

УДК 681.324

С.В. МИНУХИН, С.В. ЗНАХУР

*Харьковский национальный экономический университет, Украина***ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ
ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ПОТОКОВ ЗАДАНИЙ В ГРИД**

Рассмотрены вопросы имитационного моделирования при использовании различных планировщиков ресурсов Грид. Проведен статистический анализ реальных потоков заданий кластеров Грид, рассчитанные характеристики распределения заданий которых используются для настройки имитационной модели и последующего моделирования системы. Получены результаты моделирования работы Грид в условиях использования различных значений характеристик потоков заданий, ресурсов и периодичности планирования. Для оптимизации работы алгоритмов планирования построены регрессионные зависимости между рассчитанными значениями метрик производительности Грид-систем. Показаны направления улучшения работы предложенного в работе эвристического алгоритма планирования в зависимости от изменения интенсивности потока заданий и количества ресурсов системы.

Ключевые слова: алгоритм, Грид-система, законы распределения, кластер, минимальное покрытие, параметры модели, планировщик, симуляция.

Введение

Важной задачей при эксплуатации Грид-систем [1] является обеспечение требуемой системной производительности при решении заданий различной трудоемкости на гетерогенных ресурсах, которая определяется на основе анализа таких характеристик, как производительность составляемых расписаний выполнения заданий на ресурсах, – среднее время выполнения одного задания, максимальное время завершения всех заданий, время ожидания в очереди, – а также характеристик, определяющих загрузку ресурсов (кластеров) Грид.

Эта задача актуальна для потоков заданий различной интенсивности, которые могут выполняться в последовательном и параллельном режимах, использовать различное программное обеспечение и иметь различные требования к архитектуре используемых ресурсов.

Моделирование Грид-систем в настоящее время является весьма действенным инструментом исследования, которое используется для повышения их эффективности [2 – 5].

В данной работе предлагается исследование методов планирования ресурсов на основе следующей имитационной модели работы Грид.

Процесс моделирования работы Грид-системы включает пошаговое выполнение 4-х операций (событий).

Операция 1 – имитация поступления заданий на вход системы. Из заданий глобальной очереди в пул загружаются задания, выбранные по определенному правилу.

Операция 2 – распределение заданий из очере-

ди пула на ресурсы по определенному методу, помещение их в пакет заданий на ресурс и возврат неразмещенных заданий обратно в пул.

Операция 3 – имитация решения заданий на ресурсах. Данная операция использует в качестве единицы измерения времени имитации решения условную единицу времени – такт.

Операция 4. Переход к выполнению операции 1. В случае, если задания глобальной очереди разрешены, моделирование завершается.

Все временные характеристики, а также сложность решения задания, производительность ресурса в модели работы системы измеряются в тактах – времени модели системы.

Для сравнительного анализа поведения предлагаемых методов планирования в модели используются следующие:

- метод, использующий для планирования задачу о наименьшем покрытии (МС) [1]: метод находит наименьшее количество свободных ресурсов (столбцов матрицы соответствия), которые могут решить все задания (строки матрицы соответствия), находящиеся в пуле, на момент времени планирования. После этого задания распределяются на те ресурсы, которые вошли в наименьшее покрытие, и, если они загружены полностью, а задания в пуле еще остались, то они распределяются на другие свободные ресурсы. Оставшиеся после этого нераспределенными задания возвращаются обратно в пул, после чего пул вновь заполняется заданиями из глобальной очереди заданий и приведенная процедура повторяется. Метод является методом пакетного планирования ресурсов. В данном исследовании реализовано 2 режима работы МС: с фиксирован-

ным размером пула и переменным, который отражает интенсивность поступления заданий в соответствии с заданными законами распределения, отражающие реальные потоки заданий загрузки кластеров Грид;

- метод FCFS – метод распределяет задания по принципу «первый пришел первым обслужился», то есть в порядке поступления заданий или в порядке расположения их в очереди пула. Планировщик берет первое задание из пула и пробует разместить его на свободный ресурс, на котором оно может решаться. Если имеется хотя бы один свободный для выполнения этого задания ресурс, то осуществляется переход к новому заданию, если нет, – задание возвращается в пул и осуществляется переход к следующему заданию в очереди.

Постановка задачи исследования

В статье рассматривается имитационное моделирование методов планирования ресурсов в условиях изменения интенсивности поступления заданий согласно выбранным законам распределения. Рассматриваются два закона распределения: экспоненциальный и нормальный. Выбор этих законов обусловлен предварительным анализом работы вычислительных кластеров RICC [6] и ANL-Intrepid [7]. Анализ статистических данных для кластеров приведен на рис. 1. Рассчитанные значения критериев согласия Колмогорова-Смирнова и Хи-квадрат обосновывают принятие гипотезы о соответствии выбранных законов распределения анализируемым данным по показателю количество заданий за сутки для каждого кластера: проведенные расчеты по показателю количества заданий за сутки для кластера ANL-Intrepid показали, они распределены по нормальному закону, а для кластера RICC – экспоненциальному.

В работе на основе результатов имитационного моделирования методов планирования проверяется гипотеза о существовании оптимальных в некотором смысле соотношений между характеристиками: периодом планирования решения задачи о назначении заданий на ресурсы, сложностью заданий, количеством ресурсов и производительностью ресурсов. Предполагается, что значения данных характеристик можно оптимизировать для минимизации времени решения всех заданий, поставленных в очередь, и максимизации коэффициента использования ресурсов. С практической точки зрения эти соотношения интересны при изменении только количества ресурсов и периода планирования для оптимизации коэффициента использования при известной закономерности интенсивности данных, полученных на основе предварительного анализа хронологических данных. Практическая ценность этого результата имеет место и для повышения экономической эффективности использования кластеров, например, за счет увеличения загрузки их ресурсов.

Для получения результатов имитационного моделирования и проведения сравнительного анализа используемых в эксперименте планировщиков на базе эвристического алгоритма MC и наиболее распространенного в Грид-системах метода FCFS поставлен следующий компьютерный эксперимент.

План эксперимента для исследования и принятия (отклонения) гипотезы включает:

- установку параметров имитационной модели на основе выбора значений статистических характеристик, полученных на основе анализа реальных интенсивностей потоков заданий на кластерах за 1 неделю работы (ANL-Intrepid и RICC);
- определение характеристик ресурсов кластеров и инфраструктуры Грид, которые наиболее близки к характеристикам работы реальных кластеров;

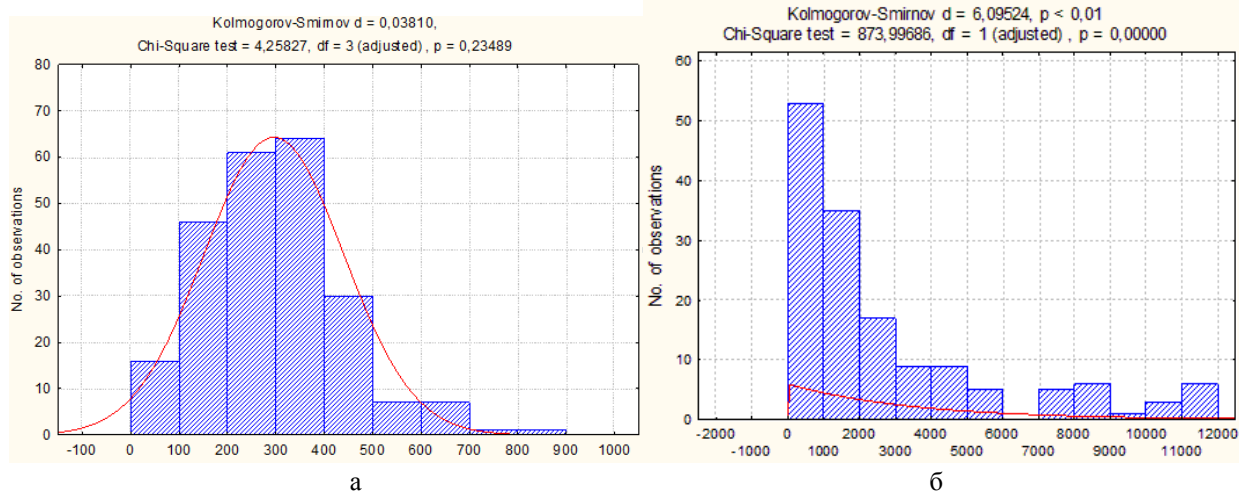


Рис. 1. Законы распределения заданий по кластерам: а - ANL-Intrepid, б – RICC

- установку шага изменения для параметров количества ресурсов и периода планирования;
- установку необходимого количества тестов для возможности получения средних значений времени выполнения всех заданий, находящихся в очереди, и коэффициента использования ресурсов;
- построение зависимостей для значений метрик эффективности работы планировщиков – времени выполнения всех заданий и коэффициента использования ресурсов – в зависимости от количества ресурсов и периода планирования.

Параметры имитационной модели устанавливаются в ее программной реализации GRID_Scheduler_Model в результате выбора соответствующих элементов экранной формы (рис. 2). Количество заданий глобальной очереди в эксперименте было выбрано одинаковым для разных методов и законов распределения (2100 заданий, полученных за 1 неделю работы кластера). Для определения интенсивности поступления заданий по нормальному закону выбрано среднее значение равное 300 (см. рис. 1), по экспоненциальному – 1000. Данная характеристика устанавливается в программе как среднее значение размера пула. Размер пула в имитационной модели изменяется согласно указанному закону распределения, что определяет интенсивность поступления заданий из глобальной очереди на планировщик. Сложность решения заданий определяется законом Пуассона, среднее значение сложности принимается равным 20 тактам (это соответствует 20000 MI, million instructions по спецификации SPEC [8]). Универсальность заданий установлена на уровне 50 %, т.е. для решения задания можно

использовать 50 % из имеющихся ресурсов. В эксперименте устанавливаются ресурсы, производительность которых – 5 тактов, что соответствует 5000 MIPS согласно спецификации SPEC. Данная характеристика близка к производительности современного 2-х ядерного процессора. Таким образом, общая производительность всех ресурсов равняется 500000 MIPS. Количество ресурсов в исследовании изменялось от 10 до 20 ресурсов с шагом 5.

Изменения периода планирования выбирались в диапазоне от 10 до 40 тактов. Выбор диапазона определяется тем, что сложность решения задания установлена в 20 тактов. Предполагается проанализировать результаты экспериментов в условиях:

- 1) если планирование будет осуществляться в два раза быстрее, чем среднее время решения задания на ресурсе;
- 2) если планирование будет осуществляться в два раза медленнее, чем среднее время решения задания на ресурсе.

Размеры пакетов заданий на ресурсы определяются только для эвристического алгоритма планирования MC – на основе решения задачи о наименьшем покрытии (метод FCFS не использует пакетного планирования). В эксперименте размер пакета заданий на ресурс выбирался равным 10 (соответствует стартовому количеству ресурсов). Коммуникационная составляющая модели определяется параметром задержки. Данная характеристика позволяет учесть время передачи данных и заданий на ресурсы (было определено среднее время для задания в размере одного такта – 1000 MI (million instructions)).

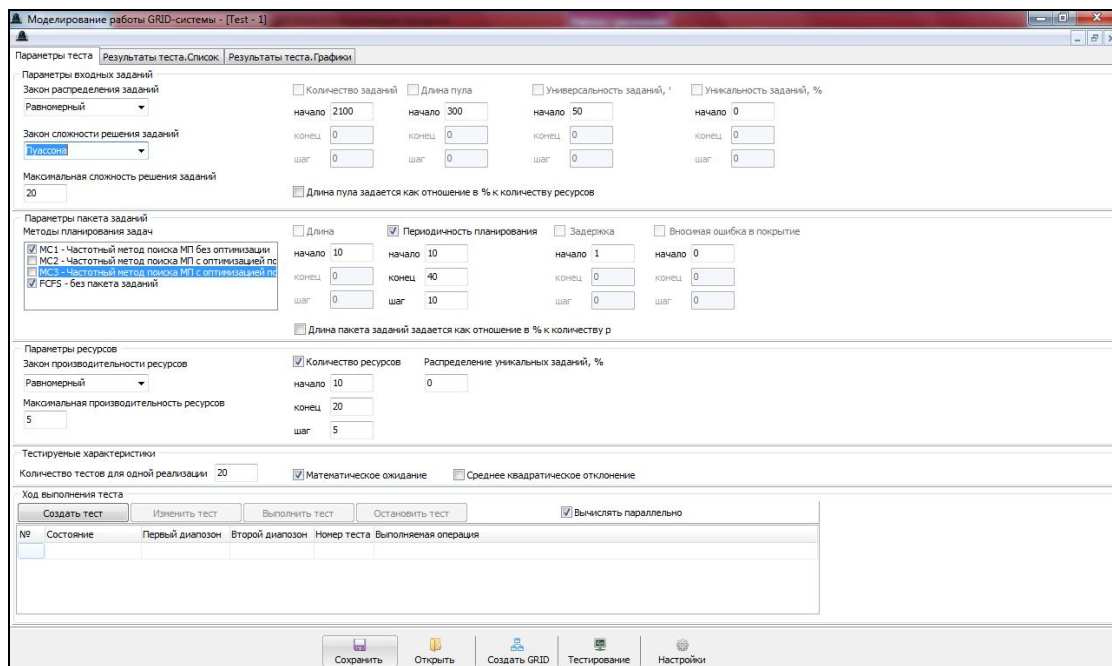


Рис. 2. Экранная форма программы настройки параметров моделирования

В результате имитационного моделирования работы разных методов планирования при использовании выбранных параметров модели были получены следующие результаты (рис. 3 – 6).

Результаты показывают существенное отличие уровня корреляции между показателями временем выполнения заданий и коэффициентом использования ресурсов для разных алгоритмов. Так, например, для FCFS (рис. 3 а, б) существует высокая регрессионная зависимость между временем решения всех заданий очереди и коэффициентом использования ресурсов ($R=0,76$ и $R=0,87$), причем, чем большее количество ресурсов используется, тем меньше время выполнения заданий и значение коэффициента использования (на рис. 3 а, б над точками показано соответствующее количество используемых ресурсов). Это справедливо как для интенсивности, полученной на основе нормального, так и экспоненциального законов.

В отличие от FCFS, MC загружает ресурсы по другим принципам: так, например, время решения заданий в большей степени зависит от эффективно-

сти использования ресурсов и периода планирования, поэтому коэффициент корреляции между показателями ($R = 0,45$ и $R = 0,29$) невысокий и для нормального и для экспоненциального закона распределения (рис. 3 в, г). Следует отметить, что алгоритм MC лучше, чем FCFS обеспечивает балансировку загрузки ресурсов, при этом значение времени выполнения заданий для данного количества ресурсов остается на минимальном уровне и не увеличивается. Коэффициент использования ресурсов можно улучшить за счет выбора оптимального периода планирования (рис. 4, 5).

На рис. 4, 5 показаны зависимости коэффициента использования от изменения количества ресурсов. Период планирования на рис. 4, 5 указан числом от 10 до 40 (значение определяется в тактах) над точками. Координаты точек на графиках рассчитаны как средние значения соответствующих показателей, полученные по результатам прохождения 20 тестов на каждую расчетную точку (под тестом понимается один расчет модели с выбранными характеристиками).

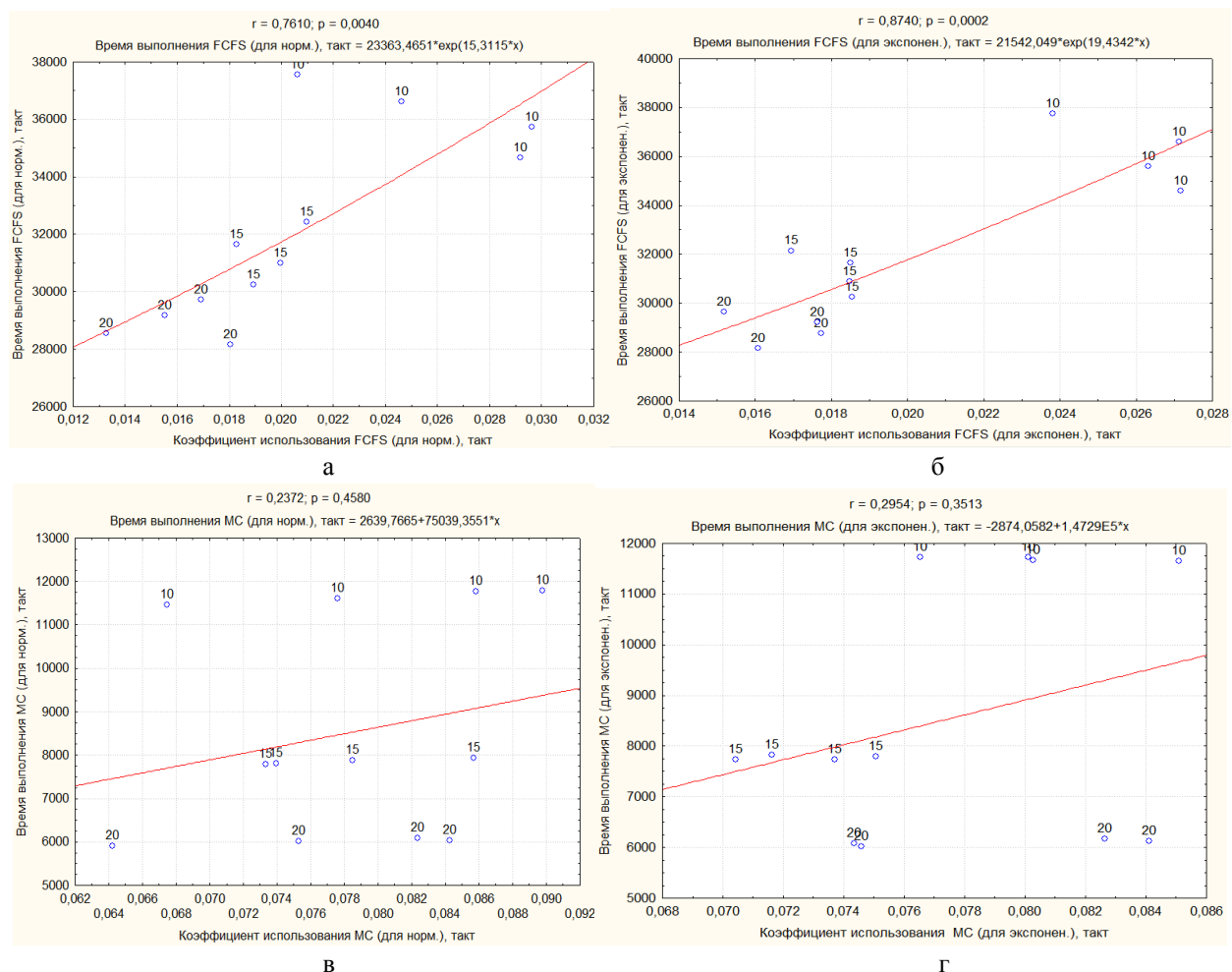


Рис. 3. Регрессионный анализ результатов моделирования при использовании алгоритмов FCFS и MC для нормального и экспоненциального законов распределения поступления заданий в систему

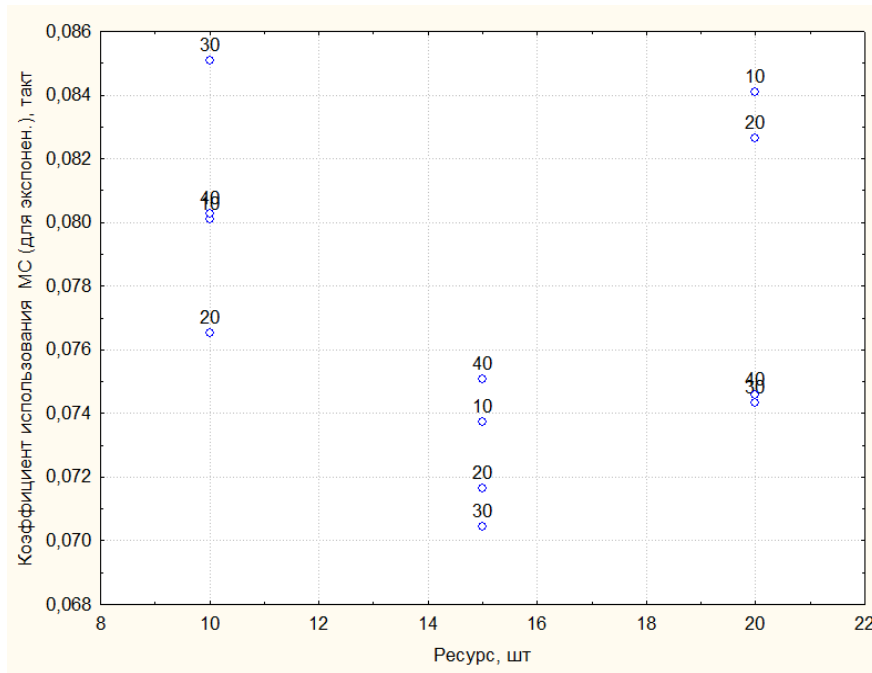


Рис. 4. Зависимость коэффициента использования ресурсов от количества ресурсов и периода планирования для МС (для экспоненциального закона распределения заданий)

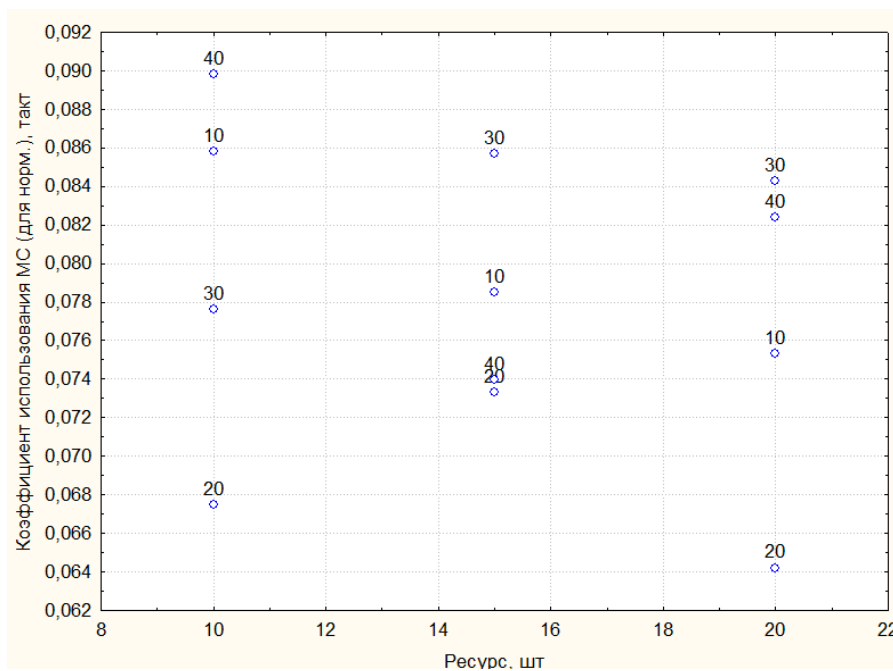


Рис. 5. Зависимость коэффициента использования от количества ресурсов и периода планирования для МС (для нормального закона распределения заданий)

Оптимальные значения для выбираемых периодов планирования и соответствующего количества ресурсов, а также законов распределения потоков заданий существенно отличаются: например, для экспоненциального закона при 20 ресурсах – 10 тактов, а для нормального – 30 тактов, что обосновывает необходимость формализации процесса вы-

бора данного параметра для оптимизации результатов планирования. В качестве примера возможной формализации для алгоритма МС для экспоненциального закона потока заданий на рис. 6 показана трехмерная полиномиальная модель зависимости между коэффициентом использования ресурсов, количеством ресурсов и периодом планирования.

Коэффициент использования МС (для экспонен.) = $0,1276 - 0,0087 * x + 0,0012 * y + 0,0003 * x * x + 8,0372E - 6 * x * y - 2,7716E - 5 * y * y$

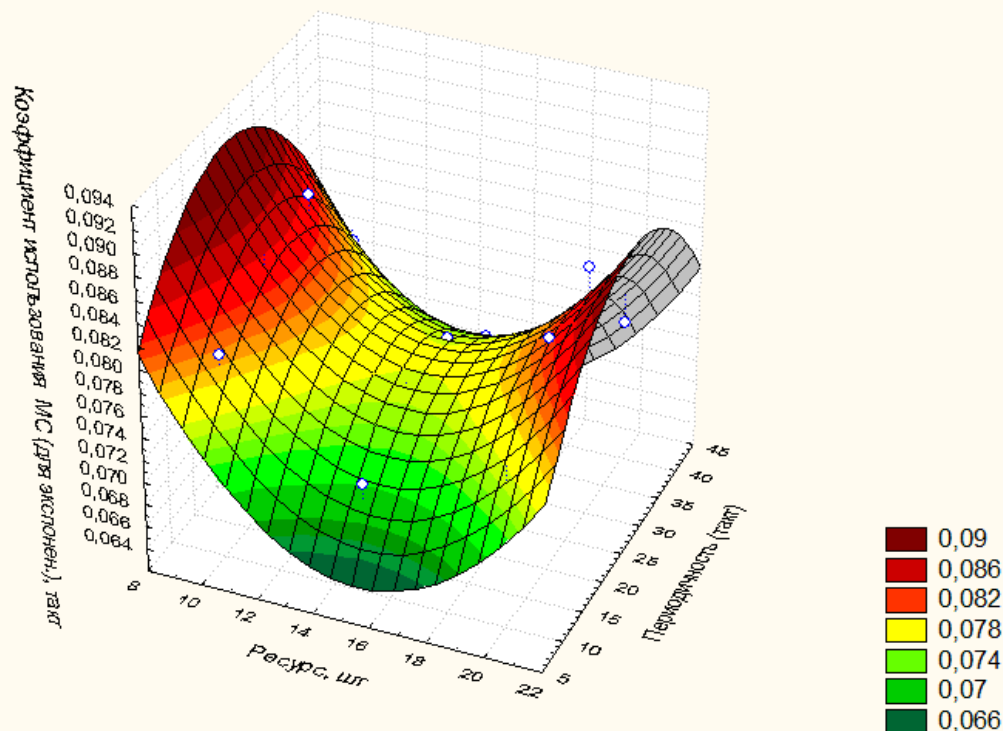


Рис. 6. Полиномиальная модель, определяющая значение коэффициента использования в зависимости от выбранного количества ресурсов и периода планирования (остальные параметры фиксированы)

Заключение

Проведенное компьютерное моделирование с использованием разработанной программы GRID_Scheduler_Model показало, что для алгоритма FCFS изменение закона распределения поступающих на вход системы заданий не имеет существенного значения для зависимости между коэффициентом использования ресурсов и временем выполнения всех заданий глобальной очереди. Это, с одной стороны, удобно при изменении интенсивности заданий, а с другой – приводит к худшим по отношению к эвристическому методу МС значениям этих характеристик. Эвристический алгоритм МС показал высокую эффективность, как для экспоненциального, так и нормального законов распределения поступающих в систему заданий. Отметим следующий важный результат: эффективность его применения можно повысить в зависимости от того, какие значения параметра периода планирования выбираются для экспоненциального и нормального законов поступления заданий. Построенная в работе полиномиальная модель для экспоненциального закона позволяет определить возможные области оптимальных зна-

чений данного параметра для кластера, в котором можно отключать или подключать вычислительные ресурсы.

Это может быть использовано при разработке экономических стратегий работы кластеров Грид в случае известной интенсивности заданий или известных загрузок ресурсов, например, по дням недели или другим временным промежуткам.

Литература

1. Методы и модели планирования ресурсов в GRID-системах [Текст]: монография / В.С. Пономаренко, С.В. Листровой, С.В. Минухин, С.В. Знахур. – Х.: ИД «ИНЖЭК», 2008. – 408 с.
2. Петренко, А.І. Комп'ютерне моделювання грід-систем [Текст] / А.І. Петренко // *Електроніка і зв'язь 5'* Тематический выпуск «Електроніка і нанотехнології», 2010. – С. 40 – 48.
3. Минухин, С.В. Моделирование планирования ресурсов GRID средствами пакета GridSim [Текст] / С.В. Минухин, А.В. Коровин // *Системы обработки информации. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія.* – 2011. – Вып. 3(93). – С. 62 – 68.

4. Кореньков, В.В. Пакеты моделирования DataGrid [Электронный ресурс] / В.В. Кореньков, А.В. Нечаевский // Системный анализ в науке и образовании. – 2009. – № 1. – Режим доступа: <http://www.sanse.ru/archive/12>. – 12.02.2012 г.

5. Sulistio, A. *Simulation of Parallel and Distributed Systems: A Taxonomy and Survey of Tools*. [Text] / A. Sulistio, C.S. Yeo, R. Vuууа // *International Journal of Software Practice and Experience*, Wiley Press. – 2002. – P. 1 – 19.

6. RIKEN Integrated Cluster of Clusters [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://acc.riken.jp/ricc_e.html. – 12.02.2012 г.

7. The ANL Intrepid log [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cs.huji.ac.il/labs/parallel/workload/l_anl_int/index.html. – 12.02.2012 г.

8. *Standard Performance Evaluation Corporation* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spec.org>. – 12.02.2012 г.

Поступила в редакцию 12.02.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. специализированных компьютерных систем С.В. Листровой, Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ РЕСУРСІВ ДЛЯ РІЗНИХ ІНТЕНСИВНОСТЕЙ ПОТОКІВ ЗАВДАНЬ У ГРІД

С.В. Мінухін, С.В. Знахур

Розглянуто питання імітаційного моделювання при використанні різних планувальників ресурсів Грід. Проведено статистичний аналіз реальних потоків завдань кластерів Грід, розраховані характеристики розподілу завдань яких використовуються для налаштування імітаційної моделі і подальшого моделювання системи. Отримано результати моделювання роботи Грід в умовах використання різних значень характеристик потоків завдань, ресурсів і періодичності планування. Для оптимізації роботи алгоритмів планування побудовані регресійні моделі між розрахованими значеннями метрик продуктивності Грід-систем. Показані напрямки покращення роботи запропонованого в роботі евристичного алгоритму планування в залежності від зміни інтенсивності потоку завдань і кількості ресурсів системи.

Ключові слова: алгоритм, Грід-система, закон розподілу, кластер, мінімальне покриття, параметри моделі, планувальник, симуляція.

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF METHODS OF RESOURCE SCHEDULING FOR VARIOUS DENSITY OF TASKS IN GRID

S.V. Minukhin, S.V. Znakhur

The problems of simulation by using different Grid resource schedulers are developed. A statistical analysis of real workflows Grid clusters, calculated characteristics of the distribution of tasks which are used to adjust the simulation model and subsequent simulation of the system. The results of the simulation Grid in the use of different values of the characteristics of the workflows, resources, and periodicity of scheduling. In order to optimize the scheduling algorithms are constructed regression of the dependence between the calculated values of the performance metrics of Grid systems. Showing the direction of improving the work proposed in a heuristic scheduling algorithm based on changes in the intensity of the workflows and the amount of system resources.

Keywords: algorithm, Grid-system, the laws of distribution, the cluster, minimal cover, parameters of the model, the scheduler, simulation.

Мінухін Сергей Владимирович – канд. техн. наук, доцент, профессор каф. информационных систем, Харьковский национальный экономический университет, Харьков, Украина, e-mail: ms_vl@mail.ru.

Знахур Сергей Викторович – канд. экон. наук, доцент, доцент каф. информационных систем, Харьковский национальный экономический университет, Харьков, Украина, e-mail: sergznakhur@mail.ru.