

УДК 004.75

Ю.Ю. Жебель<sup>1</sup>, С.Н. Нечаусов<sup>1</sup>, А.В. Шевченко<sup>2</sup><sup>1</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков<sup>2</sup>Национальный университет обороны Украины, Киев

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ ПОТОКА ЗАДАЧ НА GRID-РЕСУРСЫ

Рассмотрена система Grid (назначение, структура, архитектура, метапланировщик GridWay) и проведена ее анализ. Проанализирована проблема равномерного распределения задач на ресурсах системы Grid. Представлен метод экспоненциального сглаживания. Предложена модель прогнозирования нагрузки потока задач на ресурсы Grid, основанная на методе экспоненциального сглаживания.

**Ключевые слова:** Grid-система, Grid-ресурсы, метапланировщик GridWay, операционная система, система прогнозирования, метод экспоненциального сглаживания, поток задач.

### Введение. Проблема распределения задач в системе Grid

С ростом потребности решения большого количества трудоемких задач становятся актуальными распределенные вычисления. В связи с этим все большую популярность приобретает система распределенных вычислений Grid. Вначале Grid-технологии предназначались для решения сложных научных и инженерных задач, которые невозможно решить в разумные сроки на отдельных вычислительных установках. Однако теперь область применения технологий Grid не ограничивается только этими типами задач. По мере своего развития Grid проникает в промышленность и бизнес, претендуя на роль универсальной инфраструктуры для обработки данных, в которой функционирует множество служб (Grid Services), позволяющих решать не только конкретные прикладные задачи, но и предлагающих услуги по поиску необходимых ресурсов, сбору информации о состоянии ресурсов, сохранению и доставке данных.

Существует несколько причин, использования Grid-технологии.

Во-первых, часто необходимо обработать огромное количество данных, хранящихся в разных организациях (возможно, размещенных в разных частях света). Примером здесь может служить задача обработки снимков Земли, полученных со спутников.

Во-вторых, необходимо при исследованиях выполнить огромное количество вычислений. Например, при моделировании влияния тысяч молекул (потенциальных лекарственных препаратов) на белки при поиске лекарств для определенных болезней.

В-третьих, научная команда, члены которой работают в разных частях земного шара, хочет совместно использовать большие массивы данных, быстро и интерактивно осуществлять их комплексный анализ, визуализировать и обсуждать результаты в онлайн-режиме.

Решаемые при этом задачи имеют большое значение для разных фундаментальных научных исследований и проектных работ. К таким задачам можно отнести изучение эволюции протопланетного вещества, планет и Земли; общее метеорологическое прогнозирование и прогноз различных стихийных бедствий (цунами, землетрясений, извержений вулканов); моделирование и анализ экспериментов в ядерной физике; исследования в области нанотехнологии, проектирование аэрокосмических аппаратов и автомобилей, расшифровка ДНК и идентификация протеинов и т. д.

Таким образом, с увеличением роста количества задач, ресурсов и пользователей системы Grid становится актуальной проблема распределения задач согласно критериям, выдвигаемым пользователями, например:

- максимизация быстродействия (получение результата);
- повышение точности результата;
- минимизация стоимости вычислений и т. д.

Одним из способов решения данной проблемы является прогнозирование времени выполнения задачи, которое позволит равномерно загрузить имеющиеся ресурсы, снизив при этом время простоя свободных ресурсов.

Одним из методов прогнозирования является метод экспоненциального сглаживания.

## 1. Анализ предметной области

### 1.1. Назначение Grid

Надо признать, что идеи Grid пока еще не очень широко распространены. Совсем недавно Интернет и Web тоже были известны только узкому кругу профессионалов. Однако в 2006 году число пользователей Интернета превысило миллиард. Есть основания полагать, что через некоторое время и Grid приобретет не меньшую популярность. Его нынешнее состояние можно сравнить с Интернетом «образца» 1997 года и признать, что потенциал и темпы роста Grid отнюдь не ниже, чем были тогда [1].

Если переводить дословно, Grid означает «решетка». Согласитесь, ассоциации, связанные в нашем языке с этим словом, совсем не соответствуют смыслу свободной кооперации компьютеров для высокопроизводительных вычислений, заложенному в технологиях Grid. Ближе всего по смыслу, пожалуй, power Grid — сеть электропитания, распределенный ресурс общего пользования, когда каждый может легко подключиться через розетку и использовать столько электроэнергии, сколько ему требуется. Аналогично пользователи с помощью Grid получают возможность прямого подключения к удаленной вычислительной сети, не интересуясь, откуда именно берутся требуемые для работы вычислительные ресурсы и данные, какие для этого используются линии передачи, пароли или протоколы и т. п.

Потенциал технологий Grid уже сейчас оценивается очень высоко: он имеет стратегический характер, и в близкой перспективе Grid должен стать вычислительным инструментарием для развития высоких технологий в различных сферах человеческой деятельности, подобно тому, как подобным инструментарием стали персональный компьютер и интернет. Такие высокие оценки можно объяснить способностью Grid на основе безопасного и надежного удаленного доступа к ресурсам глобально распределенной инфраструктуры решить две проблемы:

- создание распределенных вычислительных систем сверхвысокой пропускной способности из серийно выпускаемого оборудования (показатели производительности: агрегированная мощность более 1 терафлоп, объем обрабатываемых данных более 1 петабайта в год) при одновременном повышении эффективности (до 100%) имеющегося парка вычислительной техники путем предоставления в Grid временно простаивающих ресурсов;
- создание широкомасштабных систем мониторинга, управление, комплексного анализа и обслуживания с глобально распределенными источниками данных, способных поддерживать жизнедеятельность государственных структур, организаций и корпораций.

## 1.2. Структура Grid

Для полноценного и безопасного функционирования Grid-системы необходимо наличие промежуточного программного обеспечения (ППО), состоящего из определенных подсистем [2]. Число подсистем зависит от сложности системы Grid: более простые системы могут иметь только часть представленных подсистем или использовать их упрощенный вариант с ограничением функциональности. За основу для описания архитектуры выберем ППО gLite, которое является базовым ППО в WLCG.

Любая система Grid включает в себя следующие базовые структурные компоненты: совокупность компьютеров с установленными на них поль-

зовательскими интерфейсами; совокупность ресурсов центров, включающих в себя вычислительные ресурсы и ресурсы хранения данных; совокупность базовых Grid-сервисов.

Пользовательский интерфейс (User Interface, UI) предназначен для обеспечения доступа пользователя к ресурсам Grid. Через него пользователь осуществляет следующие действия:

- осуществляет запуск задач на выполнение;
- контролирует процесс выполнения задания;
- получает результаты выполнения задания;
- пересылает данные с одного ресурса хранения данных на другой.

Ресурсный центр включает в себя два типа ресурсов:

- вычислительные ресурсы, на которых производится само выполнение заданий; служба, представляющая вычислительный ресурс в Grid, называется «Вычислительный элемент» (Computing Element, CE);
- ресурсы хранения данных (Storage Element, SE), которые обеспечивают хранение и транспортировку данных между аналогичными ресурсами или данным ресурсом и пользователем в среде Grid.

Базовые Grid-сервисы обеспечивают работу всей Grid-системы и подразделяются на следующие подсистемы:

- подсистема управления загрузкой (Workload Management System, WMS). Она управляет заданиями, запущенными пользователями, осуществляет поиск ресурсов, запрошенных заданием, и планирует выполнение задания на подходящем вычислительном кластере. Также она следит за статусом выполнения задания и позволяет пользователю получить результат после его выполнения;
- подсистема управления данными (Data Management System, DMS). Обеспечивает доступ к системам хранения различных видов, существующих в ресурсных центрах. Состоит из службы файлового каталога и службы каталога метаданных;
- подсистема информационного обслуживания и мониторинга Grid-системы (Information System, IS). Решает задачу сбора и управления данными о состоянии Grid-инфраструктуры;
- подсистема безопасности и контроля прав доступа (Grid Security Infrastructure, GSI). Состоит из службы выдачи и поддержки сертификатов (Certificate Authority, CA), службы регистрации виртуальных организаций и пользователей, службы управления виртуальными организациями и выдачи прокси-сертификатов (Virtual Organization Membership Service, VOMS), службы продления прокси-сертификата (MyProxy Service, MP). В задачи этой подсистемы входит обеспечение аутентификации и авторизации между различными компонентами Grid-системы;

- подсистема протоколирования (Logging and Bookkeeping, LB), отслеживающая процесс выполнения заданий;

- подсистема учета (Accounting Subsystem, AS), предназначенная для учета использования вычислительных ресурсов.

По причине использования одного ППО географически распределенное множество ресурсов представляется для пользователей в качестве единого ресурса. Промежуточное ПО играет базовую роль в Grid, например, как роль операционной системы на персональном компьютере.

Таким образом, Grid-система имеет определенные базовые сервисы. Поэтому необходимо учитывать структуру Grid, ее взаимодействие с пользователем, а также принцип подключения ресурсов,

чтобы система прогнозирования, разрабатываемая в данной работе, правильно функционировала.

### 1.3. Архитектура Grid

Архитектура Grid определяет системные компоненты, цели и функции этих компонент и отражает способы взаимодействия компонент друг с другом [3]. Архитектура Grid представляет собой архитектуру взаимодействующих протоколов, сервисов и интерфейсов, определяющих базовые механизмы, посредством которых пользователи устанавливают соединения с Grid-системой, совместно используют вычислительные ресурсы для решения различного рода задач.

Архитектура протоколов Grid разделена на уровни (рис. 1).

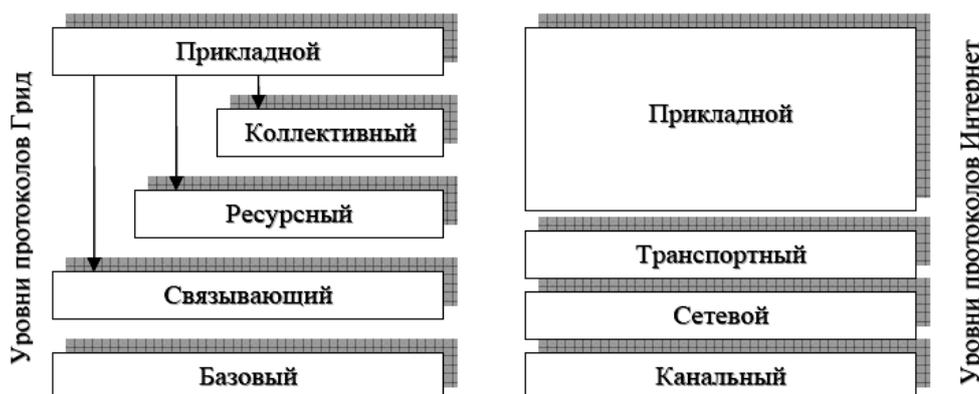


Рис. 1. Уровни архитектуры протоколов Grid и их соответствие уровням архитектуры протоколов Интернет

Компоненты каждого из них могут использовать возможности компонент любого из нижерасположенных уровней. В целом эта архитектура задает требования для основных компонент технологии (протоколов, сервисов, прикладных интерфейсов и средств разработки ПО), не предоставляя строгий набор спецификаций, оставляя возможность их развития в рамках принятой концепции.

### 1.4. Распределение задач с помощью метапланировщика GridWay

Выполнение задачи в Grid-среде является трехуровневым иерархическим процессом, на верхнем уровне которого находится метапланировщик [4], на среднем – локальные планировщики, а на нижнем – физические вычислительные ресурсы. В частности, такая иерархия поддерживается в системах на основе метапланировщика GridWay платформы Globus Toolkit или брокера ресурсов Resource Broker платформы gLite [5] (рис. 2). Задачи пользователей поступают в очередь метапланировщика заданий. Этот компонент, используя данные от информационных сервисов Grid-системы и передавая команды сервисам передачи данных и управления задачами, распределяет эти задачи по ресурсам Grid-системы, реализуя некоторый алгоритм планирования с уче-

том статистики, предоставляемой информационным сервисом MDS (Monitoring and Discovery System).

Поскольку задачи обработки данных характеризуются высокой вычислительной сложностью и большим объемом используемых данных, то очень важным является обеспечение синхронизации, как отдельных потоков выполнения, так и доступа к общим ресурсам, в частности хранилищам данных. Важно учитывать тот факт, что в структуре Grid-системы наблюдается фрактальность, т.е. синхронизацию доступа необходимо обеспечивать как на уровне метапланировщика и доступа к общему хранилищу (как к одному из общих ресурсов системы), так и на уровне локального планировщика и доступа к общей памяти вычислительных элементов.

Ситуация, когда группа задач или потоков выполнения одновременно использует общее сетевое хранилище или общую память, является достаточно распространенной в области обработки спутниковых данных и моделирования окружающей среды. Grid-система должна обеспечить прозрачную для пользователя обработку его запросов на поиск и обработку данных, в том числе, синхронизацию доступа к необходимым данным, обработку этих данных и предоставление пользователю результатов обработки.

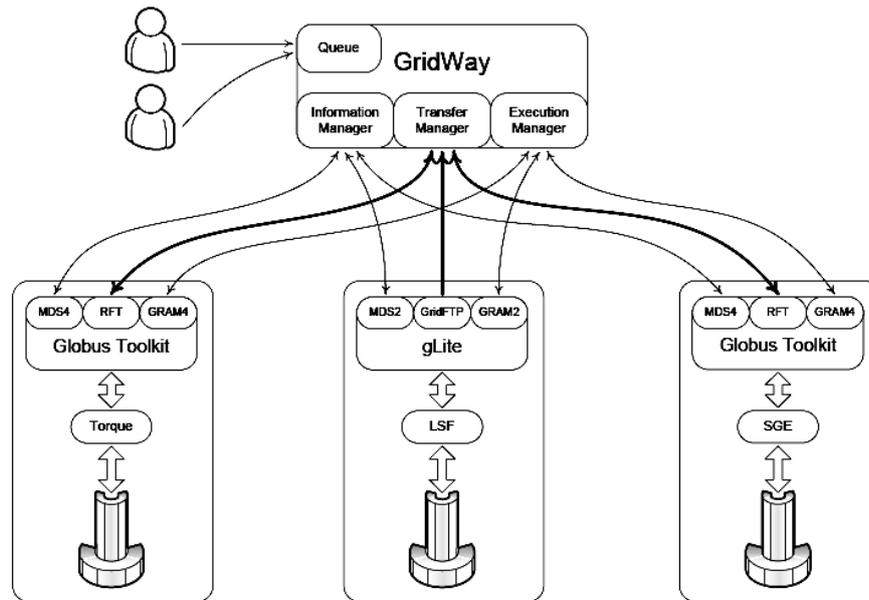


Рис. 2. Расположение GridWay в Grid-системе

Синхронизация доступа к данным и их корректная обработка предполагает выполнение некоторых базовых свойств, а именно:

- взаимное исключение (mutex) — синхронизация событий при обработке данных: два или более вычислительных узла не могут одновременно иметь доступ к общей области данных (общему хранилищу или общей памяти). Здесь и ниже в качестве вычислительного узла будем понимать либо отдельный вычислительный элемент, либо один из процессоров, входящих в его состав;
- равноправие или справедливость (fairness) — отсутствие дискриминации заданий. Если пользователь сформировал запрос (задание) и отправил его в систему, то обязательно наступит момент, когда это задание начнет выполняться и будет выполнено;
- отсутствие блокировок (deadlock free) — в системе не может возникнуть ситуация взаимной блокировки вычислений или доступа к данным (общим или распределенным).

## 2. Метод экспоненциального сглаживания

Экспоненциальное сглаживание — это очень популярный метод прогнозирования многих временных рядов. Исторически метод был независимо открыт Броуном и Холтом.

Простая и прагматически ясная модель временного ряда имеет следующий вид:

$$X_t = b + \varepsilon_t, \tag{1}$$

где  $b$  — константа;  $\varepsilon_t$  — случайная ошибка;  $X_t$  — наблюдение величины за текущий период.

Константа  $b$  относительно стабильна на каждом временном интервале, но может также медленно изменяться со временем. Один из интуитивно ясных способов выделения  $b$  состоит в том, чтобы исполь-

зовать сглаживание скользящим средним, в котором последним наблюдениям приписываются большие веса, чем предпоследним, а предпоследним — большие веса, чем пред-предпоследним и т.д. Простое экспоненциальное именно так и устроено. Здесь более старым наблюдениям приписываются экспоненциально убывающие веса, при этом, в отличие от скользящего среднего, учитываются все предшествующие наблюдения ряда, а не те, что попали в определенное окно. Точная формула простого экспоненциального сглаживания имеет следующий вид:

$$S_t = \alpha \cdot X_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}, \tag{2}$$

где  $S_t$  — прогнозируемое значение на следующий период; — постоянная сглаживания ( $0 < \alpha < 1$ );  $S_{t-1}$  — прежний сглаженный прогноз на период  $t$ .

Самый прямой способ оценки прогноза, полученного на основе определенного значения  $\alpha$  — построить график наблюдаемых значений и прогнозов на один шаг вперед. На рис. 3 параметр  $\alpha$  равен 0,1. При таком значении спрогнозированные величины — стабильны и случайные отклонения будут сглаживаться.

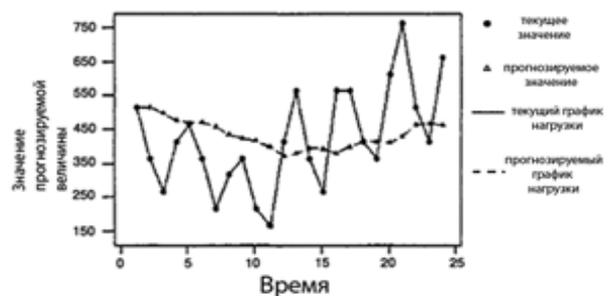


Рис. 3. Визуализация метода экспоненциального сглаживания при  $\alpha = 0,1$

Большее значение параметра  $\alpha$  имеет смысл в том случае, если нужна быстрая реакция на измене-

ния в спектре наблюдений. Данная ситуация проиллюстрирована на рис. 4 с параметром  $\alpha$ , равным 0,8.

Такая визуальная проверка точности прогноза часто дает наилучшие результаты.

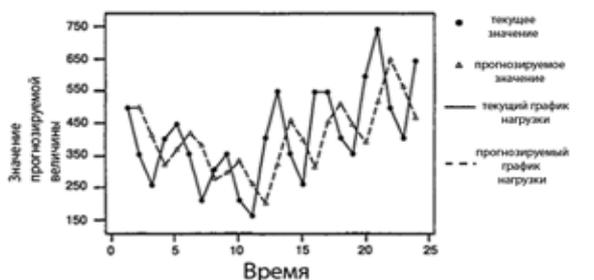


Рис. 4. Визуализация метода экспоненциального сглаживания при  $\alpha = 0,8$

### 3. Разработка модели системы

На основе анализа предметной области разработаем модель системы прогнозирования, которая представлена на рис. 5. Звездочками отмечены

блоки, реализующие систему прогнозирования в рамках существующей структуры Grid. Рассмотрим основные узлы, представленные на рис. 5:

- поток задач поступает в Grid-систему к планировщику GridWay;
- информация о поступивших задачах сохраняется в базе Workload history;
- собранная информация передается блоку статистической обработки, где строится модель потока задач и анализируются ее характеристики;
- результаты статистической обработки поступают на вход блока прогнозирования;
- блок прогнозирования формирует прогноз при помощи метода экспоненциального сглаживания относительно будущего характера потока задач (количество задач в единицу времени);
- основываясь на результатах прогноза, планировщик принимает решение о необходимости (или обоснованности) подключения дополнительных вычислительных ресурсов.

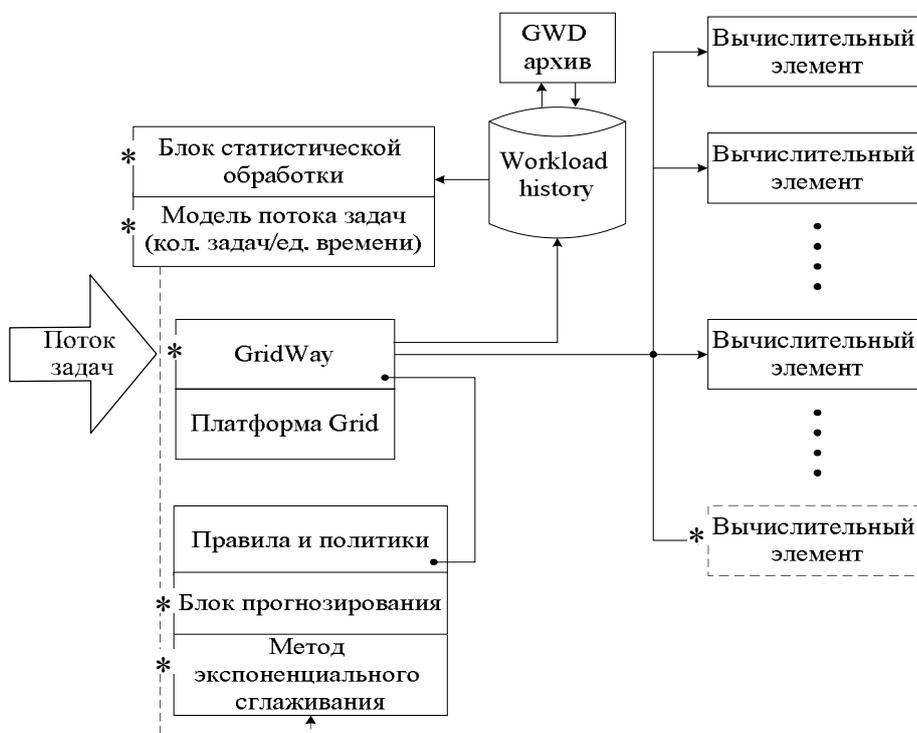


Рис. 5. Архитектурное размещение системы прогнозирования в структуре Grid

Таким образом, был разработан алгоритм функционирования системы прогнозирования в рамках Grid, который позволит избежать проблем, связанных с распределением задач в рамках рассмотренной системы.

### Заключение

В ходе разработки системы прогнозирования нагрузки потока задач на Grid-ресурсы было выполнено следующее:

- рассмотрена и проанализирована система Grid;

- проанализирована проблема распределения нагрузки на ресурсы Grid (здесь была поставлена четкая цель относительно решения сложившейся проблемы);
- проанализирована предметная область (рассмотрена структура и архитектура системы Grid);
- рассмотрен принцип работы метапланировщика GridWay;
- рассмотрен и выбран метод экспоненциального сглаживания;
- разработана модель прогнозирования нагрузки потока задач на ресурсы Grid.

**Список литературы**

1. Foster I. *The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations* / I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke // *International Journal of High Performance Computing Applications*. – 2001. – 15 (3). – P. 200-222.
2. Stockinger H. *Defining the Grid: a snapshot on the current view* / H. Stockinger // *The Journal of Supercomputing*. – 2007. – Vol. 42. – P. 3-17.
3. Treadwell J. *Open Grid Services Architecture Glossary of Terms Version 1.6. GFD.120. Hewlett-Packard. December 12, 2007.*
4. Foster I. *Globus: A Metacomputing Infrastructure Toolkit* / I. Foster, C. Kesselman // *International Journal of Supercomputer Applications*. – 1997. – 11 (2). – P. 115-128.

5. Платформа для Grid-вычислений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://glite.web.cern.ch/glite>.
6. Основное понятие веб-сервиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Web\\_service](http://en.wikipedia.org/wiki/Web_service).
7. Язык для описания требований вычислительных работ для представления ресурсам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://en.wikipedia.org/wiki/JSDL>.

Поступила в редколлегию 28.10.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

**ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ПОТОКУ ЗАВДАНЬ НА GRID-РЕСУРСИ**

Ю.Ю. Жебель, С.М. Нечаусов, О.В. Шевченко

Розглянута система Grid (призначення, структура, архітектура, метапланувальник GridWay) і проведений її аналіз. Проаналізована проблема рівномірного розподілу завдань на ресурсах системи Grid. Представлений метод експоненціального згладжування. Запропонована модель прогнозування навантаження потоку завдань на ресурси Grid, заснована на методі експоненціального згладжування.

**Ключові слова:** Grid-система, Grid-ресурси, метапланувальник GridWay, операційна система, система прогнозування, метод експоненціального згладжування, потік завдань.

**PREDICTION OF STREAM TASKS LOADING ON GRID-RESOURCE**

Yu. Yu. Zhebel', S.N. Nechausov, A.V. Shevchenko

The system of Grid (setting, structure, architecture, metaplanner GridWay) is considered and its analysis is conducted. The problem of the even distributing of tasks is analysed on the resources of the system of Grid. The method of the exponential smoothing out is presented. The model of prognostication of loading of stream of tasks is offered on the resources of Grid, based on the method of the exponential smoothing out.

**Keywords:** Grid-cucстема, Grid-ресурсы, metaplannerplanner GridWay, operating system, system of prognostication, method of the exponential smoothing out, stream of tasks.