

# Методы описания высокопроизводительных вычислительных систем и формирования суперкомпьютерных рейтингов

А.А. Желтков

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В работе рассматриваются методы описания высокопроизводительных вычислительных систем. Проводится обзор существующих суперкомпьютерных рейтингов, демонстрирующий разнообразие имеющихся на данный момент списков и подходов к описанию систем. Производится сравнение рейтингов по содержащейся в них информации об участвующих системах, выявляются особенности и ключевые недостатки. На основе сделанных выводов предлагается альтернативный метод описания суперкомпьютеров, способный удовлетворять текущим трендам развития суперкомпьютерных систем и актуальным потребностям в описании систем. Результаты исследования предполагается использовать для совершенствования рейтинга Top50.

*Ключевые слова:* суперкомпьютерные рейтинги, модели описания вычислительных систем, TOP500, Top50 СНГ.

## 1. Введение

Высокопроизводительные вычисления играют важную роль во всех сферах: в науке, образовании, промышленности, экономике и др. Для решения сверхбольших задач становится недостаточно мощностей обычных персональных компьютеров, поэтому используются специальные машины – суперкомпьютеры или супер-ЭВМ, – обладающие на порядки большей производительностью. Они способны решать задачи, которые было бы невозможно решить вовсе или за приемлемое время при помощи используемых повседневно обычных компьютеров.

Технологии стремительно развиваются, и в особенности это относится к сфере производства ЭВМ и их компонент. Количество суперкомпьютерных систем в мире быстро растет, теперь многие университеты имеют по несколько супер-ЭВМ, и суперкомпьютерами активно пользуются компании, работающие с большими вычислениями и большими данными.

С развитием технологий неуклонно нарастает и производительность суперкомпьютерных систем. Согласно данным Top500, за последние 20 лет средняя производительность суперкомпьютера выросла примерно в 100 тыс. раз. Производительность является важнейшим, хотя и не единственным, свойством суперкомпьютера. На основании оценки производительности (которую можно получать различными способами) и прочих факторов суперкомпьютерные системы сравниваются между собой и формируются различные суперкомпьютерные рейтинги.

Суперкомпьютерные рейтинги являются важной составляющей в мире суперкомпьютерных вычислений. Они позволяют оценивать текущее состояние в этой области, наблюдать тенденции развития, что может быть важно при проектировании и создании новых систем. Участвующие в рейтингах системы весьма разнообразны как в части используемых компонент, так и в части архитектуры. Поэтому важно иметь не только численное сравнение систем в рамках рейтинга, но и достаточно подробное описание систем, которое выделяло бы их ключевые особенности и позволяло бы увидеть, за счет чего они достигают указанной производительности.

На сегодняшний день широко известны списки Top500, Green500, Graph500, принимающие заявки на участие в рейтинге вычислительных систем по всему миру. Также существуют региональные рейтинги, такие как Top50 СНГ, Top Supercomputers-India, The Irish Supercomputer List. Перечисленные рейтинги содержат описания систем, которые могут различаться по структуре и качественному составу характеристик, каждый список имеет свой метод описания входящих в него систем.

Цель данной работы – исследовать методы описания вычислительных систем в контексте суперкомпьютерных рейтингов, выявить характерные особенности и недостатки.

## 2. Обзор суперкомпьютерных рейтингов

Рассмотрим набор доступных характеристик, структурированность и детальность описания вычислительных систем в суперкомпьютерных рейтингах.

### 2.1 Top500

Рейтинг Top500 [1] является крупнейшим и наиболее известным в мире рейтингом суперкомпьютерных систем. Данный рейтинг основан на оценке производительности ЭВМ, полученной на тесте HPL (High Performance Linpack [2]). В рамках этого теста решается система алгебраических линейных уравнений  $Ax=f$  методом Гаусса. Результатом теста является количество операций с плавающей точкой в единицу времени, обозначаемое как FLOPS (FLoating-point OPerations per Second).

Основные характеристики систем (место в рейтинге, расположение, результат HPL и т.д.) доступны пользователям в общем списке рейтинга. Некоторые атрибуты систем отображаются только при выборе и переходе к конкретной системе из списка. Кроме того, доступен отдельный файл с расширенной версией списка Top500, где содержится еще более детальная информация по каждой системе. Таким образом, модель описания систем Top500 содержит большое количество информации, которая не отображается для пользователей на веб-странице. При этом эти данные явно используются при формировании статистических выборок, которые можно делать на веб-сайте данного рейтинга в разделе визуализации статистики.

Рейтинг Top500 является наиболее рано возникшим из рассматриваемых, первая редакция списка была опубликована в 1993 году. Заявки для участия в рейтинге принимаются со всего мира, редакции списка выпускаются в июне и ноябре каждого года.

### 2.2 Green500

Green500 – список, основанный на данных Top500, где главным критерием сравнения в рейтинге является энергоэффективность систем. Системы сравниваются по удельной производительности, полученной на тесте HPL, разделенной на 1 Ватт энергопотребления системы вместе с ее инфраструктурой во время вычислений. Таким образом, метрикой для данного рейтинга является отношение FLOPS/W.

Данные о системах можно получить из списка результатов на веб-сайте рейтинга [3], где доступны некоторые основные характеристики систем (по аналогии с Top500), или же скачать файл с расширенным списком, в котором присутствует более детальная информация.

Первая редакция рейтинга Green500 была опубликована в 2007 году. Данные о суперкомпьютерных системах для списка используются те же, что и для Top500, новые редакции рейтинга публикуются так же в июне и ноябре каждого года. В 2016 году было объявлено об окончательном слиянии списков Top500 и Green500, теперь для участия в обоих рейтингах принимается общая заявка.

### 2.3 HPCG

HPCG [4] представляет собой рейтинг систем, где для оценки производительности используется тест HPCG (High Performance Conjugate Gradients). Этот тест также, как и HPL, производит решение СЛАУ, но используя при этом метод сопряженных градиентов. Получаемая на тесте HPCG производительность систем также измеряется в FLOPS и получается на 1-2 порядка ниже по сравнению с результатами HPL.

В данном рейтинге доступно небольшое количество основных сведений о системах, вся эта информация представлена в списке результатов на веб-сайте рейтинга. Возможность посмотреть более детальную информацию о конкретной системе или же получить список с расширенной информацией отсутствует.

Рейтинг HPCG был впервые представлен в 2014 году, новые редакции списка публикуются в июне и ноябре каждого года. В июньской редакции 2016 года в рейтинге было представлено 80 систем. Данный рейтинг был предложен составителями рейтинга Top500 в качестве альтер-

нативы этому списку, т.к. со временем производительность вычислительных систем на тесте HPL и на реальных приложениях стала значительно различаться. Результат теста HPCG можно рассматривать, как производительность системы в худшем случае, как «пессимистичную» оценку вычислительной мощности.

При анализе рейтинга большое внимание обращается на отношение производительности системы на тесте HPCG к производительности на тесте HPL (обозначаемое как  $R_{max}$ ) и к теоретической (пиковой) производительности (обозначается  $R_{peak}$ ). Так, например, для суперкомпьютера Tianhe-2, возглавляющего редакцию рейтинга HPCG от июня 2016 года, отношение результата HPCG к результату HPL составляет 1,71%, а отношение к пиковой производительности – 1,05%. Наибольшие отношения результата HPCG к значениям  $R_{max}$  и  $R_{peak}$  в данной редакции рейтинга зафиксированы для занявшего 41-е место векторного суперкомпьютера NEC SX-ACE, установленного в кибер-научном центре университета Тохоку – 12,2% и 11,4% соответственно. Наименьшие значения отношений производительности на тесте HPCG к  $R_{max}$  и  $R_{peak}$  в июньском списке HPCG 2016 года у суперкомпьютера «Ломоносов», занимающего 72-ю позицию в этом списке, – 0,3% и 0,2% соответственно. Примечательно, что суперкомпьютерная система Sunway TaihuLight, занявшая первое место в рейтинге Top500 в июне 2016 года, в редакции рейтинга HPCG от июня 2016 года занимает третье место и также имеет одни из самых низких отношений результата HPCG к производительности на тесте HPL и к пиковой производительности, которые составляют соответственно 0,4% и 0,3%. При этом среднее значение отношения результата HPCG к результату HPL в данной редакции HPCG составляет 3,15%, а среднее значение отношения производительности на тесте HPCG к пиковой производительности системы – 2,7%.

## 2.4 HPGMG

Рейтинг HPGMG [5] позиционируется, как одна из альтернатив рейтингу Top500, для оценки производительности используется одноименный тест HPGMG (High Performance Geometric MultiGrid). В этом тесте также решается система линейных уравнений, но используется метод огрубления и восстановления сеток. Получаемый результат измеряется в количестве решенных уравнений в единицу времени или количестве степеней свободы в единицу времени DOF/s (Degrees Of Freedom/s).

Как и в рейтинге HPCG, в рейтинге HPGMG доступна лишь краткая информация о представленных в нем системах, которая указана на веб-странице с результатами.

Первая редакция списка HPGMG появилась в 2014 году. С 2015 года список начал выходить регулярно в июне и ноябре каждого года (как и другие упомянутые выше списки). Если тест HPL показывает практически наилучшую реально достижимую производительность, а тест HPCG – производительность в худшем случае, то тест HPGMG был задуман, как нечто среднее между ними, для того, чтобы оценивать применимость вычислительных систем к реальным приложениям. Рейтинг является довольно новым, и еще не обрел большой известности. В списке, опубликованном в июне 2016 года, присутствуют 11 систем.

## 2.5 Graph 500

Graph 500 [6] представляет собой альтернативный списку Top500 рейтинг суперкомпьютеров, основанный на оценке производительности, полученной на тесте DFS (Depth First Search), ориентированном на обработку больших массивов данных. Тест заключается в поиске вершин в больших графах, что отражено в названии рейтинга. Результатом теста является количество пройденных вершин в единицу времени, измеряемое в TEPS (Traversed Edges Per Second).

Информация о системах в рейтинге Graph500 доступна на веб-странице с результатами (основные характеристики) и в файле с расширенным списком, который доступен для скачивания на веб-сайте рейтинга.

Впервые список Graph 500 был опубликован в 2010 году. Новые редакции списка появляются в июне и ноябре каждого года. Заявки для участия принимаются от организаций по всему миру. В одних из первых редакций списка стоит отметить высокие позиции отечественного суперкомпьютера «Ломоносов» [7], который благодаря проведенным оптимизациям показал хо-

рошую производительность на используемом в рейтинге бенчмарке и занял 3-е место во второй и третьей по счету редакциях рейтинга Graph500, вышедших соответственно в июне и ноябре 2011 года. Выпущенная в июне 2016 года редакция рейтинга Graph500 содержит 211 систем.

## 2.6 Green Graph 500

Рейтинг Green Graph 500 [8] по отношению к рейтингу Graph 500 является аналогией списку Green500 по отношению к Top500, где удельная производительность на 1 Ватт энергии рассчитывается в соответствии с результатом суперкомпьютера в рейтинге Graph500. Таким образом, метрикой для рейтинга Green Graph 500 является отношение TEPs/W.

На веб-странице с результатами рейтинга располагается список с основными характеристиками систем, который аналогичен списку, представленному на веб-странице результатов Graph500, и содержит дополнительно значение энергоэффективности систем. Однако, для этого рейтинга в отличие от рейтинга Graph500 не предоставлена возможность получения файла с расширенным списком.

Рейтинг Green Graph 500 появился в 2013 году. Заявки для участия принимаются со всего мира. Заявка для участия в рейтинге Green Graph 500 повторяет заявку для Graph 500 с той лишь разницей, что в заявке для Green Graph 500 необходимо указать энергопотребление вычислительной системы. В редакции списка Green Graph 500 от ноября 2015 года содержится 63 системы.

В связи с растущей распространенностью суперкомпьютерной техники помимо общемировых рейтингов стали появляться региональные суперкомпьютерные рейтинги, в которых представлены наиболее производительные вычислительные системы в отдельных странах и регионах. Рассмотрим их подробнее.

## 2.7 TOP 50 суперкомпьютеров СНГ

Список TOP 50 суперкомпьютеров СНГ [9] представляет собой рейтинг 50 наиболее мощных вычислительных систем, расположенных на территории России и стран СНГ. Оценка производительности производится при помощи теста HPL (Linpack) в соответствии с правилами, установленными в рейтинге Top500.

В данном списке на веб-странице результатов содержится достаточно большое количество информации о системах, включающее структурированное описание архитектуры суперкомпьютеров с указанием модели процессоров и ускорителей, а также объема ОЗУ для каждого из различных видов узлов (вид узла определяется моделью и количеством процессоров, моделью сопроцессора или ускорителя и объемом оперативной памяти на узле). Для части систем существуют отдельные веб-страницы с дополнительной информацией, такой как предыдущие вхождения в рейтинг, занимаемая площадь, объем дисковой памяти, и т.д.

Рейтинг TOP 50 суперкомпьютеров СНГ появился в 2004 году и является одним из наиболее ранних региональных рейтингов. Новые редакции списка публикуются 2 раза в год – весной (в марте или апреле) и осенью (в сентябре). При подаче заявки имеется возможность вручную указывать различную дополнительную информацию (вхождения суперкомпьютера в редакции рейтинга Top500, сведения о системе хранения данных), которая потом будет отображаться для пользователей. Данный рейтинг обладает наибольшей детализацией среди всех представленных, при этом данные о системах хорошо структурированы, есть возможность описания гетерогенных систем. Однако при этом известен недостаток, допущенный при изначальном проектировании структуры описания систем в списке — для разного типа систем (кластерная, массивно-параллельная, SMP) используется собственный формат описания, что вносит существенные сложности при работе с данными (аналитика, визуализация).

## 2.8 Top Supercomputers-India

Список [10] является рейтингом самых высокопроизводительных систем Индии. Оценка производительности в этом списке производится в соответствии с требованиями списка Top500 и измеряется тестом HPL (Linpack).

Как и в рейтинге TOP 50 суперкомпьютеров СНГ, в списке результатов рейтинга суперкомпьютеров Индии представлено большое количество сведений о системах, включая описание архитектуры. Также есть возможность перехода к отдельной веб-странице о конкретной системе, где может быть указана дополнительная информация.

Рейтинг Top Supercomputers-India впервые был опубликован в 2008 году, редакции рейтинга выходят в июне и декабре каждого года. Опубликованная в июне 2016 года редакция списка содержит 33 системы. Из преимуществ этого рейтинга можно выделить большое количество информации об архитектуре вычислительных систем, но, судя по всему, часть этой информации хранится в текстовом виде и не обладает хорошей структурированностью. Также можно отметить неоднородность наличия данных о системах (некоторые системы описаны достаточно полно, а некоторые – нет).

## 2.9 The Irish Supercomputer List

Список The Irish Supercomputer List [11] представляет собой список наиболее высокопроизводительных суперкомпьютеров Ирландии. Производительность систем оценивается при помощи теста HPL (Linpack).

На веб-странице с результатами рейтинга представлены небольшое количество характеристик систем, а также описание архитектуры. Возможность перейти к странице с дополнительной информацией о конкретной системе или получить файл с расширенным списком отсутствует.

Рейтинг суперкомпьютеров Ирландии начал публиковаться в 2013 году. Новые редакции списка появляются в июне и ноябре каждого года. В информации о системах в рейтинге уделено особое внимание размеру оперативной и дисковой памяти, также присутствует описание гетерогенных систем. В списке от июня 2016 года представлено 39 суперкомпьютерных систем.

## 2.10 Сравнение суперкомпьютерных рейтингов

Приведем список характеристик, присутствующих в описаниях суперкомпьютерных систем хотя бы одного из вышеописанных рейтингов и рассмотрим их доступность в описаниях систем во всех остальных рейтингах (таблица 1). Для удобства восприятия атрибуты систем разделены на группы.

**Таблица 1.** Наличие характеристик систем в описаниях различных суперкомпьютерных рейтингов

	Top500	Green500	HPCG	HPCMG	Graph 500	Green Graph 500	TOP 50 СНГ	Top Supercomputers-India	The Irish Supercomputer List
Название системы	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Организация (место установки)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Регион установки системы	+	+						+	+
Страна установки системы	+	+	+	+	+				
Континент установки системы	+	+							
Производитель	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Год установки	+	+			+		+	+	

	Top500	Green500	HPCG	HPGMG	Graph 500	Green Graph 500	TOP 50 CHG	Top Supercomputers-India	The Irish Supercomputer List
Сфера использования	+	+			+				
Область применения					+		+	+	
Семейство и модель процессора	+	+	+	+			+	+	+
Частота процессора	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Модель ускорителя или сопроцессора	+	+	+	+			+	+	+
Модель коммуникационной сети	+	+	+	+	+		+	+	+
Модель транспортной сети							+		
Модель сервисной сети							+		
Поколение, к которому принадлежит используемая модель процессора	+	+							
Семейство, к которому принадлежит данная система	+	+							
Семейство, к которому принадлежит используемая коммуникационная сеть	+	+							
Тип архитектуры	+	+							
Тип микроархитектуры процессора	+	+						+	
Семейство, к которому принадлежит ОС суперкомпьютера	+	+							
Операционная система	+	+					+	+	
Количество узлов					+	+	+	+	
Общее количество ядер	+	+	+		+	+	+		+
Общее количество CPU							+		
Количество ускорителей и сопроцессоров	+	+							
Объем оперативной памяти	+	+			+		+	+	+
Объем дисковой памяти							+	+	+
Потребляемая мощность (полная)	+	+			+		+		
Количество ядер на сокет	+	+							
Удельный объем оперативной памяти на один узел							+		+
Количество узлов с графическими ускорителями								+	
Количество узлов с сопроцессорами								+	
Количество сокетов с графическими ускорителями								+	
Количество сокетов с сопроцессорами								+	
Общее количество ядер CPU								+	
Общее количество ядер GPU								+	

	Top500	Green500	HPCG	HPGMDG	Graph 500	Green Graph 500	TOP 50 CHG	Top Supercomputers-India	The Irish Supercomputer List
Общее количество сопроцессорных ядер								+	
Количество узлов различных групп (только с CPU, с сопроцессором или с графическим ускорителем)								+	
Модель процессора для каждой группы узлов (только с CPU, с сопроцессором или с графическим ускорителем)								+	
Частота процессора для каждой группы узлов (только с CPU, с сопроцессором или с графическим ускорителем)								+	
Модель сопроцессора или графического ускорителя для каждой группы узлов с сопроцессором или графическим ускорителем								+	
Количество различных типов узлов							+		
Модель процессора для каждого из различных типов узлов							+		
Модель сопроцессора или ускорителя для каждого из различных типов узлов							+		
Объем ОЗУ на одном узле для каждого из различных типов узлов							+		
Количество процессоров на одном узле для каждого из различных типов узлов							+		
Количество сопроцессоров или ускорителей на одном узле для каждого из различных типов узлов							+		
Занимаемая площадь							+		
Дополнительная информация в произвольной форме							+		
Значение производительности на тесте HPL (Rmax)	+	+	+				+	+	+
Значение пиковой производительности (Rpeak)	+	+					+	+	
Значение производительности на тесте HPCG			+						
Значение производительности на тесте HPGMDG				+					
Значение производительности на тесте DFS					+	+			

	Top500	Green500	HPCG	HPGMG	Graph 500	Green Graph 500	TOP 50 CHГ	Top Supercomputers-India	The Irish Supercomputer List
Удельная производительность на единицу потребляемой энергии	+	+				+			
Эффективность (отношение Rmax к Rpeak)							+		
Размер задачи, при котором был получен результат	+	+			+	+		+	
Количество используемых при запуске MPI-процессов				+					
Количество OpenMP-нитей на один процесс				+					
Количество ускорителей на один процесс				+					
Размер задачи в расчете на 1 процесс				+					
Время выполнения теста					+	+			
Реализация (версия) выполняемого теста					+				
Используемый компилятор	+							+	
Используемая при выполнении теста математическая библиотека	+								
Используемая версия MPI	+								
Комментарии о запуске теста								+	
Место в рейтинге	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Место в рейтинге Top500	+	+	+	+					
Место в рейтинге Graph500					+	+			
Вхождения системы в предыдущие редакции списка	+						+		
Место в предыдущей редакции рейтинга	+								
Вхождения в редакции списка Top500	+						+	+	
Номер редакции списка, в котором данная система впервые появилась	+								
Занимаемое место в редакции списка, в котором данная система впервые появилась	+								

В завершение обзора приведем сравнительные таблицы общемировых рейтингов (таблица 2), а также региональных рейтингов, где для сравнения дополнительно включен рейтинг Top500 (таблица 3). В поле критерия сравнения указана буква «П», если критерием является производительность, и «Э», если критерием является энергоэффективность.

Таблица 2. Сравнительная таблица общемировых рейтингов

Рейтинг	Top500	Green500	Graph 500	Green Graph 500	HPCG	HPGMG
Критерий	П	Э	П	Э	П	П

сравнения, П / Э						
Бенчмарк	HPL	HPL	DFS	DFS	HPCG	HPGMG-FV
Метрика	FLOPS	FLOPS/W	TEPS	TEPS/W	FLOPS	DOF/s
Год появления	1993	2007	2010	2013	2014	2014
Периодичность обновления, раз в год	2	2	2	2	2	2
Выпуск новых редакций	июнь, ноябрь					
Количество систем в списке на 07.2016	500	500	211	63	80	11
Детальность информации	Высокая	Высокая	Средняя	Низкая	Низкая	Низкая
Описание гетерогенной архитектуры	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет

Таблица 3. Сравнительная таблица региональных рейтингов и Top500

Рейтинг	Top500	Top50 СНГ	Top Supercomputers -India	The Irish Supercomputer List
Критерий сравнения, П / Э	П	П	П	П
Бенчмарк	HPL	HPL	HPL	HPL
Метрика	FLOPS	FLOPS	FLOPS	FLOPS
Год появления	1993	2004	2008	2013
Периодичность обновления, раз в год	2	2	2	2
Выпуск новых редакций	июнь, ноябрь	март/апрель, сентябрь	июнь, декабрь	июнь, ноябрь
Количество систем в списке на 07.2016	500	50	33	39
Охват	Весь мир	Россия и СНГ	Индия	Ирландия
Детальность информации	Высокая	Высокая	Средняя	Средняя
Описание гетерогенной архитектуры	Нет	Есть	Нет	Есть, без структуризации

### 3. Недостатки текущих моделей описания вычислительных систем

Исходя из представленного выше видно, что рейтинг Top500 является одним из наиболее детальных рейтингов в плане информации о системах, однако даже в нем не отражаются все характерные особенности систем. Так, например, она не предусматривает описание гетерогенных систем, состоящих из групп узлов различного типа, сопроцессоры и ускорители не разделены и описаны недостаточно детально (только общее количество и модель), нет сведений о топологии, системе хранения данных и прочих дополнительных характеристиках. Описания

систем в рейтингах Green500 и Graph500 содержат ту же, или менее подробную информацию, поэтому это же можно отнести и к ним.

Рейтинг Top Supercomputers-India имеет хорошую детализацию в плане описания вычислительных компонент системы, однако эта информация хранится в виде текстового описания и потому не может быть хорошо структурирована и практически непригодна для подсчета статистики.

Рейтинг TOP 50 суперкомпьютеров СНГ также обладает хорошей детализацией и имеет более четко выраженную структуру, если сравнивать с другим локальным списком – рейтингом суперкомпьютеров Индии.

На основании анализа данных о системах в списках можно предположить, что в рейтинге Top500 используется единая сущность для описания всех атрибутов представленных там систем, или же существует основная сущность, где описано большинство характеристик систем и несколько небольших справочников (стран, регионов, семейств процессоров и т.д.), соединяющихся с основной таблицей по ключу. Тоже самое можно сказать и об остальных представленных в обзоре рейтингах.

Так или иначе, в таких моделях набор свойств описываемой системы жестко зафиксирован, что приводит к неполноте описания в случае появления систем с новыми типами компонент, либо вынуждает регулярно пересматривать и корректировать модель для возможности хранения новой информации.

Приведенный обзор демонстрирует нам разнообразие рейтингов и разнородность представленной в них информации. Системы описываются с разной степенью подробности и в различных форматах. На данный момент нет универсальной модели, способной вместить в себя все характеристики, используемые в этих рейтингах и имеющей возможности к расширению набора характеристик с появлением новых компонент и особенностей систем.

#### **4. Предлагаемый метод описания суперкомпьютерных систем**

При построении модели суперкомпьютера в качестве базовой единицы описания выделяется его основная составная часть – вычислительный узел. Этот выбор обусловлен тем, что в любом вычислительном устройстве можно логически выделить вычислительный узел, как компоненту, отвечающую за вычисления (в тривиальном случае устройство представляется как один вычислительный узел, по сути совпадающий с самим устройством).

ЭВМ может содержать несколько групп узлов различных типов, в рамках одной группы узлы считаются одинаковыми. Каждый узел может содержать некоторое количество компонент различных типов (процессоры, сопроцессоры, ускорители) и иметь несколько атрибутов (к ним можно отнести, например, объем оперативной памяти). Каждая компонента, в свою очередь, имеет свой набор атрибутов и, вообще говоря, может содержать другие компоненты. Сама ЭВМ также может иметь некоторые применимые к ней в целом атрибуты (например, операционная система).

Такая модель достаточно абстрактна для хранения информации разного рода и требует наличия следующих ключевых сущностей:

- Объект (соответствует компоненте). Объекты могут иметь связь типа «содержит» с другими компонентами. Вычислительный узел и сама ЭВМ являются объектами.
- Атрибут (соответствует каждой характеристике ЭВМ и ее составляющих). Для объектов задаются значения имеющихся у них атрибутов.

За счет этих сущностей получается унификация представления компонент системы и их свойств и достигается требование универсальности и гибкости модели. Для удобства работы с моделью ее можно дополнить другими сущностями, которые являются характерными для всех типов описываемых систем.

Сущности и отношения, присутствующие в модели, представлены на рис. 1.

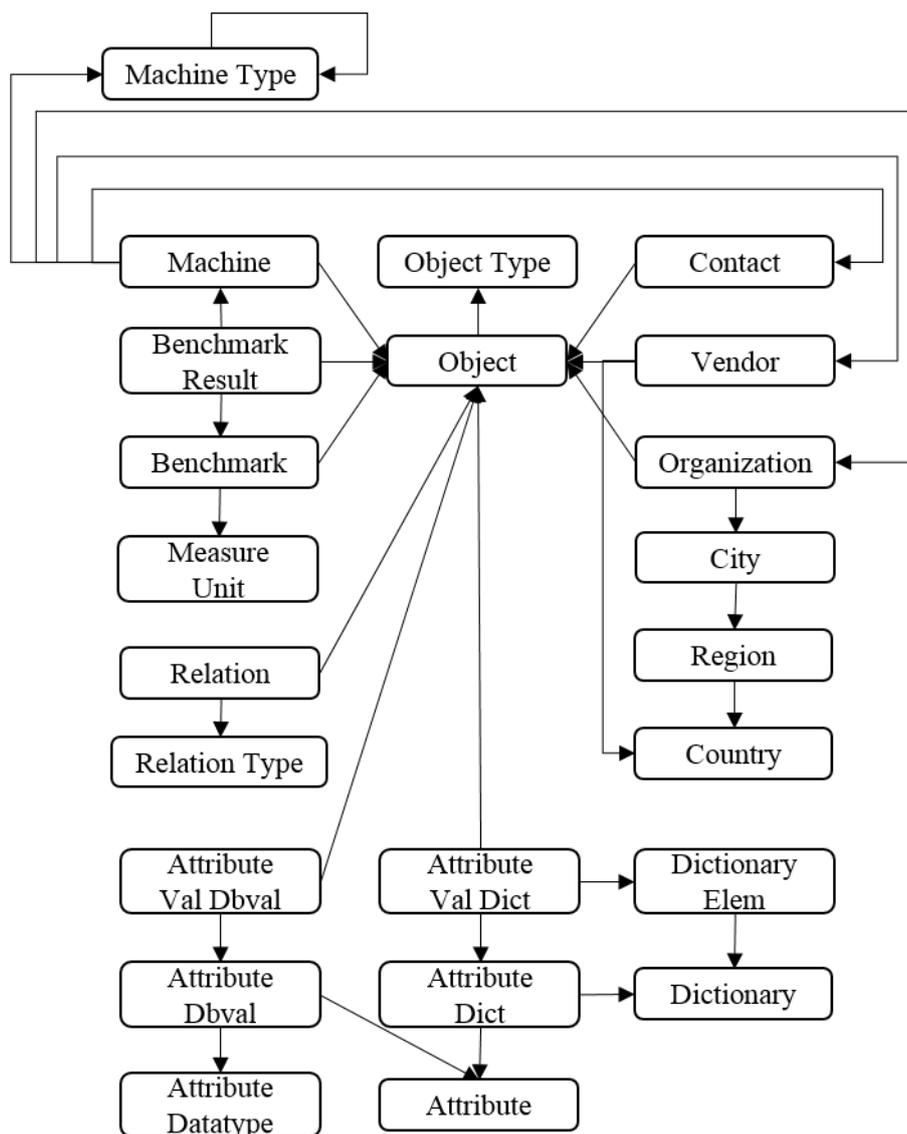


Рис. 1. Схема предлагаемой модели описания.

Общая идея состоит в том, что не каждый тип элементов системы описывается отдельной сущностью (таблицей) – при детальном описании это привело бы к созданию слишком большого количества сущностей, что вызвало бы трудности при работе с моделью. Кроме того, при таком подходе описательные возможности модели ограничиваются рамками изначально созданных для модели сущностей, и для описания новых, заранее не предусмотренных компонент системы, требуется производить переработку модели.

Проиллюстрируем на примере, как можно будет использовать преимущества изложенного подхода. Например, в рейтинге Top500 не присутствуют сведения о системе хранения данных вычислительной системы. В предложенной модели такую информацию будет несложно добавить: система хранения данных будет представляться отдельным устройством со своими характеристиками, т.е. она будет описываться экземпляром уже имеющейся сущности Объект, а ее свойства – атрибутами. Таким же образом можно представить иерархии памяти суперкомпьютерных систем, описывая их по уровням.

Заложенная в модель абстракция позволит не ограничивать ее область применения только на рейтинги суперкомпьютеров и супер-ЭВМ и даст возможность расширить ее и на другие сферы. С помощью такой модели, к примеру, можно описать характеристики мобильных устройств в контексте рейтинга Mobile Linpack [15], применяя аналогичный подход к описанию устройства и его компонент.

Стоит отметить и важность структуризации данных, которая соблюдается в модели. Структурированный подход к описанию систем позволит производить их анализ и выявлять тенденции развития суперкомпьютерной области, а также определять ключевые факторы роста производительности систем. А это является одной из главных целей появления и существования суперкомпьютерных рейтингов. Кроме того, структуризация описания может быть использована для автоматизации процесса обработки новых заявок на участие в рейтинге. Полностью автоматизировать этот процесс навряд ли удастся, однако при наличии четкой структуры можно производить некоторые базовые проверки, такие, как верификация теоретической производительности системы (Rpeak), корректности характеристик компонент и т.п.

## 5. Заключение

Развитие области суперкомпьютерной техники (как и всей вычислительной техники в целом) говорит о необходимости развития рейтингов суперкомпьютерных систем. При этом важно не только ранжировать системы по их показателям производительности, но и иметь данные о характерных особенностях вычислительных систем, что требует описания их компонент и характеристик. На сегодняшний день не существует стандартной общепринятой модели описания суперкомпьютерных систем. Составители суперкомпьютерных рейтингов по всему миру используют свои модели описания, которые в зависимости от года появления и их потребностей могут учитывать те или иные особенности систем.

Существующие варианты не позволяют использовать все возможности для многостороннего анализа характеристик суперкомпьютерных систем. Кроме того, достижения в вычислительной технике вынуждают составителей рейтингов модифицировать используемые модели описания: опыт ведущих мировых рейтингов (например, Top500) говорит о необходимости полного перестроения модели раз в 7-10 лет. Вследствие этого возникает идея гибкого описания систем, которая позволила бы безболезненно учитывать как возникающие потребности в описании существующих характеристик, так и новые технологические достижения, применяемые в области НРС.

Здесь важно различать то, что требуется от модели. Если требуется просто построить рейтинг, то достаточно просто формализованного описания систем вкупе со значением метрики, по которой оцениваются системы. Если же требуется наличие возможности построения детальной статистики, отражение появляющихся особенностей систем и текущих трендов развития в суперкомпьютерной области, то необходимо универсальное описание систем, подразумевающее построение хорошо структурированной модели с широкими описательными возможностями.

При планировании рейтинга Top50 СНГ в суперкомпьютерной области не наблюдалось широкого использования дополнительных вычислительных элементов (таких как графические ускорители, сопроцессоры), не было большого количества альтернативных рейтингов. Кроме того, в рейтинге Top50 СНГ изначально были использованы разные методы описания для различных типов суперкомпьютерных систем (SMP, кластеров, массивно-параллельных систем), что создает большие трудности при необходимости выделения нового типа систем или изменения описания существующего типа.

Применительно к списку Top50 СНГ стоит задача доработки этого рейтинга, для ее решения выбран подход универсального описания систем. При этом учитывается опыт других рейтингов, рассматриваются используемые модели описания, их достоинства и недостатки.

В результате сформирована модель описания вычислительных систем, применимая не только к суперкомпьютерам, но и другим устройствам (например, мобильным), обладающая структурированностью для возможности качественного анализа данных, а также проверки предоставленных данных, которая может быть использована для упрощения обработки заявок.

Предложенный метод описания позволит представлять гетерогенные системы с компонентами различной сложности, имеет возможности для расширения набора характеристик без изменения структуры модели и может быть использован для хранения информации о системах в рейтингах вычислительных систем. Данную концепцию предполагается использовать при реорганизации рейтинга Top50 СНГ. Это позволит взглянуть на накопленный за более, чем 10 лет, багаж информации о суперкомпьютерных системах, установленных на территории России

и СНГ, и даст возможность посмотреть на тенденции развития суперкомпьютерной области с новых ракурсов.

## Литература

1. TOP500 Supercomputer Site. <http://www.top500.org>.
2. Dongarra, J.J., Luszczek, P., Petitet, A.: The LINPACK Benchmark: past, present and future. *Concurrency Computat.: Pract. Exper.* 15 (2003) 803–820.
3. The Green500 List. <http://www.green500.org>.
4. HPCG. <http://www.hpcg-benchmark.org>.
5. HPGMG. <https://hpgmg.org>.
6. The Graph 500 List. <http://www.graph500.org>.
7. Воеводин Вл.В., Жуматий С.А., Соболев С.И., Антонов А.С., Брызгалов П.А., Никитенко Д.А., Стефанов К.С., Воеводин Вад.В. Практика суперкомпьютера "Ломоносов" // Открытые системы. - Москва: Издательский дом "Открытые системы", 2012, № 4. С. 36-39.
8. Green Graph 500. <http://green.graph500.org>.
9. Top50 суперкомпьютеры СНГ. <http://top50.supercomputers.ru>.
10. TOP SUPERCOMPUTERS-INDIA. <http://topsupercomputers-india.iisc.ernet.in>.
11. The Irish Supercomputer List. <http://www.irishsupercomputerlist.org>.
12. Антонов А.С., Никитенко Д.А., Соболев С.И. 18-я редакция списка Top50 самых мощных компьютеров России: ожидания и перспективы // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2013): труды международной научной конференции (г.Челябинск, 1-5 апреля 2013 г.). Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. С. 258-260.
13. Никитенко Д.А. Рейтинг Top50 как индикатор развития области НРС. // Труды X международной конференции Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах (НРС-2010), Т. 2, С. 144–148. Пермь, 2010.
14. Никитенко Д.А. Рейтинг Top50: куда крадемся? // Суперкомпьютеры, 2013, № 4 (16). С. 60–61.
15. Mobile Linpack. <http://linpack.hpc.msu.ru>.

## Methods for describing high-performance computing systems and formation of supercomputer rankings

A.A. Zheltkov

Lomonosov Moscow State University

The paper discusses methods for describing high-performance computing systems. The review of existing supercomputer systems rankings is provided, showing the diversity of the available HPC lists. The comparison based on the information they contain about the participating systems, which identifies key features and drawbacks is also made. As a result, an alternative method of describing supercomputers is suggested that is capable of meeting current trends in the supercomputer technologies area and actual needs for the description of systems. The research results are supposed to be used for improving the Top50 HPC systems of Russia and CIS rating.

*Keywords:* supercomputer ranking, description models for computing systems, methods for describing computing systems, TOP500, Top50 of Russia and CIS rating.

### References

1. TOP500 Supercomputer Sites. <http://www.top500.org>.
2. Dongarra, J.J., Luszczek, P., Petitet, A.: The LINPACK Benchmark: past, present and future. *Concurrency Computat.: Pract. Exper.* 15 (2003) 803–820.
3. The Green500 List. <http://www.green500.org>.
4. HPCG. <http://www.hpcg-benchmark.org>.
5. HPGMG. <https://hpgmg.org/>.
6. The Graph 500 List. <http://www.graph500.org>.
7. Voevodin V.I., Zhumatiy S.A., Sobolev S.I., Antonov A.S., Bryzgalov P.A., Nikitenko D.A., Stefanov K.S., Voevodin Vad.V. *Praktika superkompyutera "Lomonosov". [Supercomputer Lomonosov practices] // Otkrytye sistemy [Open Systems].* 2012. No. 7. P. 36-39.
8. Green Graph 500. <http://green.graph500.org>.
9. Top50 Supercomputers of Russia and CIS. <http://top50.supercomputers.ru>.
10. TOP SUPERCOMPUTERS-INDIA. <http://topsupercomputers-india.iisc.ernet.in>.
11. The Irish Supercomputer List. <http://www.irishsupercomputerlist.org>.
12. Antonov A.S., Nikitenko D.A., Sobolev S.I. 18-ya redaktsiya spiska Top50 samykh moschnykh kompyutеров Rossii: ozhidaniya i perspektivy. [The 18<sup>th</sup> edition of the Top50 list of most powerful computers of Russia: expectations and prospects]. *Parallelnye vychislitelnye tekhnologii (PaVT'2013): Trudy mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii (Ufa, 1 – 5 aprelya 2013) [Parallel Computational Technologies (PCT'2013): Proceedings of the International Scientific Conference (Ufa, Russia, April, 1 – 2, 2013)].* Chelyabinsk, Publishing of the South Ural State University, 2013. P. 258–260.
13. Nikitenko D.A. Rejting Top50 kak indikator razvitiya oblasti HPC. [Top50 rating as an indicator of progress in HPC area]. *Vysokoproizvoditelnye parallelnye vychisleniya na klasternykh sistemakh. (HPC-2010): Trudy X mezhdunarodnoj konferentsii (Perm, 2010). [High-Performance Parallel Computing on cluster environment (HPC-2010): Proceedings of the X International Conference (Perm, Russia, 2010)].* Perm, Publishing of the Perm National Research Polytechnic University, 2010. Vol. 2, P. 258–260.

14. Nikitenko D.A. Rejting Top50: kuda kradyomsya? [Top50 rating: where are we sneaking out?] // Superkompyutery [Supercomputers]. 2013. No. 4 (16). P 60-61.
15. Mobile Linpack. <http://linpack.hpc.msu.ru>.