оценки увеличения производительности вычислений на основе такого подхода требуется проведение дополнительных исследований.

Осуществлять увеличение эффективности в вычислительных компьютерных системах необходимо исходя из того, как организован процесс решения задач [11-13]. Для общего случая задачи представляют на основе параллельных программ и их описывают совокупностью параметров, среди которых: число ветвей, ранг требуемой подсистемы, время, требуемое для осуществления решения и др. Режимы работы в высокопроизводительных вычислительных системах формируются на основе мультипрограммного метода или для определенных вычислительных компьютерных систем частичным образом применяют вычислительные модули, что несколько увеличивает производительность вычислений, но этого оказывается недостаточно для решения некоторых практических задач [14-15].

Исходя из вышесказанного, можно обозначить задачу, связанную с разработкой методов увеличения производительности компьютерных систем на базе модели архитектуры, в которой используются дополнительные вычислительные производительные модули или используются однородные модули на графических процессорах.

В качестве основной задачи увеличения производительности подобной вычислительной системы можно считать поиск решения проблем принятия решений по использованию операций вычислений на специализированных вычислительных модулях и кэширования данных, что определяет необходимость разработок и исследований по соответствующим алгоритмам.

Исходя из того, что существуют высокие требования к надежности и производительности в вычислительных средствах в качестве определяющего фактора рассматривают требование, связанное с низкой стоимостью вычислительных систем. Это требование можно считать как одно из основных при формировании компонентов массовой

вычислительной техники, в качестве примеров которой можно назвать микропроцессоры и микроЭВМ [16].

Микропроцессорные средства появились как результат развития технологий и совершенствования характеристик вычислительной техники [16]. Когда строят современные микропроцессорные системы применяют, большей частью, такие принципы: использование микропрограммного управления, использование модульности построения, применение магистрального обмена информацией, применение наращиваемости вычислительной мощности [16].

Среди достаточно важных характеристик в вычислительной системе отмечают ее быстродействие, которое определяется в виде временной задержки выходных данных относительно входных, другими словами, говорят о промежутке времени между вводом информации, которая необходима для того, чтобы решать задачу, и выдачей результата [16].

Вследствие того, что есть конечная скорость в передаче информации среди элементов вычислительной машины, можно прийти к пределу производительности в вычислениях.

Существование теоретического предела производительности связано с тем, какая модель вычислений, которая используется в основе построения средств вычислительной техники. Можно отметить [17] две базовые модели вычислений, которые применяют в существующих условиях: модель вычислителя и модель коллектива вычислителей.

*Модель вычислителя* применяли при разработках ЭВМ, относящимся к первым трем поколениям, а также при формировании простейших однопроцессорных ЭВМ, используемых в настоящее время. К существенному недостатку этой модели относят существование теоретического предела по производительности вычислений. Это связывают, в основном с тем, что происходит последовательное выполнение операций, а также с тем, что существует ограниченная скорость по передаче информации среди элементов систем.

*Модель коллектива вычислителей предложили с целью формирования* вычислительных систем с высокой производительностью, и

Имеет принципиальные отличия от модели вычислителя, поскольку в ней подразумевается, что коллектив вычислителей выполняет единую сложную задачу, при этом задачи представляют как совокупность связанных между собой компонентов.

То, что каждая задача выполняется, связывают с одним из указанных в модели вычислителей. В качестве основных принципов построения модели коллектива вычислителей можно отметить такие.

Вычислительные средства, сформированные на базе модели коллектива вычислителей, рассматривают как универсальные и они дают возможности для решения сложных задач. На баз подобной модели

происходит построение современных персональных ЭВМ, а также высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем [18].

Многопроцессорными вычислительными системами называются системы, которые содержат несколько процессоров, которые работают на общем пространстве по обрабатываемым данным, и управляемые при помощи одной общей операционной системы [18].

В качестве разновидности многопроцессорных систем можно назвать мультипроцессорную систему [18], в которой активными являются одновременно образом несколько процессоров. В то время, когда процессорами происходит обработка данных, они функционируют независимым образом друг от друга. Но для определенных моментов времени, обусловленных алгоритмом вычисления, должна быть синхронизация процессорами своих действий [18].

С точки зрения типов процессоров можно сделать разделение многопроцессорных систем на однородные и неоднородные: в однородных содержатся однотипные процессоры, в неоднородных есть различные специализированные процессоры [19]. В качестве примера можно привести систему, содержащую центральный процессор, а также процессор ввода-вывода [19]. Специализированным процессором выполняются операции, относящиеся к строго определенному классу, исходя из этого задачу распараллеливания для неоднородных систем обычно сводят к тому, что распределяют операции среди процессоров исходя из того, какие у них классы. Для однородных систем любую операцию можно выполнить на любом из действующих процессоров, в этой связи задача распараллеливания для однородных системах является достаточно трудоемкой.

С точки зрения количества уровней можно поделить многопроцессорные системы по одноуровневым и иерархическим (многоуровневым). Для первого случая процессорами системы образуется один общий уровень обработки данных, для второго в системе содержатся отдельные процессоры, чтобы выполнять различные уровни обработки информации. Как правило менее мощным процессором выполняется ввод-вывод информации с различных терминалов и ее предварительная обработка.

Можно сделать классификацию одноуровневых многопроцессорных систем с точки зрения *типа связи процессоров с оперативной памятью данных*. Исходя из такой классификации системы можно подразделить по трем типам [19]:

1. Имеющих общую (равнодоступную) память данных.
2. Имеющих индивидуальную (раздельную) память данных.

3. Имеющих индивидуальную основную и общую вспомогательную оперативную память данных.

Достаточно распространенным представителем многопроцессорных систем, имеющих общую модульную оперативную память данных, можно считать общую магистральную архитектуру [20].

Существует отличие в магистральной многопроцессорной системе, заключающееся в том, что идет подключение нескольких процессоров к одной магистрали, посредством которой поддерживается связь между любыми процессорами. Осуществление организации межпроцессорных связей на базе общей магистрали представляет собой один из достаточно распространенных способов формирования многопроцессорных систем. Указанную систему можно рассматривать как наиболее простую, дешевую и легко наращиваемую. Исходя из указанной структуры, происходит построение универсальных микроЭВМ, например, компьютеров типа IBM PC [20].

Одновременным образом через общую магистраль происходит передача информации между двумя устройствами, другими словами магистраль используют подключенными к ней устройствами для режима разделения времени. В результате возникают конфликты, при них мы видим, как несколько устройств одновременно претендуют на то, чтобы занять магистраль, это определяет простой оборудования и производительность систем уменьшается. В этой связи при проведении анализа и проектирования таких систем необходимо принимать во внимание затраты времени, связанные с ожиданием процессорами освобождения магистралей.

Многопроцессорные системы с индивидуальной (раздельной) памятью данных являются эффективными для того, чтобы решать класс задач, в которых существуют четким образом разделимые подмножества данных, которые размещают в соответствующих модулях памяти.

От каждого процессора идет обращение к своему модулю оперативной памяти. Но при этом может быть редкий обмен данными среди процессоров, он обычно строится на базе последовательных каналов передачи данных. Исходя из этого проведение учета затрат времени для межпроцессорного обмена осуществляется на базе объема передаваемых данных.

В качестве частного случая такого класса систем можно привести многопроцессорную систему, имеющую матричную структуру

Для матричной многопроцессорной системы происходит организация каналов связи с точки зрения принципа близкодействия: жесткими связями характеризуются лишь соседние процессоры, а для отдаленных процессоров каналов связи их нет. Проведение обмена информации среди них возможно лишь на основе цепочки процессоров.

Указанная структура является характерной для ЭВМ, которые построены на базе транспьютеров [21]. Для того, чтобы организовать связь с другими транспьютерами, у каждого из транспьютеров есть несколько последовательных двунаправленных каналов связи (линки). Вследствие того, что есть прямой доступ к памяти, проведение обмена данными по каналам связи мы можем проводить одновременным образом с функционированием других устройств транспьютера. В современных сигнальных процессорах, которые предназначены для того, чтобы реализовывать цифровую обработку сигналов, например ADSP21060 фирмы Analog Devices есть линки, для того, чтобы объединять их в матричные схемы [22].

Многопроцессорная система, имеющая индивидуальную основную и общую вспомогательную оперативную память данных, будет эффективна для многопрограммной работы при коллективном использовании большого архива базовых данных.

В качестве достоинства многопроцессорной системы, имеющей с общую памятью данных, можно отметить то, что общую память используют лишь для того, чтобы реализовывать межпроцессорный обмен. Исходя из этого, число обращений к общей памяти небольшое, мы практически исключаем конфликты. Поэтому при проведении анализа и проектирования таких систем мы можем пренебрегать затратами времени для межпроцессорного обмена.

В существующих условиях есть стандартная классификация по вычислительным системам *по типу макроархитектур*, она была предложена Флинном и базируется на соотношениях потоков команд, которые выполняются системой, и потоков данных, с которыми происходит работа потоков команд, которые выполняются системой, и потоков данных, с которыми происходит работа потоков команд [20].

Исследователи отмечают четыре типа макроархитектур.

SISD (Single Instruction Single Data Stream) – в этой архитектуре происходит обработка одного потока данных одним потоком команд, другими словами, реализуют обычную последовательную обработку. Указанная архитектура является характерной для однопроцессорных универсальных микроЭВМ, которые не имеют ограничений по классам решаемых задач.

MISD (Multiply Instruction Single Data Stream) – в этой архитектуре несколькими потоками команд обрабатывается один поток данных. Данный тип связан с магистральной архитектурой, которая обеспечивает повышенную производительность в задачах, в которых алгоритмы могут быть распараллелены. Также, к данному виду макроархитектуры относят вычислительные системы с конвейерным типом [19].

SIMD (Single Instruction Multiply Data Stream) - является архитектурой, в которой одним потоком команд идет обработка нескольких потоков данных. К такому типу архитектуры относят матричные и ассоциативные системы из микроЭВМ, в таких системах процессорами выполняется одновременно одна и та же команда, но над разными операндами, которые процессор достает из памяти при помощи нескольких потоков данных.

MIMD (Multiply Instruction Multiply Data Stream) – является архитектурой, в которой эффект параллелизма в МПС достигают на основе исполнения независимых частей задач над разными наборами данных по нескольким микроЭВМ и происходит объединение результатов в ходе решения. К такому типу относят мультипроцессорную архитектуру.

Выводы. В работе рассмотрены возможности повышения быстродействия вычислений за счет использования соответствующих компьютерных архитектур. Рекомендуется применять многопроцессорные системы с индивидуальной (раздельной) памятью данных для того, чтобы решать класс задач, в которых существуют четким образом разделимые подмножества данных, которые размещают в соответствующих модулях памяти.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Львович И.Я. Исследование применения параллельных вычислений при оценке характеристик рассеяния объектов сложной формы / И.Я.Львович, А.П.Преображенский, Р.С.Чекмарёв // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2014. Т. 4. № 4. С. 316-320.
2. Lvovich I.Ya. The analysis of scattering electromagnetic waves with use of paraller computing / I.Ya.Lvovich, A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov, K.V.Kaydakova // В сборнике: 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings 2015. С. 7147133.
3. Лавлинская О.Ю. Технологии облачных вычислений и их применение в решении практических задач / О.Ю.Лавлинская, Т.М.Янкис // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 1 (16). С. 33-36.
4. Данилова А.В. Методы измерения нагрузки сети / А.В. Данилова, А.Г.Юрочкин, О.В. Шадымова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2 (17). С. 73-76.
5. Вялова Е.П. Адаптивный алгоритм маршрутизации в компьютерной сети / Е.П.Вялова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2 (17). С. 97-100.

6. Preobrazhensky A.P. The models of information transmission in computer networks / A.P.Preobrazhensky // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2 (17). С. 91-93.
7. Преображенский А.П. О применении комбинированных подходов для оценки характеристик рассеяния объектов / А.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 69-70.
8. Преображенский А.П. Особенности использования САПР при проектировании беспроводных сетей связи / А.П.Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2014. № 4 (7). С. 15.
9. Lvovich I.Ya. The solution of problems of scattering electromagnetic waves for complex objects based on parallel computing / I.Ya.Lvovich, A.P.Preobrazhensky, O.N.Choporov // Наука и человечество. 2014. № 5. С. 9-13.
10. Преображенский А.П. О процессах оптимизации в мобильных системах связи / А.П.Преображенский, Е.И.Коденцев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2013. № 3. С. 6.
11. Преображенский А.П. Исследование возможностей построения алгоритма оценки загрузки компьютерной сети / А.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2015. № 14. С. 119-120.
12. Львович И.Я. Моделирование компьютерных сетей на основе графовых моделей / И.Я.Львович, А.П.Преображенский, Р.С.Чекмарев, О.Н.Чопоров // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2015. Т. 5. № 3. С. 310-312.
13. Преображенский А.П. О возможностях ускорения вычислений при решении задач / А.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 67-68.
14. Часовской А.А. Оценка перспектив внедрения облачных вычислений на предприятиях и в государственном секторе на примере ФРГ // А.А.Часовской, Е.В.Алференко // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 1 (16). С. 94-97.
15. Данилова А.В. Разработка локальной компьютерной сети предприятия / А.В. Данилова, А.Г.Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2 (17). С. 66-69.
16. Уильямс Э. Параллельное программирование на C++ в действии: практика разработки многопоточных программ / Э. Уильямс [пер. с англ. Слинкин А. А.]. // Москва: ДМК Пресс, 2012. 671 с.
17. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления: Учеб.



- пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 510200 "Прикладная математика и информатика" / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. // Науч. изд. - СПб. : БХВ-Петербург, 2002. 599 с.
18. Афанасьев К.Е. Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование. Учеб. пособие : Учеб.-метод. пособие / К.Е. Афанасьев, С.В. Стуколов., А.В.Демидов, В.В.Малышенко // Кемерово: Кемер. гос. ун-т, 2003. 233 с.
  19. Старченко А.В. Параллельные вычисления на многопроцессорных вычислительных системах / А.В. Старченко, А.О. Есаулов. // Томск: ТГУ, 2002. - 56 с.
  20. Баканов В.М. Параллельные вычисления: Учебное пособие. / В.М. Баканов. // М.: МГУПИ, 2006. 124 с.
  21. Корнеев В.В. Параллельные вычислительные системы. / В.В.Корнеев. // М.: Нолидж, 1999. 320 с.
  22. Сергеев Я. Д.. Введение в параллельную глобальную оптимизацию / Я. Д. Сергеев, Р. Г. Стронгин, В. А.Гришагин. // Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 1998. 87 с.

S.M.Tolstyh

**THE POSSIBILITY OF INCREASING COMPUTATIONAL  
PERFORMANCE IN MULTIPROCESSOR COMPUTER SYSTEMS  
DATA PROCESSING**

*Voronezh Institute of High Technologies*

*The paper discusses ways of increasing performance of modern computer systems. This can be achieved through the use of a multiprocessor architecture, as well as due to the involvement of heterogeneous platforms on the basis of specialized computational modules. Due to the fact that there is a finite speed in the transmission of information among the elements of computing machines, we can come to limit productivity in calculations. There are two basic models of computations, which are used in the existing conditions model computer and the model of collective of calculators. From the point of view of the processor types is possible to divide multiprocessor systems into homogeneous and inhomogeneous, single-level and hierarchical. Classification one-level multiprocessor systems from the point of view of the communication type processor memory data is given. As an advantage of a multiprocessor system with shared data memory, it can be noted that shared memory is used only in order to implement interprocessor exchange is shown.*

**Keywords:** CPU, performance, parallel computing, data processing.

**REFERENCES**

1. L'vovich I.Ya. Issledovanie primeneniya parallel'nykh vychisleniy pri otsenke kharakteristik rasseyaniya ob"ektov slozhnoy formy / I.Ya.L'vovich, A.P.Preobrazhenskiy, R.S.Chekmarev // REDS:

- Telekommunikatsionnye ustroystva i sistemy. 2014. Vol. 4. No. 4. pp.316-320.
2. Lvovich I.Ya. The analysis of scattering electromagnetic waves with use of parallel computing / I.Ya.Lvovich, A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov, K.V.Kaydakova // V sbornike: 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings 2015. S. 7147133.
  3. Lavlinskaya O.Yu. Tekhnologii oblachnykh vychisleniy i ikh primeneniye v reshenii prakticheskikh zadach / O.Yu.Lavlinskaya, T.M.Yankis // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 1 (16). pp.33-36.
  4. Danilova A.V. Metody izmereniya nagruzki seti / A.V. Danilova, A.G.Yurochkin, O.V. Shadymova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 2 (17). pp.73-76.
  5. Vyalova E.P. Adaptivnyy algoritm marshrutizatsii v komp'yuternoy seti / E.P.Vyalova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 2 (17). pp.97-100.
  6. Preobrazhenskiy A.P. The models of information transmission in computer networks / A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 2 (17). pp.91-93.
  7. Preobrazhenskiy A.P. O primeneniye kombinirovannykh podkhodov dlya otsenki kharakteristik rasseyaniya ob'ektov / A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2014. No. 12. pp.69-70.
  8. Preobrazhenskiy A.P. Osobennosti ispol'zovaniya SAPR pri proektirovani besprovodnykh setey svyazi / A.P.Preobrazhenskiy // Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. 2014. No. 4 (7). p.15.
  9. Lvovich I.Ya. The solution of problems of scattering electromagnetic waves for complex objects based on parallel computing / I.Ya.Lvovich, A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov // Nauka i chelovechestvo. 2014. No. 5. pp.9-13.
  10. Preobrazhenskiy A.P. O protsessakh optimizatsii v mobil'nykh sistemakh svyazi / A.P.Preobrazhenskiy, E.I.Kodentsev // Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. 2013. No. 3. pp.6.
  11. Preobrazhenskiy A.P. Issledovaniye vozmozhnostey postroeniya algoritma otsenki zagruzki komp'yuternoy seti / A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2015. No. 14. pp.119-120.
  12. Lvovich I.Ya. Modelirovaniye komp'yuternykh setey na osnove grafovykh modeley / I.Ya.L'vovich, A.P.Preobrazhenskiy, R.S.Chekmarev, O.N.Choporov // REDS: Telekommunikatsionnye ustroystva i sistemy. 2015. Vol. 5. No. 3. pp.310-312.

13. Preobrazhenskiy A.P. O vozmozhnostyakh uskoreniya vychisleniy pri reshenii zadach / A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2014. No. 12. pp.67-68.
14. Chasovskoy A.A. Otsenka perspektiv vnedreniya oblachnykh vychisleniy na predpriyatiyakh i v gosudarstvennom sektore na primere FRG // A.A.Chasovskoy, E.V.Alferenko // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 1 (16). pp.94-97.
15. Danilova A.V. Razrabotka lokal'noy komp'yuternoy seti predpriyatiya / A.V. Danilova, A.G.Yurochkin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 2 (17). pp.66-69.
16. Uil'yams E. Parallel'noe programmirovaniye na C++ v deystvii: praktika razrabotki mnogopotochnykh programm / E. Uil'yams [per. s angl. Slinkin A. A.]. // Moskva: DMK Press, 2012. 671 p.
17. Voevodin V.V., Voevodin VI.V. Parallel'nye vychisleniya: Ucheb. posobie dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po napravleniyu 510200 "Prikladnaya matematika i informatika" / V.V. Voevodin, VI.V. Voevodin. // Nauch. izd. - SPb. : BKhV-Peterburg, 2002. 599 p.
18. Afanas'ev K.E. Mnogoprotsessornyye vychislitel'nye sistemy i parallel'noe programmirovaniye. Ucheb. posobie : Ucheb.-metod. posobie / K.E. Afanas'ev, S.V. Stukolov., A.V.Demidov, V.V.Malyshenko // Kemerovo: Kemer. gos. un-t, 2003. 233 p.
19. Starchenko A.V. Parallel'nye vychisleniya na mnogoprotsessornykh vychislitel'nykh sistemakh / A.V. Starchenko, A.O. Esaulov. // Tomsk: TGU, 2002. - 56 p.
20. Bakanov V.M. Parallel'nye vychisleniya: Uchebnoe posobie. / V.M. Bakanov. // M.: MGUPI, 2006. 124 p.
21. Korneev V.V. Parallel'nye vychislitel'nye sistemy. / V.V.Korneev. // M.: Nolidzh, 1999. 320 p.
22. Sergeev Ya. D.. Vvedeniye v parallel'nuyu global'nuyu optimizatsiyu / Ya. D. Sergeev, R. G. Strongin, V. A.Grishagin. // N. Novgorod: Izd-vo NNGU, 1998. 87 p.