

ПЛАНИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СРЕДАХ НА ОСНОВЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ

В.В. Топорков, А.С. Топоркова, А.В. Бобченков, Д.М. Емельянов, А.С. Целищев

1. Введение

Экономические модели выделения ресурсов и планирования являются весьма эффективными в распределенных вычислениях с неотчуждаемыми ресурсами, включая грид, мультиагентные системы и облачные вычисления [1-3]. При этом возникает серьезная проблема ценообразования в зависимости от уровня качества обслуживания [3]. В работе [4] дается хороший обзор различных подходов к ее решению, а также к формированию различных стратегий планирования при наличии ограничений на время и бюджет выполнения задания. В [5] рассматриваются эвристические алгоритмы подбора слотов на основе задаваемых пользователем функций полезности.

Среди различных подходов к организации вычислений в распределенных средах можно выявить две основных концепции. Одна из них основывается на использовании доступных ресурсов. Роль посредников между пользователями и вычислительными узлами выполняют агенты приложений – брокеры ресурсов. Чаще всего проекты этого направления ассоциируются с планированием вычислений на уровне приложений (application-level scheduling): AppLeS, APST, Legion, DRM, Condor-G, Nimrod/G и ряд других. Основная идея таких проектов – реализация заказного планировщика с учетом особенностей программного приложения. Эти особенности включают парадигму программирования, структуру данных, требования к памяти, модели обмена данными. При реализации той или иной экономической политики брокерами ресурсов [4, 5], как правило, проводится оптимизация выполнения конкретного приложения [6].

Другая концепция связана с образованием виртуальных организаций и ориентирована, прежде всего, на грид-системы. В этой модели внешний планировщик (грид-диспетчер, метапланировщик) исполняет роль промежуточного звена между пользователями и множеством систем управления на удаленных вычислительных узлах (сайтах). При образовании виртуальных организаций [7] осуществляется оптимизация планирования на уровне потоков заданий. Соответствующие функции реализуются иерархической структурой, состоящей из метапланировщика и подчиненных ему менеджеров заданий [6-8]. Подконтрольные метапланировщику менеджеры заданий, в свою очередь, взаимодействуют с локальными менеджерами управления ресурсами, например, системами пакетной обработки заданий [8-10].

Нужно подчеркнуть, что оба вышеупомянутых подхода предполагают планирование приложений на основе динамично меняющейся информации о глобальной среде и позволяют реализовать различные сценарии управления ресурсами. Все это заставляет говорить не просто об алгоритме, а о стратегии планирования, т.е. комбинации различных методов внешнего и локального планирования, размещения данных и т.д. И тот, и другой подходы имеют свои достоинства и недостатки. В рамках первого из направлений системы управления ресурсами являются хорошо масштабируемыми и адаптируемыми к особенностям приложений. Однако использование независимыми пользователями различных критериев для оптимизации планов выполнения своих заданий (в условиях возможной конкуренции с другими заданиями) может ухудшать такие интегральные характеристики, как время выполнения пакета заданий и загрузка ресурсов. Образование виртуальных организаций естественным образом ограничивает масштабируемость систем управления заданиями. Наличие определенных правил предоставления и потребления ресурсов позволяет повысить эффективность планирования и распределения ресурсов на уровне потоков заданий (job-flow scheduling). При этом время выполнения отдельных приложений может и увеличиваться, поскольку при планировании не удается учесть важных особенностей структуры заданий и пользовательских предпочтений, касающихся ресурсов.

Новизна подхода, предлагаемого в настоящей работе, состоит в том, что экономические механизмы применяются для планирования пакета независимых заданий в рамках виртуальной организации, причем планирование заданий выполняется циклично на альтернативных наборах предварительно отобранных слотов. В каждом цикле динамично обновляются наборы доступных слотов на основе информации, поступающей от локальных менеджеров ресурсов, и оптимизируется план выполнения пакета заданий по совокупности критериев в соответствии с политикой предоставления и потребления ресурсов, принятой в виртуальной организации. Каждый из слотов соответствует временному отрезку, который может быть использован для выполнения задачи, входящей в состав многопроцессорного задания, на том или ином типе ресурса. Требования задания к ресурсам оформляются в виде ресурсного запроса, содержащего тип, количество и характеристики узлов (тактовую частоту процессора, емкость оперативной памяти, дисковое пространство, операционную систему и т.д.), а также время T их использования. Для запуска многопроцессорного задания необходимо согласованное выделение требуемого для его выполнения количества L слотов.

План выполнения задания представляет собой набор временных слотов. Проблема заключается в том, что слоты, ассоциированные с разными процессорными узлами, начинаются и заканчиваются в произвольные и не совпадающие моменты времени. В свою очередь, процессы параллельного задания должны стартовать

синхронно. Как правило, функция синхронизации возлагается на главный процесс задания, запустившийся раньше остальных на некотором процессорном узле. Главный процесс может ожидать запуска всех остальных процессов не более заранее определенного времени. Если необходимое число L слотов с требуемыми, согласно ресурсному запросу, атрибутами не будет накоплено до этого времени, то задание не будет запущено. Таким образом, в случае однородных узлов совокупность слотов для выполнения задания представляет собой прямоугольное «окно» размером $L \times T$, а для процессоров с разной производительностью это – «окно» с неровным правым краем, где T – время выполнения составной части задания на наименее производительном процессоре.

2. Критерии эффективности планирования

В рамках рассматриваемой модели, в основу которой заложена иерархическая схема управления потоками заданий [6, 8-10], фигурируют пользователи, запускающие задания, и собственники вычислительных ресурсов. Интересы пользователей и собственников зачастую противоречивы. Каждый из независимых пользователей заинтересован в наискорейшем запуске своих заданий с наименьшими издержками (например, платой за использование ресурса), а собственники, наоборот, стремятся получить наибольший доход от предоставления ресурсов. Для распределенных сред с неотчуждаемыми ресурсами характерна конкуренция независимых пользователей за их использование, а также конкуренция глобальных и локальных потоков заданий. Эти факторы существенно усложняют решение задачи коаллокации.

В каждом цикле планирования запуска пакета заданий требуется решение двух задач.

Во-первых, отбор подходящих (по ресурсу, времени, цене) слотов для каждого задания пакета.

Во-вторых, выбор комбинации слотов, являющейся эффективной или оптимальной с точки зрения прохождения всего пакета заданий в текущем цикле планирования.

Пользователь, запускающий задание, должен иметь возможность управлять временем старта задания, оперируя платой, которую он вносит за его выполнение. Цена устанавливается собственником соответствующего вычислительного ресурса на основе соображений балансирования глобальных и локальных потоков заданий, получения соответствующего дохода и т.п. Плата за ресурс в наборе слотов определяется исходя из удельной стоимости единицы времени использования соответствующего процессорного узла и времени, отведенного для выполнения задания.

Мы рассматриваем два типа критериев в рамках нашей модели. Это стоимостные и временные показатели эффективности прохождения пакета заданий на допустимом наборе подходящих слотов.

К первой группе критериев относится суммарная стоимость выполнения пакета заданий. Для того чтобы не допустить монополизации использования того или иного ресурса отдельными пользователями, вводится ограничение на бюджет виртуальной организации – максимальное значение суммарной стоимости использования ресурсов в текущем цикле планирования. Интересы собственников могут быть отражены в таком критерии, как потери от недоиспользования бюджета виртуальной организации.

Политика администрирования в виртуальной организации и, отчасти интересы пользователей, представлены временем выполнения пакета заданий. Ограничение на суммарное время занятия слотов отражает стремление собственников ресурсов сбалансировать доли глобальных (внешних) и локальных (внутренних) заданий. Упомянутые аспекты можно представить в таком показателе, как простой ресурсов.

Если рассматривать задачи однокритериальной оптимизации выполнения пакета заданий, то в интересах той или иной стороны (пользователь, собственник, администратор виртуальной организации) каждый из упомянутых критериев необходимо минимизировать при заданных ограничениях. Например, минимизировать стоимость при ограничении на суммарное время занятия слотов, либо минимизировать время прохождения пакета заданий при фиксированном бюджете виртуальной организации. С позиций собственников ресурсов целесообразно минимизировать потери доходов или простой ресурсов при ограничении на время использования слотов внешними заданиями. Однако в общем случае в рассматриваемой модели управления прохождением заданий на основе экономических механизмов необходимо использовать вектор критериев стоимостного и временного типов, формирующий бинарное отношение сравнительной эффективности наборов подходящих слотов. В этом случае мы будем использовать понятие модели выбора, и говорить об оптимальной стратегии планирования пакета заданий [6, 8-10].

3. Выбор слотов для выполнения пакета заданий

Рассмотрим общую схему алгоритма выбора слотов для одного задания пакета (будем полагать, что процессорные узлы не являются идентичными).

1. Слоты упорядочиваются по неубыванию времени старта.
2. Из полученного списка выбирается очередной подходящий слот S .
3. К длительности выполнения задания на ранее рассмотренных подходящих слотах добавляется смещение d времени старта S -го слота относительно $(S-1)$ -го.
4. Из списка просмотренных подходящих слотов (от 1 до $S-1$) удаляются те, время действия которых с учетом сдвига d по времени истекло.
5. Переход к слоту $S+1$ и повторение шагов 3, 4 до тех пор, пока не наберется заданное число L слотов.

Время старта задания определяется временем начала последнего из отобранных подходящих слотов, а время окончания задания – максимумом длительности выполнения задачи, входящей в задание, по всем

отобранным слотам. Заметим, что рассмотренная схема алгоритма может быть использована как в случае идентичных, так и не идентичных по производительности процессорных узлов. Сложность этой схемы применительно к одному заданию является линейной от числа просматриваемых слотов.

В предлагаемой модели планирование выполняется циклично для отобранного пакета заданий, которые упорядочиваются в соответствии с некими приоритетами. Например, в порядке поступления в очередь метапланировщика. Следовательно, рассмотренную выше схему нужно применить для каждого из заданий, входящих в пакет. Сначала делается попытка найти набор подходящих слотов для всех заданий пакета. Если для какого-либо из заданий подходящего набора слотов не существует, то его планирование переносится в следующий цикл и задание занимает место в начале очереди соответствующего цикла планирования.

После просмотра слотов для всех заданий пакета отыскиваются альтернативные наборы подходящих слотов, поскольку при отборе слотов для задания не весь исходный список может быть просмотрен. Эта процедура итеративно реализуется для всех заданий, планирование которых не перенесено в следующий цикл. Заметим, что этот подход отличается от известных тем, что для каждого из заданий пакета отыскивается не один подходящий слот, а совокупность альтернативных наборов слотов.

Генерация планов для альтернативных наборов отобранных слотов выполняется методом, предложенным и обоснованным в [6, 9, 10], и сводится к решению нелинейной задачи о рюкзаке на основе динамического программирования.

4. Результаты имитационного моделирования планирования пакетов независимых заданий

На основе разработанной авторами среды моделирования [8] проведено экспериментальное исследование различных алгоритмов и стратегий планирования по экономическим принципам.

Для каждого эксперимента генерируется набор заданий и слотов с заданными параметрами, после чего производится либо случайный выбор подходящего набора слотов, либо альтернативный выбор в соответствии алгоритмом оптимизации плана. Параметры заданий и слотов (стоимостные и временные требования) имеют равномерное распределение в заданном диапазоне.

4.1 Минимизация времени выполнения пакета заданий при ограничении на бюджет виртуальной организации

На рис. 1 и рис.2 приведены результаты для случайного (Random) и альтернативного (Optimal) выбора слотов.

По оси абсцисс указаны номер эксперимента, по оси ординат – среднее время выполнения задания. Максимальное число альтернатив слотов для каждого из заданий равно 7.

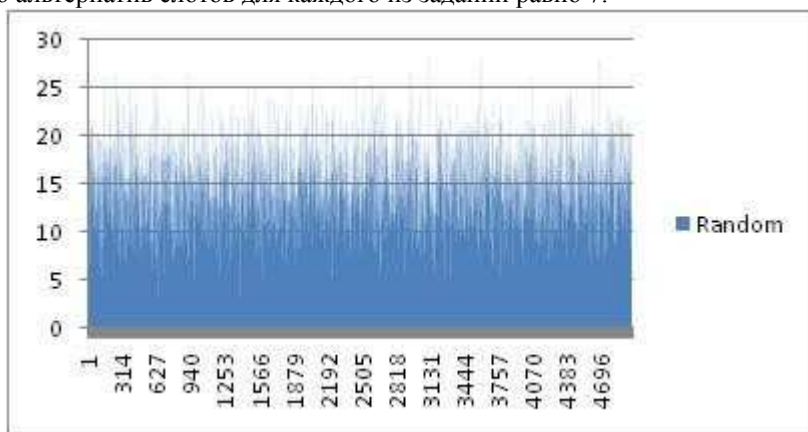


Рис. 1. Минимизация времени прохождения пакета заданий – случайный выбор слотов

При применении алгоритма альтернативного отбора среднее время выполнения задания в пакете уменьшается вдвое.

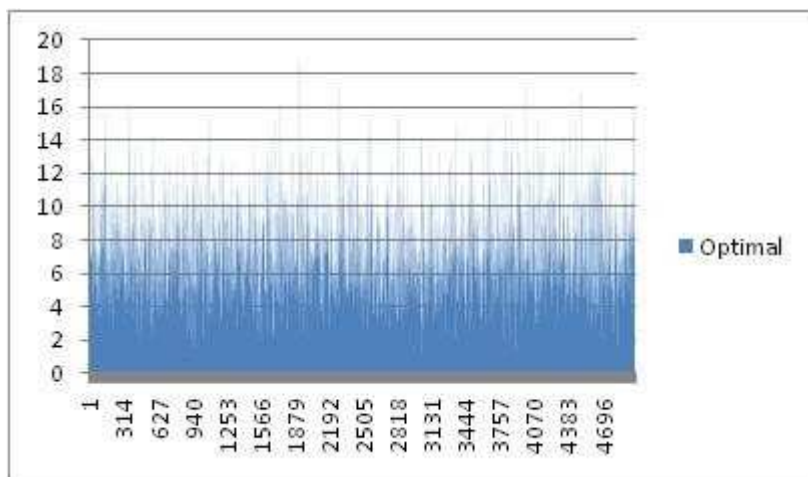


Рис. 2. Минимизация времени прохождения пакета заданий – альтернативный выбор слотов

При увеличении максимального числа слотов, генерируемых случайно для каждого задания с 7 до 20, эффективность применения алгоритма альтернативного выбора становится ещё выше: среднее время выполнения задания уменьшается в 4.45 раза по сравнению со случайным выбором подходящих слотов.

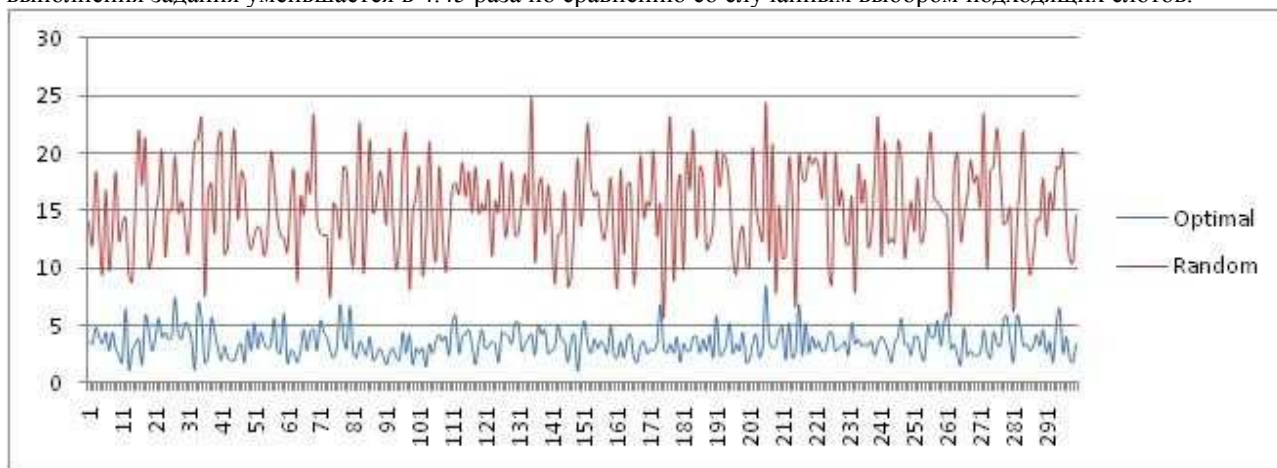


Рис. 3. Сравнение различных алгоритмов минимизации времени прохождения пакета заданий
 На рис. 3 приведены совмещенные результаты для первых 300 экспериментов.

На рис. 4 приведена зависимость ускорения прохождения пакета заданий от максимального числа доступных слотов для каждого из заданий для алгоритма альтернативного отбора по сравнению со случайным выбором слотов.

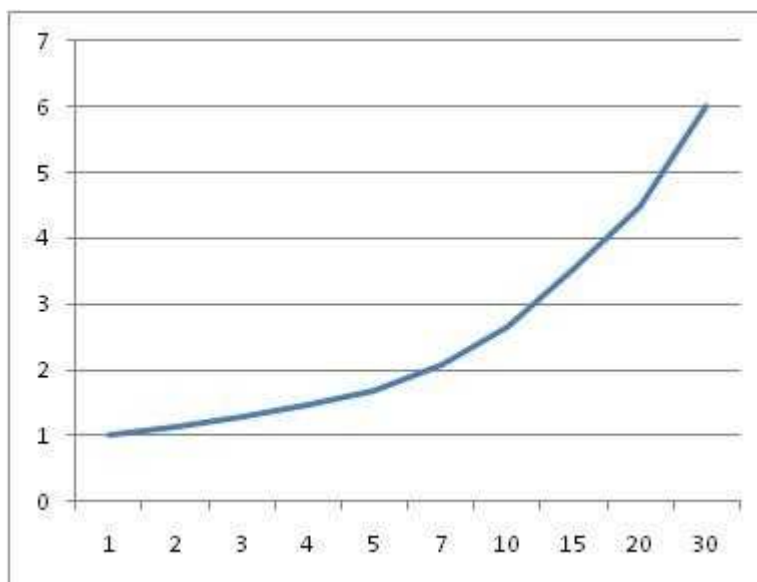


Рис. 4. Зависимость эффективности алгоритма альтернативного выбора от числа доступных слотов

По оси абсцисс на рис. 4 – максимальное количество слотов, генерируемых для каждого задания, по оси ординат – отношение среднего времени выполнения задания с использованием оптимизации к среднему времени выполнения задания при случайном выборе слотов. Параметры для 5000 экспериментов: число заданий в пакете – 5; максимальное число альтернативных наборов слотов для каждого из заданий – 5.

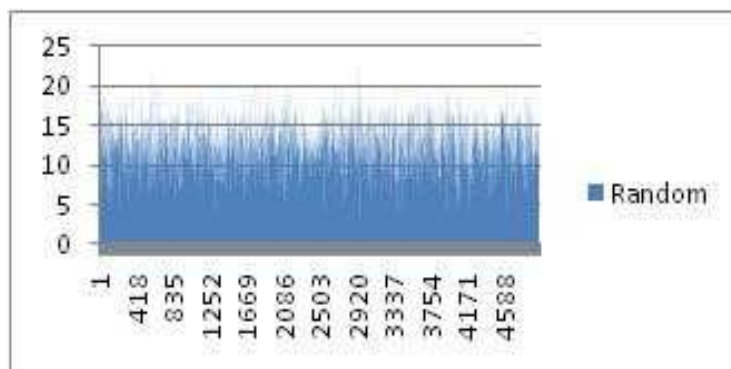


Рис. 5. Максимизация доходов собственников – случайный выбор слотов

4.2 Максимизация доходов собственников ресурсов при ограничении на суммарное время использования слотов

На рис. 5 и рис. 6 приведены результаты решения этой задачи для случайного (Random) и альтернативного (Optimal) выбора слотов. По оси абсцисс указан номер эксперимента, по оси ординат – средняя прибыль от выполнения каждого задания.

Доходы собственников ресурсов с использованием алгоритма оптимизации в среднем почти вдвое больше, чем при случайном выборе слотов (23.48 против 12.84 условных единиц).

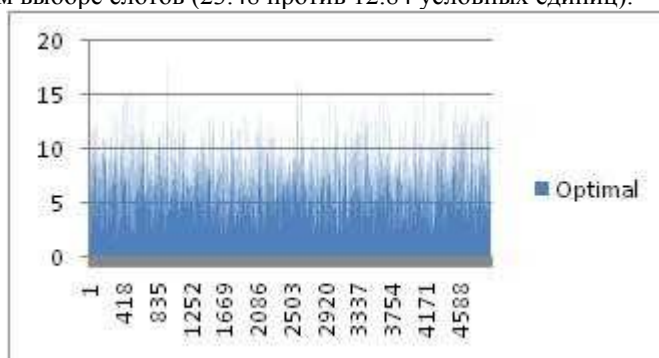


Рис. 6. Максимизация доходов собственников – альтернативный выбор слотов

4.3 Минимизация суммарной стоимости выполнения заданий пакета при ограничении на суммарное время использования слотов

Средняя стоимость выполнения задания при случайном выборе слотов в 1.7 раз больше, чем использовании алгоритма альтернативного выбора. При увеличении максимального числа слотов для каждого задания до 20 эффективность алгоритма с оптимизацией плана становится в 3.65 раза выше (рис. 7).

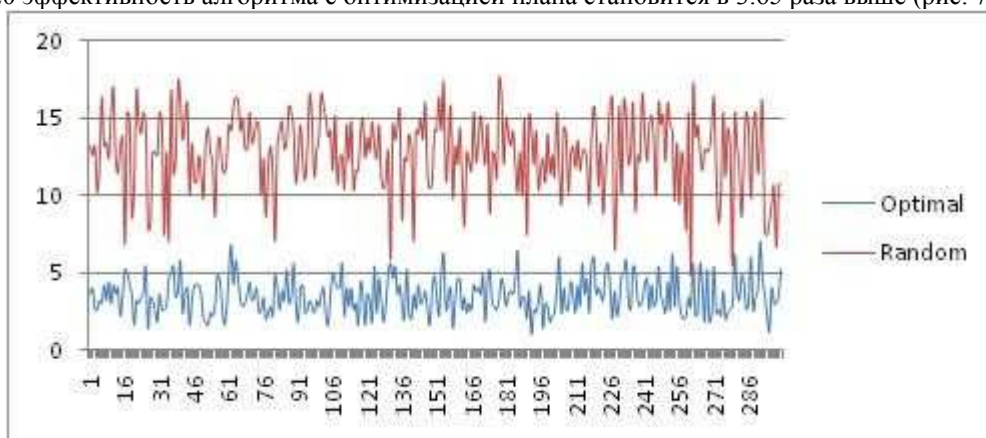


Рис. 7. Сравнение различных алгоритмов минимизации стоимости прохождения пакета заданий

5. Заключение и направления дальнейшей работы

Основные результаты, полученные в данной работе, состоят в следующем.

Разработана и обоснована модель управления потоками заданий на основе иерархической структуры виртуальной организации распределенной вычислительной среды и экономических механизмов выделения неотчуждаемых ресурсов.

Предложен метод планирования потоков независимых заданий на основе экономических принципов администрирования вычислительных ресурсов.

Обоснованы механизмы динамического перераспределения заданий с помощью обновляемых локальных расписаний вычислительных узлов виртуальной организации – списков слотов.

Проведено экспериментальное исследование различных алгоритмов планирования при решении ряда модельных задач, имеющих важное практическое значение в организации распределенных вычислений на неотчуждаемых ресурсах:

- минимизация суммарного времени завершения пакета заданий при ограничении на бюджет виртуальной организации;
- максимизация доходов собственников ресурсов при ограничении на суммарное время использования слотов;
- минимизация суммарной стоимости выполнения пакета заданий при ограничении на суммарное время использования слотов.

В дальнейшем предполагается проведение дополнительных исследований в следующих направлениях:

- формирование стратегий планирования на основе вектора критериев, включающего временные и стоимостные показатели прохождения потоков заданий и отражающего интересы пользователей, собственников ресурсов и особенности политики администрирования, принятой в виртуальной организации;
- разработку и исследование методов приоритетного планирования потоков заданий глобального уровня в виртуальной организации и локального уровня неотчуждаемых вычислительных ресурсов;
- имитационное моделирование перераспределения и миграции заданий в иерархически организованных вычислительных средах.

Работа выполнена при содействии Совета по грантам Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (НШ-7239.2010.9), РФФИ (проект № 09-01-00095), Минобрнауки в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект № 2.1.2/6718) и федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (государственный контракт № П2227).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Garg S.K., Buyya R., Siegel H.J. Scheduling parallel applications on utility Grids: time and cost trade-off management, Proceedings of the 32nd Australasian computer science conference (ACSC 2009), Wellington, New Zealand. 2009. P. 151-159.
2. Bredin J., Kotz D., Rus D. Economic markets as a means of open mobile-agent systems, Proceedings of the workshop “Mobile agents in the context of competition and cooperation (mac3)”, 1999. P. 43-49.
3. Ailamaki A., Dash D., Kantere V. Economic aspects of cloud computing, Flash Informatique, Special HPC, 27 October 2009. P. 45-47.
4. Buyya R., Abramson D., Giddy J. Economic models for resource management and scheduling in grid computing, J. of concurrency and computation: practice and experience, vol. 14, no. 5, 2002. P. 1507–1542.
5. Ernemann C., Hamscher V., Yahyapour R. Economic scheduling in grid computing. In: Proceedings of the 8th job scheduling strategies for parallel processing, D.G. Feitelson, L. Rudolph, U. Schwiegelshohn (eds.), Springer, Heidelberg, LNCS, vol. 2537, 2002. P. 128-152.
6. Toporkov V. Application-level and job-flow scheduling: an approach for achieving quality of service in distributed computing, Proceedings of the 10th international conference on parallel computing technologies, Springer, Heidelberg, LNCS, vol. 5698, 2009. P. 350–359.
7. Kurowski K., Nabrzyski J., Oleksiak A., Weglarz J. Multicriteria aspects of Grid resource management. In: Grid resource management. State of the art and future trends, J. Nabrzyski, J.M. Schopf, and J. Weglarz (eds.): Kluwer academic publishers, 2003. P. 271–293.
8. Топорков В.В., Топоркова А.С., Целищев А.С., Бобченков А.В., Емельянов Д.М. Масштабируемые модели планирования и управления потоками заданий в распределенных вычислениях // Научный сервис в сети Интернет: масштабируемость, параллельность, эффективность: Труды Всероссийской суперкомпьютерной конференции. - М.: Изд-во МГУ, 2009. С. 335–339.
9. Toporkov V.V., Tselishchev A.S. Safety scheduling strategies in distributed computing, Int. J. Critical Computer-Based Systems, vol. 1, no. 1/2/3, 2010. P. 41-58.
10. Toporkov V.V. Job and Application-Level Scheduling in Distributed Computing // Ubiquitous Computing and Communication (UbiCC) Journal. Special Issue on ICIT 2009 Conference (selected papers) - Applied Computing. 2009. Vol. 4. No. 3. P. 559–570.