

---

УДК 004.75

С.В. Минухин

*Харьковский национальный экономический университет  
имени Семена Кузнеця, Харьков*

## **МЕТОДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАНИЙ МЕЖДУ ПРОЦЕССОРАМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА, ИСПОЛЬЗУЮЩИМИ СРЕДСТВА МАСШТАБИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ**

*Рассмотрены методы распределения независимых заданий, одновременно поступающих на выполнение на параллельные процессоры вычислительного кластера. Предложены методы распределения заданий для однородных и неоднородных кластерных архитектур, отличающиеся методами предварительной сортировки заданий входного потока. Показано, что для достижения требуемого уровня балансировки меж-процессорной загрузки для кластера с однородной архитектурой целесообразно распределение заданий с предварительной сортировкой входного потока по убыванию их длительности, для кластера с неоднородной архитектурой – использование сортировки заданий по убыванию их плотности, используемой для построения допустимого расписания выполнения заданий, оптимизирующего энергопотребление процессора. Приведены результаты вычислительных экспериментов, подтверждающие обеспечение высокого уровня балансировки загрузки за счет применения предложенных методов для различного количества и типов процессоров вычислительного кластера.*

**Ключевые слова:** *задание, распределение, масштабирование частоты, сортировка, длительность, плотность задания, вычислительный кластер, средний коэффициент использования, процессор.*

### **Введение**

Одной из актуальных задач эксплуатации вычислительных ресурсов является разработка методов, обеспечивающих оптимизацию энергопотребления процессорами и минимизацию времени выполняемых на них заданий. Следует отметить, что приведенные задачи связаны между собой: минимизация времени работы процессора при выполнении потока заданий, в общем случае, позволяет снизить уровень энергопотребления, однако в рамках штат-

ного режима эксплуатации вычислительных устройств, так как его нарушение приводит к увеличению затрат на используемое вспомогательное оборудование (например, систему охлаждения). С другой стороны, простаивание процессора приводит к неоправданному уменьшению коэффициента загрузки (использования) и увеличению холостого времени работы процессоров (узлов). При этом для обеспечения работы процессора в штатном режиме также возникает задача ограничения коэффициента загрузки, что в условиях потока заданий высокой

интенсивности требует дополнительного использования методов распределения заданий между параллельно работающими узлами (процессорами) вычислительного кластера.

Таким образом, задача оптимизации энергопотребления вычислительным кластером является, в общем случае, многокритериальной задачей. Перспективными методами ее решения являются методы, включающие следующие этапы:

на первом этапе задания (работы) сортируются по определенному правилу, учитывающему длительность заданий;

на втором этапе осуществляется планирование выполнения заданий на отдельных процессорах (узлах) вычислительного кластера (многопроцессорной системы) таким образом, чтобы обеспечить равномерную загрузку узлов, заключающуюся в получении равных коэффициентов использования процессоров и параметра балансировки загрузки, рассчитываемого как среднее квадратическое отклонение коэффициента загрузки процессора от математического ожидания этого коэффициента по всем процессорам кластера – чем меньше его значение, тем выше уровень балансировки загрузки.

Последнюю задачу можно решить на основе расчета текущего значения коэффициента использования после распределения множества заданий, мощность которого определяется количеством процессоров вычислительной системы, или путем расчета отношения времени завершения последнего задания из входного потока к его директивному сроку.

Методы распределения заданий в вычислительных кластерах с масштабируемыми частотой и напряжением процессоров рассмотрены в работах [1, 2], в которых показано, что на выбор метода распределения влияет архитектура вычислительного кластера (многопроцессорной системы): если кластер состоит из однородных вычислительных устройств (процессоров), целесообразно использовать препроцессорную сортировку заданий (работ) по убыванию их длительности, если кластер имеет неоднородную архитектуру, то следует использовать сортировку заданий по их плотности [1], а после каждого шага распределения заданий на процессоры использовать методы масштабирования их частот, предложенные в [2].

**Целью данного исследования** является исследование и сравнительный анализ методов распределения потока заданий, одновременно поступающих на вычислительный кластер для выполнения заданий, имеющих произвольные длительности и директивные сроки. При решении поставленной задачи рассматриваются вычислительные кластеры с однородной и неоднородной архитектурой, имеющие ограниченное количество узлов (процессоров).

## Методы распределения заданий между процессорами вычислительного кластера с однородной архитектурой

### *Метод 1 [1].*

Этап 1. Сортируем все задания, одновременно поступившие на выполнение, в порядке убывания их длительности (LJF). Если таких заданий несколько, первым располагается задание, имеющее меньший директивный срок выполнения.

Этап 2. Распределяем множество заданий, равное количеству процессоров, по методу Round Robin. Рассчитываем коэффициент загрузки каждого процессора и время завершения выполнения задания.

Этап 3. Распределяем из оставшихся нераспределёнными заданий множество заданий, равное количеству процессоров, согласно следующей процедуре: первое, то есть самое длинное задание, распределяется на процессор, имеющий наименьшее текущее значение среднего коэффициента использования; если таких процессоров несколько, выбирается тот, на котором время завершения последнего задания наименьшее, следующее задание распределяется на процессор меньшим коэффициентом использования и т.д. до тех пор, пока все задания текущего множества не будут распределены.

Этапы 2, 3 повторяем до тех пор, пока все задания входного потока не будут распределены.

### *Метод 2.*

Этап 1. Сортируем все задания, одновременно поступившие на выполнение, в порядке убывания величины их плотности (HDF). Если таких заданий несколько, первым располагается задание, имеющее большую длительность.

Этап 2. Распределяем множество заданий, равное количеству процессоров, по методу Round Robin. Рассчитываем коэффициент загрузки каждого процессора и время завершения выполнения задания.

Этап 3. Распределяем из оставшихся нераспределёнными заданий множество заданий, равное количеству процессоров, согласно следующей процедуре: первым распределяется задание с наибольшей плотностью на процессор, имеющий наименьшее текущее значение среднего коэффициента использования; если таких процессоров несколько, выбирается тот, на котором время завершения последнего задания наименьшее, следующее задание распределяется на процессор меньшим коэффициентом использования и т.д. до тех пор, пока все задания текущего множества не будут распределены.

Этапы 2, 3 повторяем до тех пор, пока все задания входного потока не будут распределены.

Зависимости среднего коэффициента использования процессора, времени выполнения заданий на процессоре кластера для методов распределения

заданий LJF и HDF приведены на рис. 1, 2, параметра балансировки загрузки для различных методов

распределения заданий на процессоры – на рис. 3, 4 соответственно.

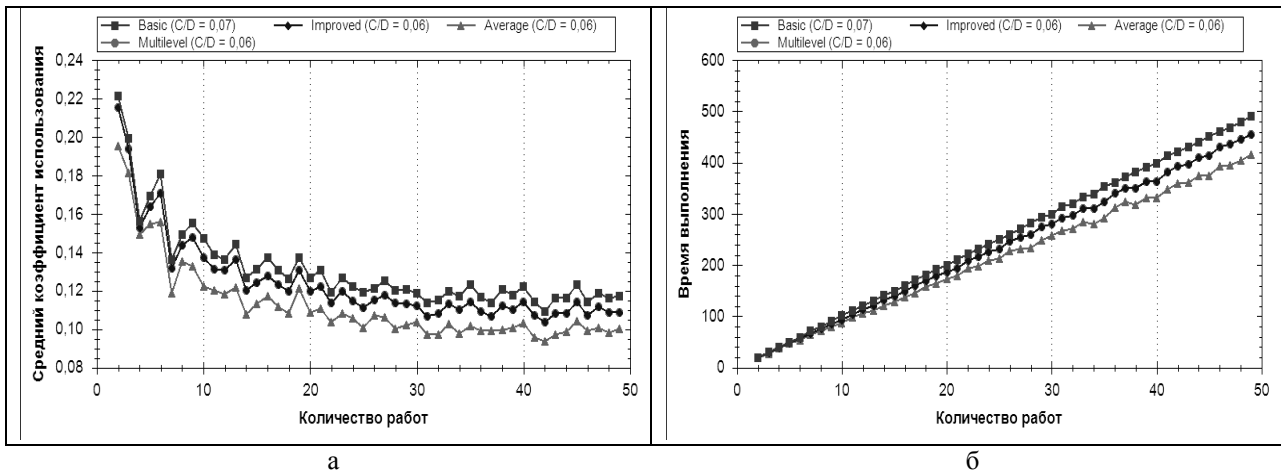


Рис. 1. Зависимость среднего коэффициента использования (а) и времени выполнения (б) от количества работ для процессора кластера для метода LJF (500 работ, 10 процессоров)

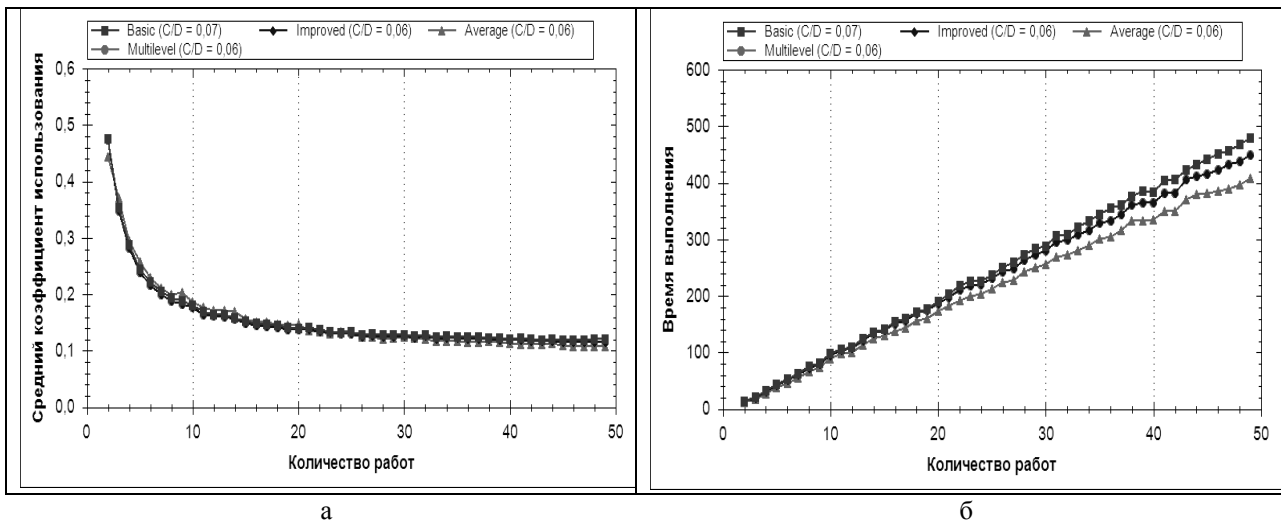


Рис. 2. Зависимость среднего коэффициента использования (а) и времени выполнения (б) от количества работ для процессора кластера для метода HDF (500 работ, 10 процессоров)

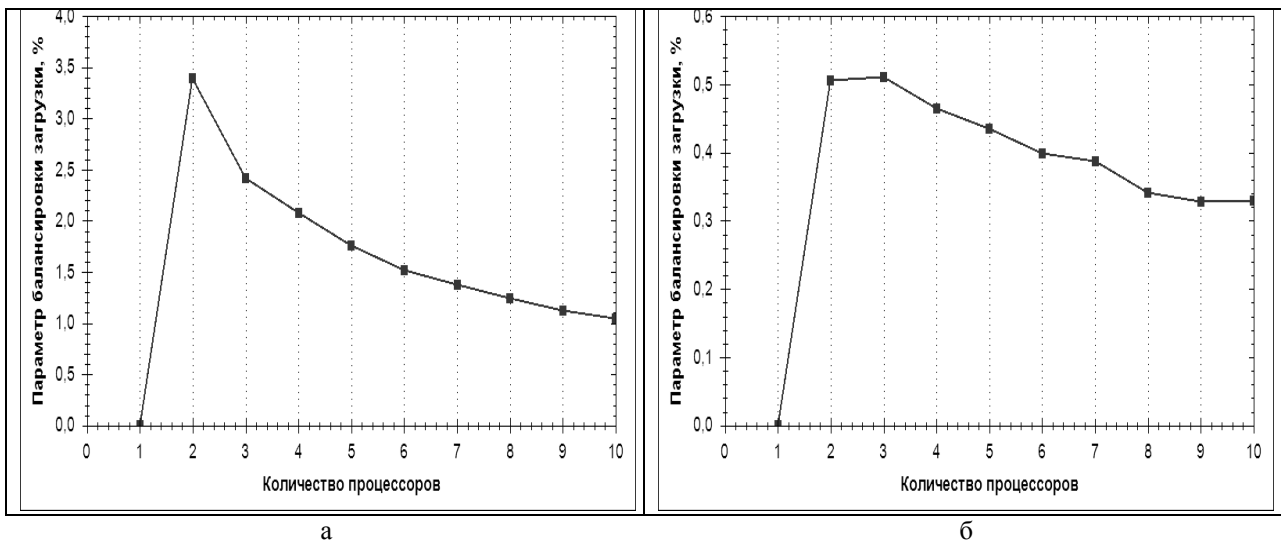


Рис. 3. Зависимость параметра балансировки загрузки процессоров для метода LJF (а) и для метода HDF (б) от количества процессоров (500 работ, 10 процессоров)

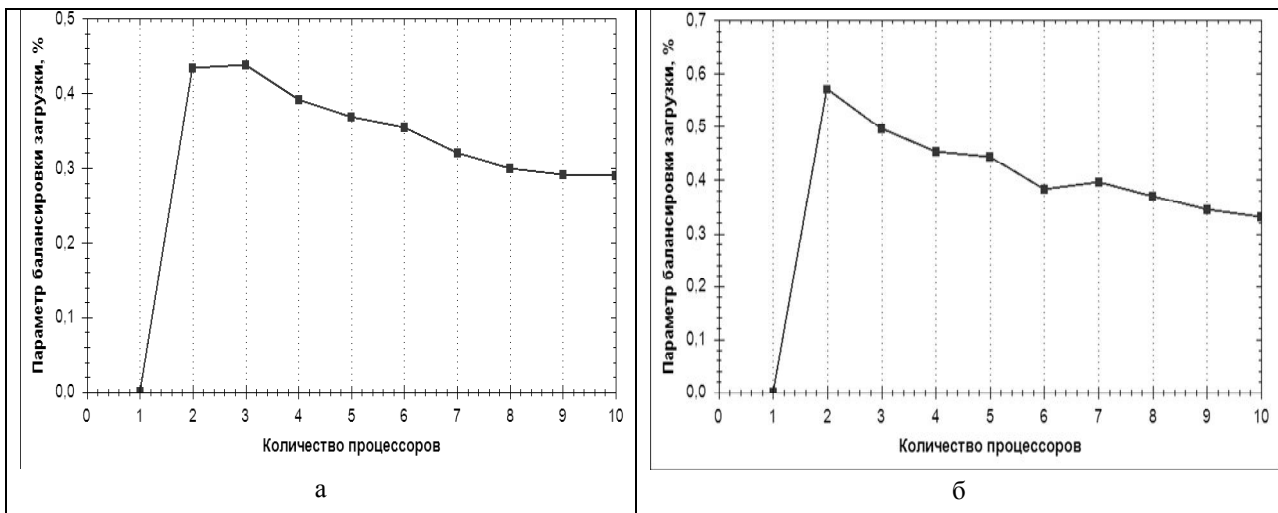


Рис. 4. Зависимость параметра балансировки загрузки процессоров для метода Round Robin (а) и для метода Round Robin с сортировкой HDF (б) от количества процессоров (500 работ, 10 процессоров))

### Методы распределения заданий между процессорами вычислительного кластера с неоднородной архитектурой

#### Метод 1 [1].

Этап 1. Сортируем все задания, одновременно поступившие на выполнение, в порядке убывания их длительности (LJF). Если таких заданий несколько, первым располагается задание, имеющее меньший директивный срок выполнения.

Этап 2. Сортируем процессоры в порядке убывания их относительной скорости (частоты) [1]; если процессоров с одинаковой скоростью несколько, то выбираем любой из них.

Этап 3. Распределяем множество заданий, равное количеству процессоров, согласно процедуре: задание с большей длительностью распределяется на процессор с большей скоростью (частотой). Рассчитываем коэффициент загрузки каждого процессора и время завершения выполнения на нем заданий.

Этап 4. Распределяем из оставшихся нераспределёнными заданий множество заданий, равное количеству процессоров, следуя процедуре: первое, то есть самое длинное задание из множества, распределяется на процессор, имеющий наименьшее текущее значение среднего коэффициента использования; если таких процессоров несколько, выбирается тот, на котором время завершения последнего задания наименьшее, следующее задание распределяется на процессор с меньшим коэффициентом использования и т.д. до тех пор, пока все задания текущего множества не будут распределены.

Этапы 2, 3 повторяем до тех пор, пока все задания входного потока не будут распределены.

#### Метод 2 [1].

Этап 1. Сортируем все задания, одновременно поступившие на выполнение, в порядке убывания величины их плотности (HDF). Если таких заданий несколько, первым располагается задание, имеющее большую длительность.

Этап 2. Распределяем множество заданий, равное количеству процессоров, по методу Round Robin. Рассчитываем коэффициент загрузки каждого процессора и время завершения выполнения задания.

Этап 3. Распределяем из оставшихся нераспределёнными заданий множество заданий, равное количеству процессоров, согласно следующей процедуре: первым распределяется задание с наибольшей плотностью на процессор, имеющий наименьшее текущее значение среднего коэффициента использования; если таких процессоров несколько, выбирается тот, на котором время завершения последнего задания наименьшее, следующее задание распределяется на процессор меньшим коэффициентом использования и т.д. до тех пор, пока все задания текущего множества не будут распределены.

Этапы 2, 3 повторяем до тех пор, пока все задания входного потока не будут распределены.

#### Метод 3.

Этап 1. Сортируем все задания, одновременно поступившие на выполнение, в порядке убывания их длительности (LJF). Если таких заданий несколько, первым располагается задание, имеющее меньший директивный срок выполнения.

Этап 2. Сортируем процессоры в порядке убывания их относительной скорости (частоты).

Этап 3. Распределяем задания в количестве, равном количеству процессоров, в соответствии с алгоритмом Round Robin.

Этапы 2, 3 повторяем до тех пор, пока все задания входного потока не будут распределены на процессоры.

**Метод 4 [1].**

Этап 1. Сортируем все задания, одновременно поступившие на выполнение, в порядке убывания их плотности (HDF). Если таких заданий несколько, первым располагается задание, имеющее большую длительность.

Этап 2. Сортируем процессоры в порядке убывания их относительной скорости (частоты).

Этап 3. Распределяем задания в количестве, равном количеству процессоров, в соответствии с алгоритмом Round Robin.

Этапы 2, 3 повторяем до тех пор, пока все задания входного потока не будут распределены на процессоры.

Таким образом, предложенные методы масштабирования частоты (скорости) процессоров вычислительного кластера используют характеристики процессоров и выполняемых заданий, что позволяет в зависимости от получаемого уровня загрузки отдельного процессора осуществить обоснованный выбор метода масштабирования частоты для оди-

ночного процессора, и обеспечить системному администратору вычислительного кластера принять решение, соответствующее поддержке условий работы кластера в штатном режиме.

Результаты моделирования предложенных методов распределения заданий на неоднородной кластерной архитектуре приведены на рис. 5, 6.

Анализ полученных результатов моделирования методов распределения заданий на неоднородном вычислительном кластере показал:

методы распределения заданий, использующие препроцессорную сортировку заданий по убыванию их плотности, являются более предпочтительными для обеспечения балансировки загрузки процессоров. Это объясняется тем, все методы масштабирования частоты одиночных процессоров используют этот параметр для получения расписания выполнения заданий, обеспечивающих минимальное время выполнения и оптимизацию энергопотребления;

лучший результат балансировки загрузки позволяет получить метод с предварительной сортировкой типа HDF и использованием текущего значения среднего коэффициента загрузки процессоров.

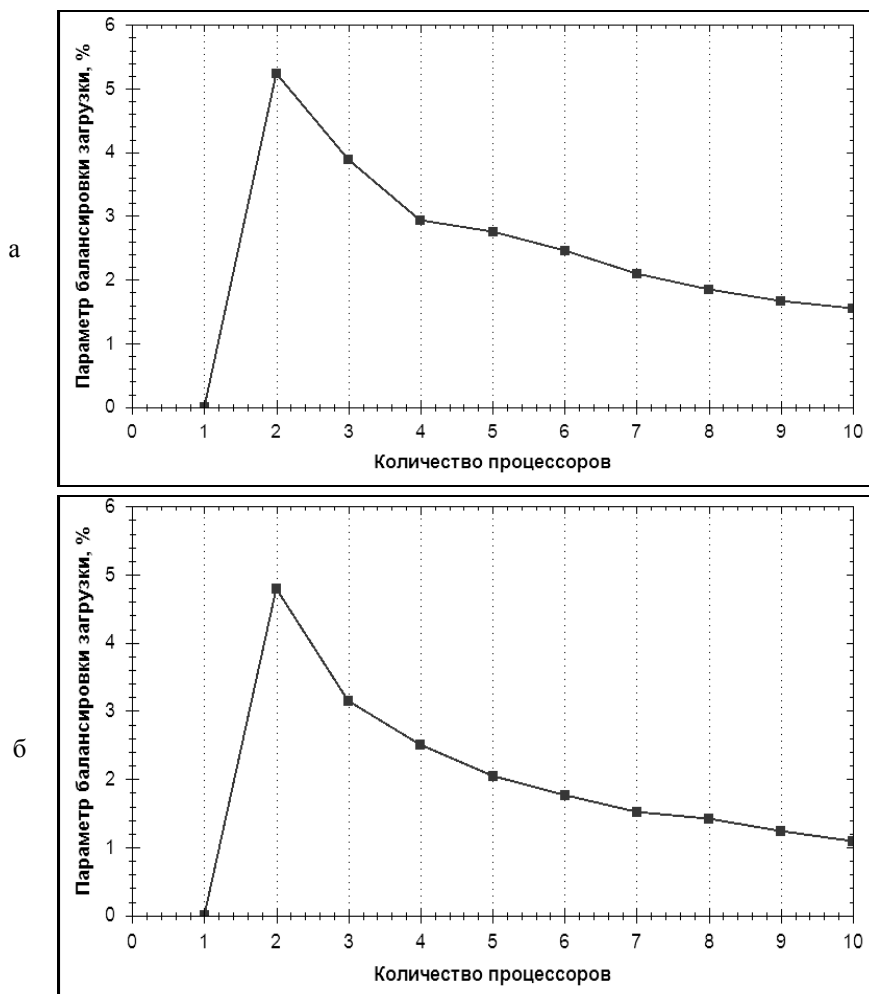


Рис. 5. Зависимость параметра балансировки загрузки процессоров для метода LJF (а) и для метода HDF (б) от количества процессоров (500 работ, 10 процессоров, типов процессоров – 2)

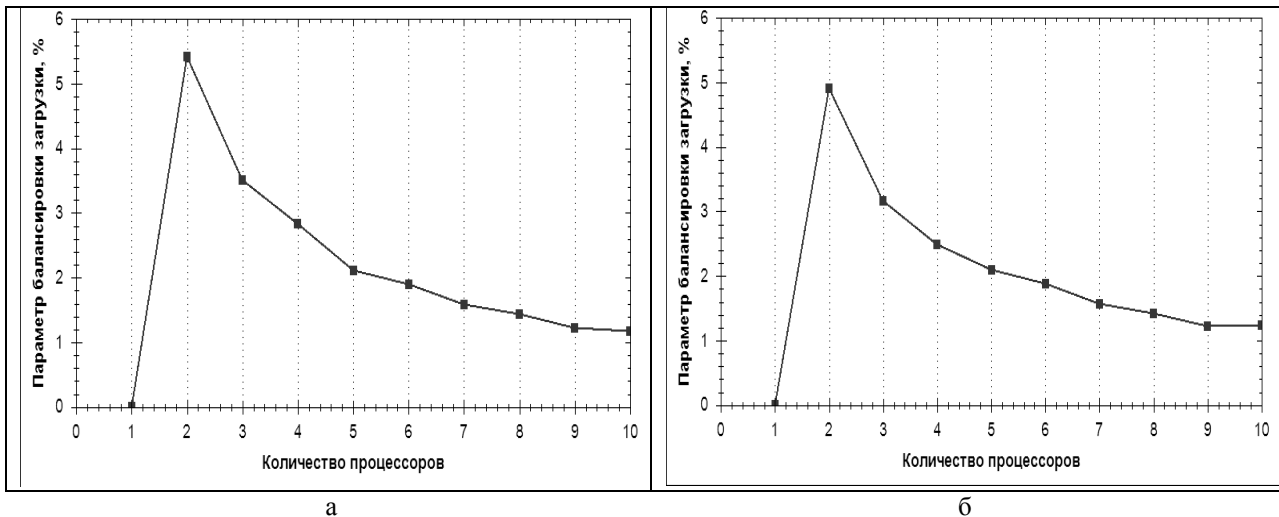


Рис. 6. Зависимость параметра балансировки загрузки процессоров для метода Round Robin (а) и для метода Round Robin с HDF (б) от количества процессоров (500 работ, 10 процессоров, типов процессоров – 2)

### Выводы

Предложены методы распределения заданий в вычислительных кластерах с процессорами, использующими встроенные средства масштабирования частоты, применение которых позволяет получить высокий уровень балансировки загрузки и обеспечить энергоэффективное расписание выполнения заданий.

### Список литературы

1. Минухин С.В. Алгоритмы, программная архитектура и информационная технология моделирования методов масштабирования скоростей параллельных про-

цессоров вычислительного кластера / С.В. Минухин, М.И. Сухонос // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 62 (1035). – С. 78-92.

2. Минухин С.В. Алгоритмы оптимизации энергопотребления и повышения эффективности процессоров с масштабированием частоты и напряжения гетерогенного кластера / С.В. Минухин, М.И. Сухонос // International Conference Parallel and Distributed Computing Systems PDCS 2013. – 2013. – P. 209-217.

Поступила в редколлегию 19.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Алексеев, Харьковский национальный автомобильный университет, Харьков.

### МЕТОДИ РОЗПОДІЛУ ЗАВДАНЬ МІЖ ПРОЦЕСОРАМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО КЛАСТЕРА, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ ЗАСОБИ МАСШТАБУВАННЯ ЧАСТОТИ

С.В. Мінухін

Розглянуто методи розподілу незалежних завдань, одночасно надходять на виконання на паралельні процесори обчислювального кластера. Запропоновано методи розподілу завдань для однорідних і неоднорідних кластерних архітектур, що відрізняються методами попереднього сортування завдань вхідного потоку. Показано, що для досягнення необхідного рівня балансування міжпроцесорного завантаження для кластера з однорідною архітектурою доцільним є розподіл завдань з попереднім сортуванням вхідного потоку за зменшенню їх тривалості, для кластера з неоднорідною архітектурою - використання сортування завдань за зменшенню їх щільності, використаної для побудови допустимого розкладу виконання завдань, який оптимізує енергоспоживання процесора. Наведено результати обчислювальних експериментів, що підтверджують забезпечення високого рівня балансування завантаження за рахунок застосування запропонованих методів для різної кількості і типів процесорів обчислювального кластера.

**Ключові слова:** завдання, розподіл, масштабування частоти, сортування, тривалість, щільність завдання, обчислювальний кластер, середній коефіцієнт використання, процесор.

### METHODS OF TASKS ALLOCATIONS BETWEEN PROCESSORS OF COMPUTING CLUSTER WHICH UTILIZES THE FREQUENCY SCALING

S.V. Minukhin

The methods of independent tasks allocations which are coming at the same time for running on the parallel processors of computing cluster are developed. The methods of job allocation for homogeneous and heterogeneous cluster architectures, different methods of pre-sorting of the input stream of tasks are developed. It is shown that to achieve the desired level of load balancing for the cluster inter-processor with a homogenous architecture advisable distribution of tasks with a preliminary sorting of the input stream is descending their duration, for a cluster with heterogeneous architecture - using sorting tasks in descending order of density, used to construct a feasible schedule assignments that optimizes power consumption of the processor. The results of computational experiments confirming the provision of a high level of load balancing through the use of the proposed methods for different amounts and types of processors of computing cluster.

**Keywords:** task, allocation, frequency scaling, sorting, duration, task density, computing cluster, the average utilization rate, processor.