

# Планирование вычислений и распределение ресурсов на основе предпочтений участников виртуальных организаций грид\*

В.В. Топорков, Д.М. Емельянов, П.А. Потехин

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

В статье предлагается подход для поддержки вычислений в грид с учетом предпочтений участников виртуальных организаций (пользователей, владельцев ресурсов и администраторов) с целью повышения качества обслуживания и эффективности использования ресурсов. Конкуренция за ресурсы как независимых пользователей, так и глобальных (пользовательских) и локальных потоков заданий собственников вычислительных узлов существенно усложняет проблему требуемого качества обслуживания. В данной работе исследуется подход, позволяющий в рамках циклической пакетной схемы планирования потока заданий учитывать предпочтения пользователей, а в некоторых случаях, и находить баланс между предпочтениями виртуальной организации и ее отдельных участников.

*Ключевые слова:* распределенные вычисления, планирование, виртуальная организация, экономические модели, предпочтения, поток заданий.

## 1. Введение

В больших системах распределенных вычислений, таких как грид, закономерным является образование виртуальных организаций (ВО). Зачастую предпочтения участников ВО по ряду причин являются противоречивыми. В частности, из-за конкуренции за использование разделяемых ресурсов между независимыми пользователями, пользовательских и локальных потоков заданий владельцев вычислительных узлов. Это требует использования многокритериальных моделей планирования и распределения вычислительных ресурсов. В ряде случаев весьма эффективны так называемые экономические модели выделения неотчуждаемых ресурсов и планирования распределенных вычислений в таких областях как коммерческий грид, вычислительные услуги, облачные вычисления, мультиагентные системы [1-3].

Политика ВО регламентирует механизмы взаимодействия между участниками ВО, правила распределения и использования доступных ресурсов, а также определяет квоты на их использование для пользователей, причем определение данных квот может носить как статический [4], так и динамический характер [5]. Кроме определения квот, политика ВО может обеспечивать оптимизацию планирования и выполнения заданий с целью достижения общих предпочтений. Это может быть максимизация пользовательских критериев при выполнении отдельных заданий [6, 7], балансировка загрузки доступных ресурсов [8], обеспечение порядка выполнения заданий и определение правил их приоритизации [9, 10], оптимизация планирования согласно заданному критерию [3, 11, 12].

На принципе регламентированного участия пользователей в ВО и доступа к ресурсам строится ряд крупнейших грид-инфраструктур, в частности, EGI (European Grid Infrastructure). В настоящее время наблюдается тенденция гибридации грид-инфраструктур, облачных сервисов и платформ [13-16]. В частности, интересен российский опыт интеграции облачной платформы Everest [13] как PaaS и грид-инфраструктуры EGI. Построение масштабируемых вычислительных сред и поддержка их функционирования, помимо грид-технологий (Globus Toolkit, Unicore, gLite, gUSE), облачных сервисов и платформ (Amazon EC2, IBM Cloud, VMware vCloud, Microsoft Azure, Everest), осуществляется на основе применения метапланировщиков,

---

\* Работа выполнена при содействии Совета по грантам Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ (шифры МК-4148.2015.9, НШ-6577.2016.9), РФФИ (проекты 15-07-02259, 15-07-03401), Минобрнауки России, задание № 2014/123 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания (проект 2268).

брокеров ресурсов и систем управления потоками заданий. Упомянем некоторые из известных проектов.

PanDA (<https://panda.gsi.de/>) – система управления потоком заданий, разработка которой начата группами Брукхейвенской Национальной лаборатории (BNL) и Техасского университета в Арлингтоне (UTA). Хорошая масштабируемость PanDA была продемонстрирована в ходе эксперимента ATLAS на LHC (ЦЕРН). Подсистема пилотов реализует позднюю привязку заданий к ресурсам, контролирует процесс их выполнения и позволяет скрыть неоднородность вычислительной среды. PanDA обеспечивает интеграцию в единую среду различных грид-инфраструктур, облачных платформ, кластеров, суперкомпьютеров.

DIRAC (<http://diracgrid.org>) – система, позволяющая интегрировать разнородные ресурсы (вычислительный грид, облачные платформы, кластеры) для решения задач в области физики высоких энергий. Успешно применяется в эксперименте LHCb (ЦЕРН). Комплекс DIRAC весьма эффективен для диспетчеризации заданий в вычислительной среде на базе требования JDL и приоритетов пользователей.

Ganga (<https://ganga.web.cern.ch/ganga/>) – инструментарий для управления вычислительными заданиями и доступа к ресурсам грид. Используется в экспериментах ATLAS и LHCb. Отличительной особенностью системы Ganga является работа со структурированными заданиями. Они могут включать в себя подзадания, выполняющиеся параллельно. Таким образом, может быть реализована оптимизация выполнения на уровне отдельных приложений.

Метапланировщик GridWay (<http://www.gridway.org/>) допускает эффективное разделение вычислительных ресурсов (кластеров, суперкомпьютеров, одиночных серверов) в пределах нескольких административных доменов. Он может использоваться в большинстве существующих грид-инфраструктур и в рамках платформ облачных вычислений.

Nimrod/G (<https://messagelab.monash.edu.au/NimrodG>) – один из первых проектов, в которых реализованы экономические принципы разделения ресурсов для управления выполнением заданий с учетом предпочтений пользователей.

Здесь мы привели обзор проектов, которые реализуют отдельные аспекты комплексного сочетания диспетчеризации потоков заданий, планирования на уровне приложений и осуществления политики предоставления и потребления ресурсов с учетом предпочтений всех участников ВО.

Стоит отметить, что между предпочтениями отдельных пользователей, и предпочтениями виртуальной организации, могут возникать конфликты. Так, пользователи чаще всего заинтересованы в наискорейшем выполнении собственных заданий при минимальных затратах. В то же время, политика ВО, может быть направлена на балансировку нагрузки доступных ресурсов или на максимизацию доходов владельцев ресурсов, что противоречит предпочтениями пользователей. Кроме того, само наличие экономических механизмов взаимодействия понижает стремление к кооперации [17] и объединению в ВО. Таким образом, для стабильного функционирования и сохранения состава ВО использующиеся в ней правила распределения ресурсов должны учитывать предпочтения всех участников распределенных вычислений. Важным условием для кооперации и объединения в ВО является справедливость этих правил. В различных подходах понятие справедливости понимается по-разному. Большое количество работ основано на теоретико-игровом понятии справедливости и теории кооперативных игр. К примеру, можно говорить о справедливости при определении и распределении квот на использование ресурсов [6, 18], или при задании порядка выполнения заданий от пользователей [9, 10]. В работе [19] предлагается подход к справедливому планированию в ВО без введения экономических взаимоотношений.

В циклической схеме планирования (ЦСП) [20-22] понятие справедливости разделения ресурсов выражается в предоставлении каждому участнику ВО механизмов, позволяющих воздействовать на результаты планирования согласно собственным предпочтениям. Задача администраторов заключается в применении и настройке данных механизмов для обеспечения эффективного функционирования ВО.

Основной задачей данной работы является разработка механизмов планирования распределенных вычислений, учитывающих предпочтения различных участников ВО, а также подходов для выбора компромиссных решений задачи планирования. Главное отличие предлагаемого подхода от известных решений заключается в использовании стратегий организации распреде-

ленных вычислений на основе интеграции механизмов управления потоками заданий и планирования параллельных заданий в вычислительных узлах с целью повышения качества обслуживания и эффективности использования ресурсов распределенных вычислительных сред.

Статья организована следующим образом. Раздел 2 содержит описание основных компонентов модели планирования распределенных вычислений. В разделе 3 предлагаются новый подход для учета предпочтений участников виртуальных организаций, а также различные показатели полезности выполнения заданий. В разделе 4 приведены детали имитационного моделирования выполнения потока заданий. В разделе 5 представлены результаты проведенного моделирования, предложены различные варианты выбора компромиссного решения задачи планирования. Наконец, в разделе 6 излагаются основные выводы и обозначаются направления дальнейших исследований.

## **2. Циклическая схема планирования и концепция справедливого распределения ресурсов**

ЦСП осуществляет планирование потока заданий циклически, по пакетам, на некотором рассматриваемом интервале планирования. Процедура планирования в одном цикле состоит из двух основных шагов. На первом, предварительном шаге осуществляется поиск альтернативных вариантов выполнения (альтернатив) для каждого задания. На втором этапе реализуется выбор оптимальной или эффективной в заданном смысле комбинации альтернатив, по одной для каждого задания пакета.

Альтернативы характеризуются двумя типами параметров: временными (это может быть время старта, завершения, процессорное время) и стоимостными (общей стоимостью, удельной и т.д.). Таким образом, задача оптимизации на втором шаге планирования может принимать следующие виды: минимизация времени выполнения пакета заданий при ограничении на стоимость ( $T \rightarrow \min, \lim C$ ), максимизация стоимости выполнения заданий при ограничении на суммарное время ( $C \rightarrow \max, \lim T$ ), поиск Парето-оптимальных стратегий [22]. Ограничения в этих задачах позволяют задать некоторую меру использования доступных ресурсов.

Поиск альтернатив для заданий на первом этапе планирования осуществляется последовательно, по одной первой подходящей (First Fit) альтернативе для каждого задания. При этом ресурсы - слоты, используемые в каждой найденной альтернативе, резервируются и не рассматриваются на дальнейших шагах при поиске последующих альтернатив. Это гарантирует, что различные альтернативы не будут вступать в конфликт. Кроме того, данный алгоритм обеспечивает некоторую приоритизацию заданий, так как для заданий, имеющих наивысший приоритет (например, порядок в очереди) поиск альтернатив происходит в самом начале, когда доступные ресурсы еще не зарезервированы предшествующими заданиями. Однако, выбор альтернатив на втором этапе ЦСП осуществляется на основе критерия администраторов ВО, который не учитывает предпочтения пользователей при выполнении отдельных заданий. При этом в некотором смысле теряется необходимость предварительной приоритизации, так как для отдельно взятого задания может быть выбрана наихудшая (с точки зрения пользователя) альтернатива, даже если задание имеет наивысший приоритет.

Концепция справедливого распределения ресурсов предполагает, что все участники ВО должны иметь механизмы воздействия на результаты планирования в соответствии с предпочтениями. Для реализации данной концепции в рамках ЦСП в состав ресурсного запроса заданий вводится пользовательский критерий, который служит для выражения предпочтений пользователя. Данный критерий используется при поиске альтернатив выполнения для соответствующего задания и обеспечивает набор альтернатив, в наибольшей степени согласующийся с предпочтениями пользователя [23].

## **3. Выбор комбинации альтернатив с учетом предпочтений пользователей**

Описанный выше подход для учета предпочтений пользователей в ЦСП хоть и обеспечивает реализацию концепции справедливого планирования, но имеет и некоторый дисбаланс. Так,

администраторы ВО имеют большее влияние на итоговые результаты планирования, так как задают критерий планирования на заключительном этапе планирования. При этом для конкретного задания могут быть выбраны наихудшие альтернативы (последние из найденных). Тем самым минимизируется влияние пользовательских критериев на результаты планирования пакета заданий.

С целью обеспечения сбалансированного взаимодействия администраторов и пользователей ВО задача оптимизации на втором этапе планирования в ЦСП модифицируется. Вводится дополнительный параметр для описания отдельной альтернативы: наравне с параметрами стоимости ( $C$ ) и времени выполнения ( $T$ ) - параметр пользовательской оценки, или важности альтернативы ( $U$ ). Далее полагается, что чем меньшее значение принимает  $U$ , тем лучше данная альтернатива удовлетворяет требованиям пользователя. Задача оптимизации выполнения пакета заданий в таком случае может принимать следующие виды: максимизировать стоимость выполнения пакета заданий при ограничении на пользовательские ожидания ( $C \rightarrow \max, \lim U$ ), минимизировать пользовательские оценки при ограничении на время выполнения заданий ( $U \rightarrow \min, \lim T$ ).

Формально задачу выбора оптимальной комбинации альтернатив для пакета из  $n$  заданий можно сформулировать следующим образом:

$$f(\bar{s}) = \sum_{i=1}^n f_i(s_j) \rightarrow \text{extr}, u_i(s_j) \leq u_i \leq u^*,$$

где  $f_i(s_j)$  представляет собой функцию, определяющую эффективность альтернативы  $s_j$  выполнения задания  $i$  по критерию ВО [22], а  $u_i(s_j)$  - пользовательскую оценку данной альтернативы,  $\bar{s} = s_1, \dots, s_j, \dots, s_n$ . Здесь  $u_i$  - суммарная пользовательская оценка выполнения части заданий из пакета (например, заданий  $i, i + 1, \dots, n$  или  $i, i - 1, \dots, 1$ ), а  $u^*$  - общее ограничение на выполнение всего пакета заданий, которое и определяет степень учета предпочтений пользователей при выборе оптимальной комбинации альтернатив для выполнения всего пакета заданий.

При этом удобно оперировать средним значением данного ограничения для одного задания:  $U_a = u^*/n$ . Таким образом, с использованием  $U_a$  можно обеспечить баланс между предпочтениями администраторов ВО (например, минимизировать время выполнения пакета заданий), и предпочтениями пользователей (например, минимизировать стоимость каждого конкретного задания).

Нами рассматриваются два типа оценок альтернатив для выполнения заданий: *порядковый* и *относительный*.

Для получения *порядковой* пользовательской оценки все найденные альтернативы упорядочиваются согласно значению пользовательского критерия. Например, при минимизации стоимости выполнения задания в начале списка будут находиться задания с минимальной стоимостью выполнения. Значение пользовательской оценки будет совпадать с порядковым номером альтернативы в полученном упорядоченном списке. Наилучшее значение  $U = 0$ , будет обеспечивать первая найденная альтернатива, последующие альтернативы будут иметь значения  $U = 1, 2, 3, \dots, N_a - 1$ , где  $N_a$  - общее количество найденных альтернатив. Задача оптимизации выполнения пакета заданий может принимать, к примеру, следующий вид: минимизировать суммарное время выполнения пакета заданий, при этом в среднем использовать вторые найденные альтернативы ( $T \rightarrow \min, \lim U_a = 1$ ).

*Относительная* оценка вычисляется на интервале всех возможных альтернатив выполнения задания. Так, альтернатива с наилучшим (например, минимальным) значением  $Z_{\min}$  критерия оптимизации соответствует левой границе интервала:  $U = 0\%$ . Альтернатива с наихудшим значением  $Z_{\max}$  пользовательского критерия оптимизации - правой границе интервала:  $U = 100\%$ . В общем случае пользовательскую оценку любой найденной альтернативы, обеспечивающей значение пользовательского критерия  $Z$ , можно вычислить относительно ее позиции на интервале  $[Z_{\min}, Z_{\max}]$ :

$$U = \frac{Z - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}} * 100\%.$$

Таким образом, пользовательская оценка вычисляется для каждой альтернативы в зависимости от того, на что мог бы рассчитывать пользователь в текущем интервале планирования, с учетом «наилучшего» и «наихудшего» варианта. Пример вычисления пользовательских оценок для задания с четырьмя альтернативами выполнения и минимизируемым критерием стоимости

выполнения представлен в таблице 1. Задача оптимизации выполнения пакета заданий может принимать, в частности, следующий вид: минимизировать суммарную стоимость выполнения пакета заданий, при том, чтобы, в среднем, пользовательские оценки не превышали 25% ( $C \rightarrow \min, \lim U_a = 25\%$ ).

**Таблица 1.** Пример пользовательской оценки альтернатив для задания

Альтернативы задания	Стоимость выполнения	Порядковая оценка	Относительная оценка, %
Первая альтернатива	5	0	0
Вторая альтернатива	7	1	20
Третья альтернатива	11	2	60
Четвертая альтернатива	15	3	100

Более того, аналогично относительной оценке выполнения пользовательского задания можно ввести и относительную оценку  $A, \%$  выполнения всего пакета заданий согласно политике ВО. Действительно, если рассмотреть ситуацию, когда учитываются лишь пользовательские предпочтения ( $U_a = 0\%$ ), а у администраторов нет возможности для оптимизации, то полученное значение  $Y_{\max}$  критерия выполнения пакета заданий (наихудшее возможное) будет соответствовать максимальному значению оценки ( $A = 100\%$ ). Наилучшее возможное значение  $Y_{\min}$  ( $A = 0\%$ ) будет достигаться в случае, когда оптимизация выполнения пакета заданий происходит без ограничений и учета интересов пользователей ( $U_a = 100\%$ ). Тогда любое промежуточное значение критерия выполнения пакета заданий может быть получено из следующего выражения:

$$A = \frac{Y - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} * 100\%.$$

Таким образом, относительные оценки  $A$  и  $U$  результатов планирования в одинаковых величинах выражают степень учета интересов администраторов и пользователей ВО соответственно. Путем сравнения  $A$  и  $U$  в различных вариантах планирования может быть выбрано подходящее, компромиссное решение.

#### 4. Постановка эксперимента

Для исследования механизма планирования с учетом пользовательских оценок в рамках разработанного авторами симулятора среды распределенных вычислений [24] реализованы алгоритмы и подходы, описанные в разделе 3. Симулятор позволяет генерировать входной поток заданий, состав и начальную загрузку домена вычислительных узлов, моделировать планирование и выполнение потока заданий как на уровне домена ресурсов, так и на уровне отдельных сложноструктурированных параллельных заданий.

Для проведения экспериментов использованы следующие настройки при генерации домена вычислительных ресурсов:

- домен состоит из 100 разнородных вычислительных узлов;
- производительность вычислительных узлов задана случайной целочисленной величиной, равномерно распределенной на интервале [2, 10] (время обработки заданий на наименее и наиболее производительных узлах отличается не более чем на порядок);
- удельная стоимость использования узла является экспоненциальной функцией от его производительности (базовая, рыночная стоимость) с добавлением (наценка) или вычитанием (скидка) случайной величины, изменяющейся по нормальному закону распределения в пределах 60% от базовой стоимости;
- длина интервала планирования равна 600 модельным единицам времени;
- начальная загрузка вычислительных узлов локальными заданиями задана гипергеометрическим распределением в размере 5-10% от длины интервала планирования.

Генерация потока заданий осуществляется со следующими параметрами:

- пакет состоит из 40 пользовательских заданий;

- количество свободных узлов, необходимых для выполнения задания, задается случайной величиной, равномерно распределенной на интервале [2, 6];
- длительность резервирования ресурсов для выполнения задания задается случайной величиной, равномерно распределенной на интервале [100, 500] (для выполнения некоторых заданий может понадобиться практически весь интервал планирования, однако время выполнения может уменьшаться при назначении на узлы с большим показателем производительности);
- пользовательский бюджет выполнения заданий задается таким образом, чтобы часть заданий имела возможность использовать наиболее дорогие ресурсы (базовая цена + наценка 60%), а часть рассчитывала бы на скидки;
- для каждого задания вводится один из трех следующих пользовательских критериев оптимизации: время завершения, время или стоимость выполнения.

Таким образом, на основе представленных выше настроек в каждом эксперименте происходит генерация исходных параметров: пакета заданий и домена вычислительных ресурсов. Затем на одинаковых исходных данных решается задача оптимизации (например, максимизация стоимости выполнения пакета заданий при ограничении на суммарную пользовательскую оценку) с различными ограничениями  $U_a$  на интервале  $[0, N_a - 1]$  или  $[0\%, 100\%]$ . Полученные результаты могут быть использованы для сравнения и детального анализа процессов, происходящих в рассматриваемой модели справедливого планирования.

Важной особенностью исследования является показатель того, насколько предпочтения пользователей совпадают с предпочтениями администраторов ВО. Очевидно, что при абсолютном совпадении предпочтений (например, когда и пользователи и владельцы ресурсов заинтересованы исключительно в минимизации времени завершения заданий), наилучшая стратегия - выбор первых найденных альтернатив для каждого задания. Однако в случае, если предпочтения администраторов вступают в конфликт с предпочтениями пользователей (например, при максимизации стоимости выполнения пакета заданий и минимизации стоимости выполнения отдельных заданий), необходимо рассматривать комбинации предпочтений участников ВО. В дальнейшем экспериментально исследуются следующие комбинации:

- *смешанная*: критерии оптимизации выполнения половины заданий пакета коррелируют с критерием оптимизации для всего пакета заданий в ВО, а критерии для другой половины заданий вступают в конфликт;
- *конфликтная*: критерии оптимизации выполнения отдельных заданий пакета вступают в конфликт с критерием оптимизации в ВО.

Такой крайний случай, когда критерии оптимизации для заданий пакета совпадают с критерием оптимизации в ВО, не рассматривается, так как решение очевидно (выбор первых, наилучших для пользователей альтернатив).

Стоит отметить, что предложенный подход к планированию на основе пользовательских оценок эффективности реализуется на предварительно сформированном множестве альтернатив выполнения для каждого задания. Таким образом, поиск альтернатив выполнения может быть осуществлен различными способами, например, с применением модели аукциона [25], и это не отразится на принципиальных результатах данного исследования.

## 5. Результаты экспериментов

Для исследования предложенного подхода проведено несколько серий экспериментов с порядковым и относительным показателями для оценки альтернатив, а также с различной корреляцией предпочтений пользователей и администраторов ВО.

Для *конфликтной* комбинации предпочтений решается задача максимизации стоимости выполнения пакета заданий (максимизации доходов собственников ресурсов) при ограничении на пользовательскую оценку ( $C \rightarrow \max, \lim U$ ). При этом для каждого задания минимизируется стоимость выполнения. Для исследования *смешанной* комбинации и возможности детального сравнения смешанной и конфликтной комбинаций также рассматривается задача максимизации доходов собственников ( $C \rightarrow \max, \lim U$ ). Однако пользовательские критерии, с целью минимизации стоимости, времени выполнения и завершения, распределяются между заданиями рав-

номерно. В данном случае часть заданий, имеющих критерии стоимости выполнения, также находится в конфликте с предпочтениями ВО. Другие задания, имеющие критерии времени, коррелируют с критерием оптимизации в ВО (в среднем, чем меньше время выполнения задания, тем более производительные и дорогие ресурсы оно использует, максимизируя доходы собственников).

В смешанной комбинации решается задача минимизации суммарного времени выполнения пакета заданий при ограничении на суммарную пользовательскую оценку выбранных альтернатив ( $T \rightarrow \min, \lim U$ ). При этом в среднем для половины заданий случайным образом задается конфликтующий критерий стоимости, для другой половины заданий задаются критерии времени выполнения и завершения. Таким образом, при решении данной задачи часть заданий имеет критерий, полностью согласованный с критерием ВО с целью минимизации времени выполнения.

### 5.1 Планирование на основе показателей ценности альтернатив

Рассмотрим результаты планирования с использованием порядковой системы пользовательских оценок альтернатив в полностью конфликтной комбинации предпочтений.

На рис. 1 представлен график стоимости выполнения пакета заданий в зависимости от различных ограничений на средний порядковый номер используемых альтернатив. Напомним, что администраторы ВО заинтересованы в максимизации стоимости, а пользователи - в минимизации. Как видно из диаграммы, значение стоимости растет с увеличением ограничения и достигает максимума при фактическом отсутствии ограничения на пользовательскую оценку: максимум достигается при значении ограничения  $U_a = 5.3$ , при этом в среднем при планировании для каждого задания найдено 6.3 альтернативы. Таким образом, данный пример показывает приемлемость предложенного подхода к планированию и позволяет установить зависимость между степенью учета интересов пользователей ( $U_a$ ) и критерием оптимизации потока заданий в ВО ( $C$ ).

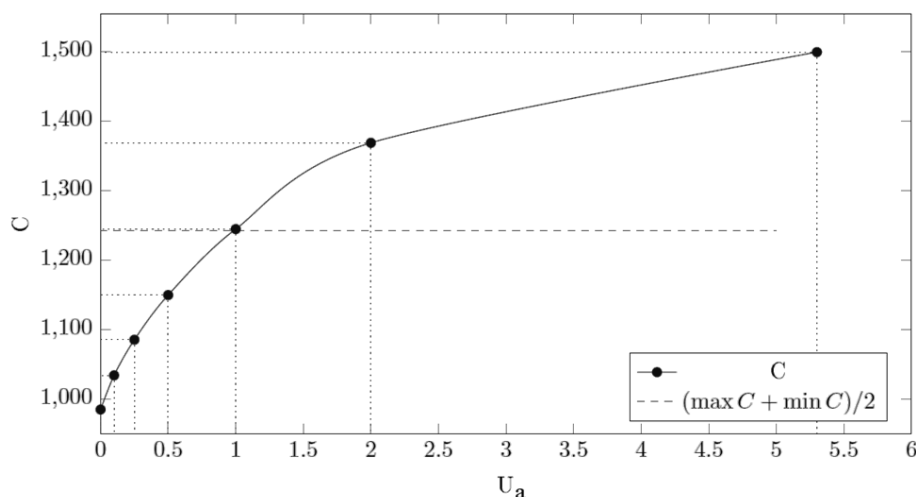


Рис. 1. Стоимость выполнения пакета заданий в конфликтной комбинации предпочтений

Отметим, что в строго конфликтной комбинации предпочтений существует возможность нахождения некоторого компромисса. На рис. 1 горизонтальной штриховой линией отмечено среднее между максимальным (предпочтения администраторов и собственников ресурсов ВО) и минимальным (предпочтения пользователей ВО) значениями стоимости выполнения пакета заданий. Показательно, что оно достигается при значении  $U_a = 1$ , то есть для его достижения достаточно в среднем использовать вторые найденные альтернативы.

Похожим образом выглядит картина в смешанной комбинации предпочтений (рис. 2). Среднее значение стоимости также представлено горизонтальной штрихованной линией. Однако в данном случае нельзя говорить о компромиссе в точке пересечения этих двух графиков,

так как часть заданий имеет критерии оптимизации, отличные от стоимости. В целом, обеспечиваются лучшие значения критерия ВО по сравнению с конфликтной комбинацией при одинаковых значениях пользовательского ограничения.

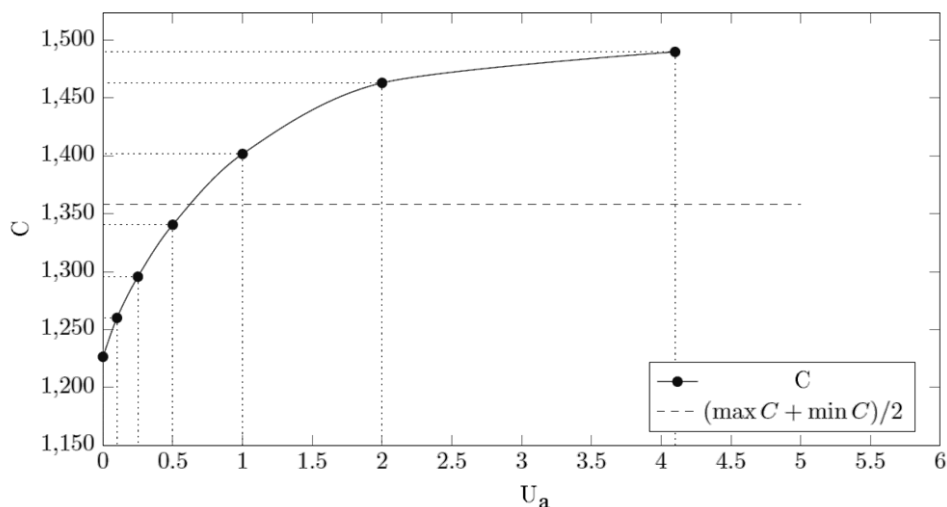


Рис. 2. Стоимость выполнения пакета заданий в смешанной комбинации предпочтений

Аналогичные зависимости между стоимостью выполнения пакета заданий и степенью учета интересов пользователей получаются и в случае использования относительной оценки альтернатив. Для сравнения графики стоимости для конфликтной и смешанной комбинаций интересов представлены на рис. 3. Здесь значение средней пользовательской оценки изменяется от  $U_a = 0\%$  до  $U_a = 100\%$ .

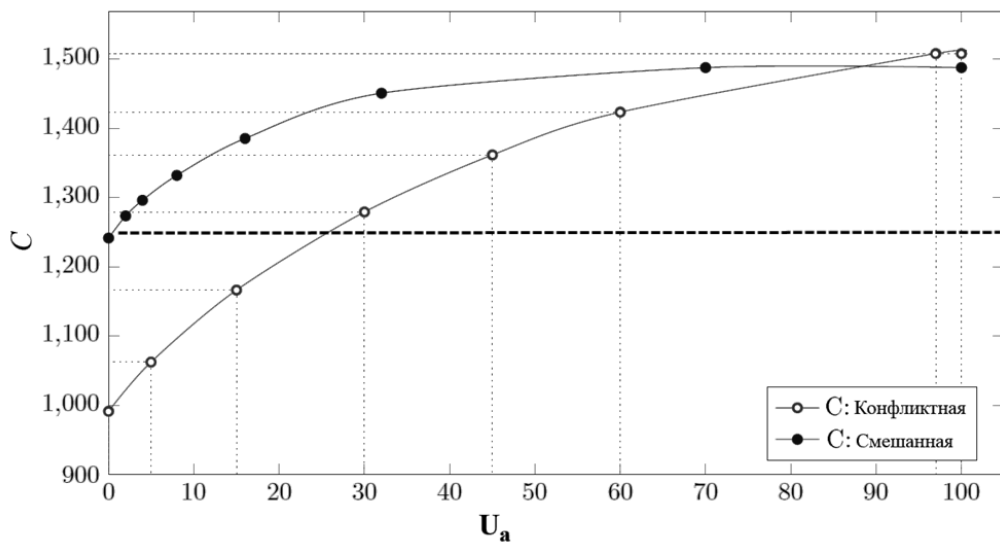


Рис. 3. Сравнение стоимости выполнения пакета заданий в конфликтной и смешанной комбинациях предпочтений участников ВО

На рис. 4 приведена зависимость для критерия ВО в смешанной комбинации предпочтений в задаче минимизации времени выполнения заданий с ограничением на пользовательскую оценку ( $T \rightarrow \min, \lim U$ ). При этом, чем выше степень учета интересов пользователей ВО ( $U_a \rightarrow 0\%$ ), тем за большее время выполняется пакет заданий, и наоборот, при  $U_a \rightarrow 100\%$  значение времени выполнения пакета достигает наименьшего значения. Горизонтальной линией на рис. 4 показано наилучшее возможное значение критерия с точки зрения администраторов



ВО с добавлением 1.5%. Данное значение достигается при использовании, в среднем, вторых найденных альтернатив для каждого задания ( $U_a = 1$ ).

Таким образом, администраторы ВО имеют довольно широкие возможности для оптимизации выполнения потока заданий при относительно небольших средних издержках со стороны пользователей ВО. Причем эти возможности в большей степени проявляются в смешанной комбинации предпочтений.

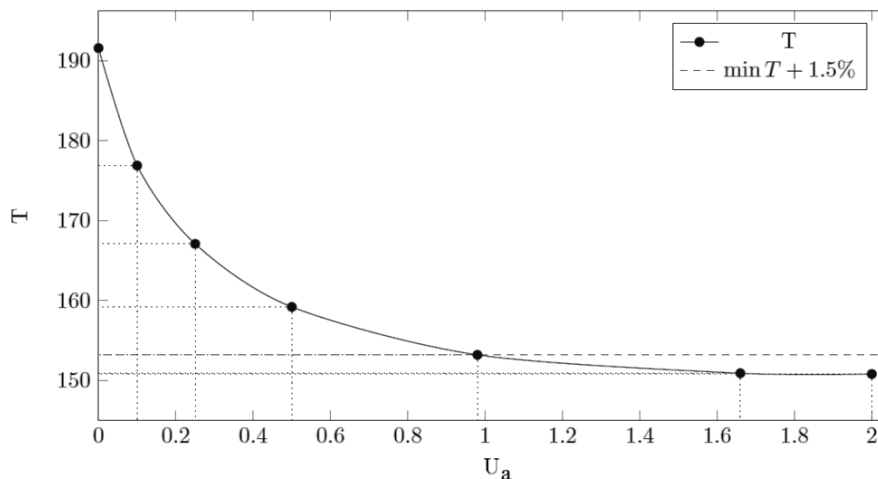


Рис. 4. Время выполнения пакета заданий в смешанной комбинации предпочтений

## 5.2 Компромиссные решения задач планирования

В разделе 5.1 приведены результаты оптимизации выполнения потока заданий в ВО и с учетом предпочтений отдельных пользователей. Особый интерес представляет нахождение компромиссного решения, удовлетворяющего интересам всех участников ВО. Как было показано выше, некоторое компромиссное решение может быть найдено и в строго конфликтной комбинации интересов: оно достигается при среднем значении пользовательской оценки  $U_a \approx 1$  или  $U_a \approx 25\%$ .

Для возможности поиска компромиссного решения в более общем случае вводится относительный показатель  $A$  учета интересов администраторов ВО. Важно отметить, что данный относительный показатель  $A$  выражен в тех же величинах, что и пользовательская относительная оценка  $U_a$ , и, таким образом, они могут быть использованы для сравнения при анализе результатов планирования. С учетом этой зависимости на рис. 3 и 4 (в координатах  $C - U_a$  и  $T - U_a$ ) соответственно, перенесены в плоскость  $A - U_a$  и представлены на рис. 5. Штриховая прямая линия на рис. 5 представляет собой множество точек, где  $A = U_a$ , когда интересы администраторов и пользователей ВО учтены в одинаковой степени, то есть достигаются компромиссные решения. Например, в строго конфликтной комбинации интересов в задаче  $C \rightarrow \max, \lim U$  компромиссное решение может быть достигнуто в точке (37%, 37%), то есть отклонение от наилучших возможных значений и для пользователей, и для администраторов ВО составляет около 37%. Данное компромиссное решение можно сравнить с решением, полученным в разделе 5.1: оно для строго конфликтной комбинации находится в точке (25%, 50%) и в большей степени удовлетворяет запросам пользователей. В случае, когда предпочтения всех участников ВО согласованы, компромиссное решение достигается в точке (0%, 0%).

Поиск компромиссного или наиболее подходящего решения можно осуществить с использованием и других метрик. Например, интерес представляет задача минимизации суммарного отклонения результатов планирования от оптимальных (аддитивная метрика). Так, на рис. 6 представлены графики  $A + U_a$  для всех трех рассматриваемых оптимизационных задач планирования. Минимумы этих графиков соответствуют решению задачи планирования с использованием аддитивной метрики. Не трудно заметить, что в данном случае в строго конфликтной комбинации интересов решение достигается в точке (45%, 28%) и в большей степени отражает интересы администраторов ВО.

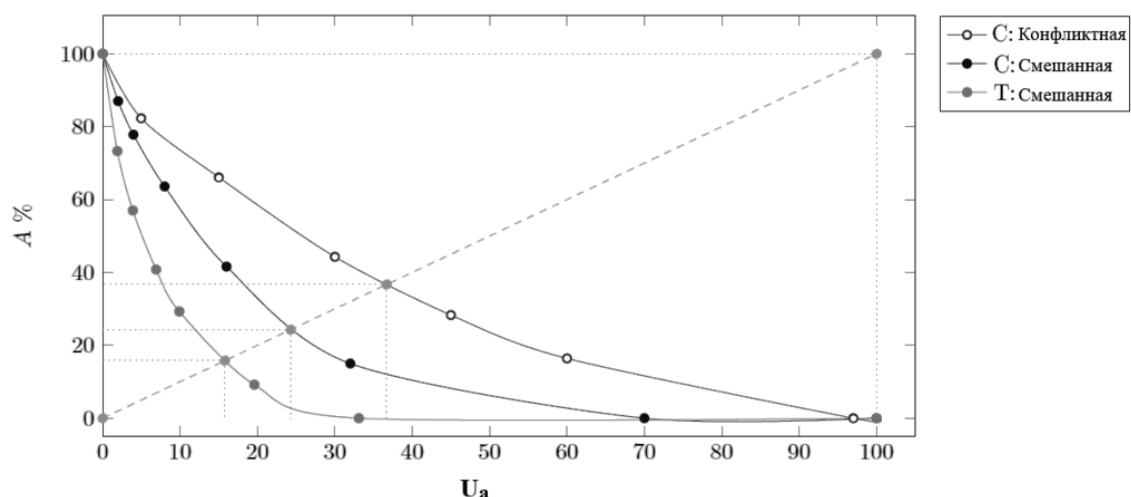


Рис. 5. Множество компромиссных решений задач планирования

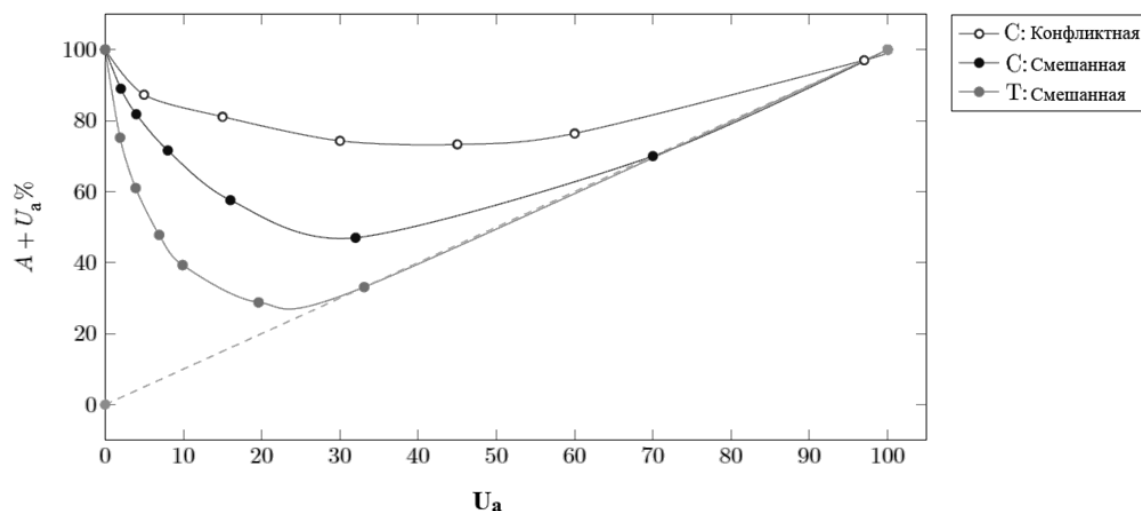


Рис. 6. Множество компромиссных решений задач планирования с использованием аддитивной метрики

## 6. Заключение

В данной работе исследована проблема балансировки взаимодействия между участниками виртуальной организации грид с целью обеспечения справедливого планирования и распределения ресурсов. В рамках циклической схемы планирования предложен подход, который наряду с временными и стоимостными показателями эффективности выполнения задания учитывает также и пользовательскую оценку. Предложены и исследованы порядковый и относительный пользовательские показатели для оценки эффективности альтернатив выполнения задания.

Для исследования предложенного подхода к планированию проведено моделирование и экспериментальное исследование в различных комбинациях предпочтений администраторов и пользователей ВО.

Исследован вопрос поиска компромиссных решений задачи планирования, позволяющих обеспечить справедливое распределение ресурсов между различными участниками ВО. Для этого введен относительный показатель качества выполнения потока заданий с учетом реализуемой политики ВО, а также рассмотрены различные метрики для нахождения компромиссного решения.

Результаты экспериментов подтверждают, что предложенная модель планирования предоставляет механизмы для настройки взаимодействия между участниками вычислений, а также позволяет находить баланс между предпочтениями, отражающими политику виртуальной организации, и интересами ее отдельных участников.

Дальнейшие исследования будут направлены на более детальное изучение смешанной комбинации предпочтений участников ВО и влияния учета предпочтений в зависимости от различных параметров заданий и критериев оптимизации, разработку методов для устранения дискриминации пользователей с конфликтными предпочтениями.

Будут рассмотрены вопросы применения предложенных алгоритмов как в грид, так и в системах облачных вычислений.

## Литература

1. Богданова В.Г., Бычков И.В., Корсуков А.С., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г. Мультиагентный подход к управлению распределенными вычислениями в кластерной GRID-системе // Известия РАН. ТИСУ. 2014. № 5. С. 95-105.
2. Garg S.K., Yeo C.S., Anandasivam A., Buyya R. Environment-conscious Scheduling of HPC Applications on Distributed Cloud-oriented Data Centers // J. Parallel and Distributed Computing. 2011. Vol. 71, No. 6. P. 732-749.
3. Топорков В.В., Емельянов Д.М. Экономическая модель планирования и справедливого распределения ресурсов в распределенных вычислениях // Программирование. 2014. № 1. С. 54-65.
4. Gulati A., Ahmad I., Waldspurger C. A. PARDA: Proportional Allocation of Resources for Distributed Storage Access // Proceedings of the FAST '09, San Francisco, California, USA, February 2009. P. 85-98.
5. Carroll T.E., Grosu D. Divisible Load Scheduling: An Approach Using Coalitional Games // Proceedings of the Sixth International Symposium on Parallel and Distributed Computing, ISPDC '07. 2007. P. 258-265.
6. Ernemann C., Hamscher V., Yahyapour R. Economic Scheduling in Grid Computing // Feitelson D.G., Rudolph L., Schwiegelshohn U. (eds.). JSSPP 2002. LNCS. Springer, Heidelberg. Vol. 2537. P. 128-152.
7. Rządca K., Trystram D., Wierzbicki A. Fair Game-theoretic Resource Management in Dedicated Grids // Proceedings of the IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGRID 2007), Proceedings. IEEE Computer Society, 2007. P. 343-350.
8. Inoie A., Kameda H., Touati C. Pareto set, Fairness, and Nash Equilibrium: A Case Study on Load Balancing // Proceedings of the 11th Intl. Symp. on Dynamic Games and Applications, 2004. P. 386-393.
9. Jackson D.B., Snell Q., Clement M. J. Core Algorithms of the Maui Scheduler // Revised Papers from the 7th International Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, JSSPP '01, London, UK, Springer-Verlag, 2001. P. 87-102.
10. Mutz A., Wolski R., Brevik J. Eliciting Honest Value Information in a Batch-queue Environment // Proceedings of the 8th IEEE/ACM International Conference on Grid Computing, IEEE Computer Society, 2007. P. 291-297.
11. Blanco H., Guirado F., Lériida J.L., Albornoz V.M. MIP Model Scheduling for Multi-clusters // Proceedings of the Euro-Par 2012. LNCS, Springer, Heidelberg. 2012. Vol. 7640. P. 196-206.
12. Takefusa A., Nakada H., Kudoh T., Tanaka Y. An Advance Reservation-based Co-allocation Algorithm for Distributed Computers and Network Bandwidth on QoS-guaranteed Grids // Frachtenberg E., Schwiegelshohn U. (eds.), JSSPP 2010. LNCS, Springer, Heidelberg, 2010. Vol. 6253. P. 16-34.

13. Сухорослов О.В. Комбинированное использование высокопроизводительных ресурсов и грид-инфраструктур в рамках облачной платформы Everest // Труды международной конференции Суперкомпьютерные дни в России 2015 // Russian Supercomputing Days 2015 // RussianSCDays.org. С. 706-711.
14. Bencivenni M. et al. Accessing Grid and Cloud Services Through a Scientific Web Portal // J. Grid Computing. 2015. Vol. 13. P.159–175.
15. Ronchieri E. et al. Accessing Scientific Applications through the WNoDeS Cloud Virtualization Framework // Proceedings of the The International Symposium on Grids and Clouds (ISGC), PoS, Academia Sinica, Taipei, Taiwan. 2013. URL: <https://www.researchgate.net/publication/259197043> (дата обращения: 19.07.2016).
16. EGI Federated Clouds Task Force website. [https://. URL: wiki.egi. eu/wiki/Fedcloudtf:FederatedCloudsTaskForce](https://wiki.egi.eu/wiki/Fedcloudtf:FederatedCloudsTaskForce) (дата обращения: 19.07.2016).
17. Vohs K.D., Mead N.L., Goode M.R. The Psychological Consequences of Money // Science. 2006. Vol.314, No. 5802. P. 1154–1156.
18. Kim K.H., Buyya R. Fair Resource Sharing in Hierarchical Virtual Organizations for Global Grids // Proceedings of GRID '07, IEEE Computer Society, 2007. P. 50- 57.
19. Skowron P., Rzdca K. Non-monetary Fair Scheduling — Cooperative Game Theory Approach // Proceedings of the 25 Annual ACM Symposium on Parallelism in Algorithms and Architectures, NY, USA, ACM New York, 2013. P. 288-297.
20. Toporkov V., Toporkova A., Tselishchev A., Yemelyanov D., Potekhin P. Metascheduling and Heuristic Co-allocation Strategies in Distributed Computing // Computing and Informatics. 2015. Vol. 34, No. 1. P. 45-76.
21. Toporkov V., Toporkova A., Tselishchev A., Yemelyanov D., Potekhin P. Heuristic Strategies for Preference-based Scheduling in Virtual Organizations of Utility Grids // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. 2015. Vol. 6, No. 6. P. 733-740.
22. Toporkov V., Tselishchev A., Yemelyanov D., Potekhin P. Metascheduling Strategies in Distributed Computing with Non-dedicated Resources // W. Zamojski and J. Sugier (eds.), Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC), Springer International Publishing Switzerland, 2015. Vol. 307. P. 129-148.
23. Toporkov V., Toporkova A., Tselishchev A., Yemelyanov D. Slot Selection Algorithms in Distributed Computing // J. of Supercomputing. 2014. Vol. 69, No.1. P. 53–60.
24. Toporkov V., Tselishchev A., Yemelyanov D., Bobchenkov A. Composite Scheduling Strategies in Distributed Computing with Non-dedicated Resources // Procedia Computer Science. 2012. Vol. 9. P.176–185.
25. Dalheimer M., Pfreundt F., Merz P. Agent-based Grid Scheduling with Calana // Proceedings of the Parallel Processing and Applied Mathematics 6th International Conference, 2006. P. 741-750.

## Preference-based scheduling and resources allocation between Grid VO stakeholders

V.V. Toporkov, D.E. Yemelyanov, P.A. Potekhin

National Research University "MPEI"

A preference-based approach is proposed for Grid computing with regard to preferences given by various groups of virtual organization (VO) stakeholders (such as users, resource owners and administrators) to improve overall quality of service and resource load efficiency. Computational resources being competed for by local jobs (initiated by owners) and global (users') job flow complicate the problem of a required service quality level substantially. A specific cyclic job batch scheduling scheme is examined in the present work which enables to distribute and share resources considering all the VO stakeholders' preferences and find a balance between VO global preferences and those of its users.

*Keywords:* distributed computing, scheduling, virtual organization, balance, economic models, preferences, job flow.

### References

1. Bogdanova V.G., Bychkov I.V., Korsukov A.S., Oparin G.A., Feoktistov A.G. Multi-agent Approach for Distributed Computing Management in a Cluster GRID System // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2014. Vol. 53, No. 5. P. 713–722.
2. Garg S.K., Yeo C.S., Anandasivam A., Buyya R. Environment-conscious Scheduling of HPC Applications on Distributed Cloud-oriented Data Centers // J. Parallel and Distributed Computing. 2011. Vol. 71, No. 6. P. 732-749.
3. Toporkov V.V., Yemelyanov D.M. Economic Model of Scheduling and a Fair Resource Sharing in Distributed Computing. // Programming and Computer Software, 2014, Vol. 40, No. 1. P. 35–42.
4. Gulati A., Ahmad I., Waldspurger C. A. PARDA: Proportional Allocation of Resources for Distributed Storage Access // Proceedings of the FAST '09, San Francisco, California, USA, February 2009. P. 85-98.
5. Carroll T.E., Grosu D. Divisible Load Scheduling: An Approach Using Coalitional Games // Proceedings of the Sixth International Symposium on Parallel and Distributed Computing, ISPDC '07. 2007. P. 258-265.
6. Ernemann C., Hamscher V., Yahyapour R. Economic Scheduling in Grid Computing // Feitelson D.G., Rudolph L., Schwiegelshohn U. (eds.). JSSPP 2002. LNCS. Springer, Heidelberg. Vol. 2537. P. 128–152.
7. Rządca K., Trystram D., Wierzbicki A. Fair Game-theoretic Resource Management in Dedicated Grids // Proceedings of the IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGRID 2007), Proceedings. IEEE Computer Society, 2007. P. 343-350.
8. Inoue A., Kameda H., Touati C. Pareto set, Fairness, and Nash Equilibrium: A Case Study on Load Balancing // Proceedings of the 11th Intl. Symp. on Dynamic Games and Applications, 2004. P. 386–393.
9. Jackson D.B., Snell Q., Clement M. J..Core Algorithms of the Maui Scheduler // Revised Papers from the 7th International Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, JSSPP '01, London, UK, Springer-Verlag, 2001. P. 87–102.

10. Mutz A., Wolski R., Brevik J. Eliciting Honest Value Information in a Batch-queue Environment // Proceedings of the 8th IEEE/ACM International Conference on Grid Computing, IEEE Computer Society, 2007. P. 291–297.
11. Blanco H., Guirado F., L rida J.L., Albornoz V.M. MIP Model Scheduling for Multi-clusters // Proceedings of the Euro-Par 2012. LNCS, Springer, Heidelberg. 2012. Vol. 7640. P. 196–206.
12. Takefusa A., Nakada H., Kudoh T., Tanaka Y. An Advance Reservation-based Co-allocation Algorithm for Distributed Computers and Network Bandwidth on QoS-guaranteed Grids // Frachtenberg E., Schwiegelshohn U. (eds.), JSSPP 2010. LNCS, Springer, Heidelberg, 2010. Vol. 6253. P. 16–34.
13. Suhoroslov O.V. Combinirovannoe ispolzovanie vysokoproizvoditelnyh resursov i Grid-infrastuctur v ramkah oblachnoy platformy Everest [Composite Using of HPC Resources and Grid-infrastructure in Cloud Computing Platform Everest]. Trudy mezhdunarodnoy konferencii Supercompyuternye dni v Rossii 2015. P. 706-711.
14. Bencivenni M. et al. Accessing Grid and Cloud Services Through a Scientific Web Portal // J. Grid Computing. 2015. Vol. 13. P.159–175.
15. Ronchieri E., et al. Accessing Scientific Applications through the WNoDeS Cloud Virtualization Framework // Proceedings of the The International Symposium on Grids and Clouds (ISGC), PoS, Academia Sinica, Taipei, Taiwan. 2013. URL: <https://www.researchgate.net/publication/259197043> (accessed: 19.07.2016).
16. EGI Federated Clouds Task Force website. [https://. URL: wiki.egi. eu/wiki/Fedcloudtf:FederatedCloudsTaskForce](https://wiki.egi.eu/wiki/Fedcloudtf:FederatedCloudsTaskForce) (accessed: 19.07.2016).
17. Vohs K.D., Mead N.L., Goode M.R. The Psychological Consequences of Money // Science. 2006. Vol.314, No. 5802. P. 1154–1156.
18. Kim K.H., Buyya R. Fair Resource Sharing in Hierarchical Virtual Organizations for Global Grids // Proceedings of GRID '07, IEEE Computer Society, 2007. P. 50- 57.
19. Skowron P., Rzdca K. Non-monetary Fair Scheduling — Cooperative Game Theory Approach // Proceedings of the 25 Annual ACM Symposium on Parallelism in Algorithms and Architectures, NY, USA, ACM New York, 2013. P. 288-297.
20. Toporkov V., Toporkova A., Tselishchev A., Yemelyanov D., Potekhin P. Metascheduling and Heuristic Co-allocation Strategies in Distributed Computing // Computing and Informatics. 2015. Vol. 34, No. 1. P. 45-76.
21. Toporkov V., Toporkova A., Tselishchev A., Yemelyanov D., Potekhin P. Heuristic Strategies for Preference-based Scheduling in Virtual Organizations of Utility Grids // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. 2015. Vol. 6, No. 6. P. 733-740.
22. Toporkov V., Tselishchev A., Yemelyanov D., Potekhin P. Metascheduling Strategies in Distributed Computing with Non-dedicated Resources // W. Zamojski and J. Sugier (eds.), Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC), Springer International Publishing Switzerland, 2015.Vol. 307. P. 129-148.
23. Toporkov V., Toporkova A., Tselishchev A., Yemelyanov D. Slot Selection Algorithms in Distributed Computing // J. of Supercomputing. 2014. Vol. 69, No.1. P. 53–60.
24. Toporkov V., Tselishchev A., Yemelyanov D., Bobchenkov A. Composite Scheduling Strategies in Distributed Computing with Non-dedicated Resources // Procedia Computer Science. 2012. Vol. 9. P.176–185.
25. Dalheimer M., Pfreundt F., Merz P. Agent-based Grid Scheduling with Calana // Proceedings of the Parallel Processing and Applied Mathematics 6th International Conference, 2006. P. 741-750.