

## **ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ДЛЯ ВЫБОРА СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ\***

Ройзензон Г.В.<sup>1</sup>

Сравнение вычислительных кластеров, обладающих требуемыми для прикладных применений параметрами, рассматривается как задача многокритериального стратегического выбора. Выбор варианта кластера производится на основе многих критериев, среди которых могут быть как количественные, так и качественные, при этом последние преобладают. Предложены способы формирования набора таких критериев, исходя из технических характеристик аппаратных средств, составляющих кластер. Показана схема применения нового метода вербального анализа решений для многокритериального выбора вычислительного кластера.

### **Введение**

Решение сложных вычислительных задач невозможно сегодня без суперкомпьютерных технологий, которые основаны на использовании вычислительных кластеров, построенных из стандартных комплектующих [Фортов и др., 2002]. Вычислительный кластер представляет собой группу вычислительных машин, которые связаны между собой и функционируют как один узел обработки информации. Кластеры делят на две большие категории. Первая – кластеры высокой готовности или отказоустойчивые кластеры. Для них на первом месте стоит понятие надежности. Вторая – высокопроизводительные вычислительные кластеры (ВВК), для которых главным является производительность. Кластеры можно также разделить на однородные и

---

\* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 02-01-01077, 04-01-00290), программ фундаментальных исследований РАН «Математическое моделирование и интеллектуальные системы», «Фундаментальные основы информационных технологий и систем», гранта НШ1964.2003.1 Президента Российской Федерации по поддержке ведущих научных школ.

<sup>1</sup> 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, д.9, ИСА РАН, [rgv@isa.ru](mailto:rgv@isa.ru)

неоднородные. Однородные кластеры состоят из вычислительных узлов одной и той же конфигурации, неоднородные – из вычислительных узлов различной конфигурации.

Можно указать много областей, где применение вычислительных кластеров позволяет получить результат на порядок быстрее, чем при использовании стандартных 32-х разрядных многопроцессорных (обычно 2-х или 4-х) рабочих станций. К ним, например, относятся генетика, биохимия, биофизика, биоинформатика, электромагнетизм, теплофизика, динамика жидкостей и газов, исследование прочности, моделирование погоды, анализ фондового рынка, и другие.

Для решения конкретных вычислительных задач иногда можно подобрать несколько ВВК из известных конфигураций, выпускаемых различными производителями. В других случаях подходящие кластеры отсутствуют. И тогда кластеры, пригодные для решения требуемых задач, можно сформировать из стандартных и относительно недорогих компонентов. Выбор аппаратной платформы для построения ВВК и формирование необходимой конфигурации является самостоятельной задачей, решение которой зависит от целого ряда факторов (используемая прикладная программа, размерность счетной задачи, точность расчетов, требуемый временной выигрыш и другие) и в данной работе не рассматривается.

Однако и в первом и во втором случаях существует проблема выбора наилучшего варианта вычислительного кластера. Лицами, принимающими решение (ЛПР) и осуществляющими выбор ВВК, выступают конечные пользователи, заинтересованные в решении своих прикладных задач, начальники расчетных бюро, руководители подразделений автоматизации предприятий. Поскольку конфигурация ВВК и его производительность могут последовательно наращиваться в течение достаточно большого промежутка времени (5-7 лет), любые инвестиции в приобретение ВВК можно рассматривать как долгосрочные, что, в свою очередь, накладывает дополнительную ответственность на ЛПР.

В работе рассматривается подход, сводящий выбор ВВК к решению задачи стратегического выбора. Сравнение и выбор ВВК осуществляется на основе небольшого числа критериев оценки, которые ЛПР самостоятельно формирует из технических характеристик кластера и требований к его эксплуатации. Предложены способы построения набора критериев и шкал их оценок, которые затем используются в рамках нескольких методов многокритериального выбора, входящих в состав системы поддержки принятия решений для выбора вычислительного кластера [Ройзензон, 2003].

## 1. Постановка задачи

Сложные технические системы, к которым относятся и высокопроизводительные вычислительные кластеры, состоят из большого числа компонент, которые характеризуются многими техническими и эксплуатационными показателями и параметрами. Так, характеристики ВВК можно условно разделить на две группы. К общим характеристикам ВВК относятся производительность, стоимость, производитель. Показатели, характеризующие компоненты ВВК, включают в себя тип процессора, общий объем и тип оперативной памяти, общий объем и тип дисковой памяти, базовую аппаратную платформу, технологию построения сети, операционную систему, кластерное программное обеспечение. Отдельно выделяются характеристики, определяющие условия эксплуатации кластера. Каждый из показателей имеет числовую оценку или словесное описание. Список характеристик ВВК был составлен на основе анализа литературы [Иванов, 2003], [Климанов и др., 2002], [Савяк, 2002], [Фортов и др., 2002].

Если рассматривать сложные системы как многопризнаковые объекты и сравнивать их между собой, то, в подавляющем большинстве случаев, провести сравнение объектов и выбрать среди них лучший не удастся, так как эти объекты, как правило, оказываются несравнимыми. Это, в основном, обусловлено тем, что число сравниваемых объектов мало (3-5), а описывающие их признаки (технические и эксплуатационные характеристики) разнообразны, различны по значениям и достаточно многочисленны (десятки и сотни).

Задачи выбора наилучшего объекта из числа немногих несравнимых объектов, описываемых большим количеством признаков, относятся к задачам стратегического выбора. Особенностью такого рода задач является получение дополнительной информации о предпочтениях ЛПР, на основе которой можно выделить наилучший вариант решения или предложить пути к построению новых объектов, удовлетворяющих ЛПР. Имеется достаточно большое число методов, ориентированных на решение задач стратегического выбора. Здесь можно упомянуть методы теории многокритериальной полезности, аналитической иерархии, вербального анализа решений.

Трудоемкость применения того или иного метода существенно зависит от размерности описания сравниваемых объектов. Так, например, сложность нахождения тех или иных достоинств и недостатков вариантов решений, которые можно скомпенсировать при сравнении объектов, напрямую связана с числом характеризующих эти объекты свойств.

Известно, что человеку легче сравнивать объекты по небольшому числу показателей, и результаты таких сравнений более надежны. Поэтому для упрощения процедуры сравнения сложных технических систем по их свойствам предлагается предоставить в распоряжение ЛПР возможности и соответствующий инструментарий для агрегирования большого числа характеристик систем в небольшое число критериев, имеющих небольшие шкалы оценок, которые отражают предпочтения ЛПР.

Итак, пусть имеется небольшое число объектов, которые задаются большим количеством числовых и вербальных характеристик. Требуется, на основе предпочтений ЛПР, сформировать из этих характеристик небольшой набор критериев (простых или составных), имеющих порядковые шкалы оценок. Поскольку значения характеристик объектов известны, то для каждого объекта сразу получается его многокритериальное описание, на основе которого в дальнейшем осуществляется сравнение и выбор наилучшего объекта.

Выбор метода решения задачи является важным методологическим этапом. Для выбора лучшего варианта ВВК будут использоваться методы вербального анализа решений [Ларичев и др., 1996], ориентированного на так называемые слабо структурируемые задачи, где доминируют качественные и субъективные факторы. В методах этой группы не оценивается важность критериев, а даются лишь вербальные оценки альтернатив по критериям, к которым не применяются никакие количественные преобразования. В методах используются операции получения информации от ЛПР и экспертов, которые, по результатам психологических экспериментов, считаются надежными. Информация, получаемая от ЛПР, проверяется на непротиворечивость, а выявленные противоречия предъявляются ЛПР для анализа и разъяснения.

## **2. Выбор критериев и построение шкал оценок**

Выбор критериев и формирование шкал оценок является задачей, которая решается ЛПР самостоятельно или с привлечением системного аналитика. Предлагаются следующие подходы к ее решению.

Первоначально составляется перечень всех базовых показателей, характеризующих отдельные компоненты кластера, кластер в целом и условия его эксплуатации. Характеристики, описывающие ВВК, можно представить в виде иерархической системы, нижним уровнем которой служат выделенные базовые показатели. Например, процессор характеризуется такими базовыми показателями как архитектура, тактовая частота, объема кэша 2 и 3 уровня, поддерживаемая частота системной шины. Некоторые из базовых показателей удобно объединять в составные показатели, которые выступают как оценки следующего

уровня иерархии. После классификации эти общие оценки наполняются конкретным содержанием.

Следующим этапом является формирование вспомогательных шкал оценок для каждого базового показателя. Шкалы могут иметь числовые точечные, интервальные или вербальные (словесные) оценки. Шкалы оценок могут совпадать с обычно используемыми на практике, либо конструироваться специально для данного критерия. Например, производительность ВВК оценивается в Гфлопсах (млрд. вычислений с плавающей запятой в секунду), стоимость – в млн. рублей. Для сокращения размерности описания объекта часто бывает удобно перейти от непрерывной шкалы оценки к дискретной, имеющей небольшое число оценок на шкале, и от количественной шкалы к качественной. Например, можно оценивать стоимость оценками «низкая», «средняя», «высокая», указав для каждой из оценок соответствующие интервалы величин. Все сформированные оценки ЛПР должен упорядочить от лучшей к худшей.

Далее ЛПР по своему усмотрению определяет число и состав критериев, их содержание. В качестве критерия можно выбрать один из базовых показателей (например, производительность, стоимость) или несколько характеристик, объединенных в составной критерий. ЛПР устанавливает, какие технические и эксплуатационные показатели будут считаться самостоятельными критериями, а какие будут отнесены к тому или иному составному критерию.

Шкалы простых критериев, являющихся базовыми показателями, уже построены на предыдущем этапе. Для формирования шкал оценок по составным критериям можно воспользоваться несколькими процедурами.

Наиболее простым способом конструирования порядковой шкалы для составного критерия является использование однотипных наборов порядковых вербальных шкал базовых показателей и объединение одинаковых оценок в одну общую оценку по принципу: все лучшие оценки по базовым показателям образуют лучшую оценку по составному критерию, все средние оценки – среднюю, все худшие оценки – худшую.

Более сложные процедуры предполагают применение методов ЗАПРОС и ЦИКЛ [Ларичев, 2002], [Асанов и др., 2001], в которых необходимо рассматривать множество всех возможных векторных оценок в критериальном пространстве, образованном декартовым произведением всех значений оценок на шкалах критериев. Метод ЗАПРОС позволяет построить единую порядковую шкалу, формируя ее из оценок по отдельным частным критериям, с помощью которой производится частичное упорядочение многопризнаковых объектов. Метод ЦИКЛ предназначен для построения полной непротиворечивой порядковой классификации многопризнаковых объектов.

В нашем случае в качестве таких многопризнаковых объектов выступают наборы оценок по базовым показателям, образующим составной критерий. При формировании шкалы оценок составного критерия важно также учесть, что часть характеристик, входящих в состав подобного критерия, могут рассматриваться как самостоятельные, а часть характеристик могут быть составными. Поэтому процедура построения шкалы составного критерия сама может состоять из нескольких этапов.

### **3. Пример набора критериев**

Рассмотрим возможный вариант набора критериев, сформированных из характеристик ВВК, и построения шкал оценок. Предположим, что в качестве самостоятельных критериев, оценивающих ВВК, ЛПР выбрал стоимость, производительность, возможность модернизации и сложность эксплуатации.

Стоимость и производительность являются простыми критериями, которые ЛПР решил оценивать по их естественным количественным шкалам (Гфлопс и млн. рублей).

Возможность модернизации и сложность эксплуатации ВВК являются составными критериями, которые ЛПР образовал из отдельных базовых показателей.

Возможность модернизации ВВК включает в себя следующие технические характеристики: тип процессора, общий объем и тип оперативной памяти, общий объем и тип дисковой памяти, базовые аппаратные платформы и технология построения сети.

На сложность эксплуатации ВВК влияют производитель, операционная система, кластерное программное обеспечение и характеристики кластера, важные для организации должных условий эксплуатации.

По каждому базовому показателю ЛПР выделил вспомогательные порядковые шкалы оценок, которые упорядочил от лучшей оценки к худшей. Например, вспомогательная шкала оценок производителя ВВК может иметь вид: (1) Вычислительная техника представлена известным производителем, обладающим разветвленной сетью технической поддержки и авторизованных сервисных центров. (2) Вычислительная техника представлена хорошо зарекомендовавшим себя производителем, не имеющим негативной статистики по уровню сопровождения и гарантийного обслуживания. (3) Вычислительная техника представлена производителем, не имеющим широкой известности. Отсутствуют рекомендации и информация о качестве сопровождения и гарантийного обслуживания.

Оценка мощности блока питания, являющегося компонентом базовой аппаратной платформы, может быть представлена следующей шкалой: (1) большая мощность (450 Вт и более); (2) средняя мощность (350-450 Вт); (3) малая мощность (менее 350 Вт).

Таким образом, получается следующий набор критериев оценки ВВК.

**Стоимость.** Количественный критерий. Оценивается в млн. рублей.

**Производительность.** Количественный критерий. Оценивается в ГФлопсах.

**Возможность модернизации.** Качественный критерий с порядковой шкалой, имеющей следующие оценки.

Высокая. Технология построения сети позволяет добавлять дополнительные узлы, не опасаясь того, что увеличение трафика приведет к перегрузке. Вычислительные узлы оснащены современными процессорами, модернизация которых в ближайшее время не потребуется. Общий объем и тип оперативной и дисковой памяти отвечает требованиям задачи и имеется возможность ее увеличения в будущем. Базовые платформы вычислительных узлов позволяют в дальнейшем перейти на новые, более быстрые технологии построения сети.

Средняя. Возможности добавления новых вычислительных узлов ограничены, тем не менее, для решаемой вычислительной задачи нет оснований полагать, что производительность сети может стать узким местом. Вычислительные узлы имеют некоторые ограничения на установку в будущем новых процессоров. Объем и тип оперативной и дисковой памяти отвечает требованиям расчетной задачи, однако большого резерва по наращиванию ее объема нет. Базовые аппаратные платформы отвечают всем современным техническим требованиям.

Низкая. Возможности добавления новых вычислительных узлов нет. В будущем технология построения сети может стать узким местом. Возможности модернизации вычислительных узлов как с точки зрения установки новых процессоров, так и с точки зрения наращивания объема оперативной и дисковой памяти, ограничены. Базовые платформы не отвечают всем современным технологическим требованиям.

**Сложность эксплуатации.** Качественный критерий с порядковой шкалой, имеющей следующие оценки.

Низкая. Вычислительная техника представлена известным производителем, обладающим разветвленной сетью технической поддержки и авторизованных сервисных центров. Вычислительный кластер не предъявляет серьезных требований по организации условий эксплуатации. С сопровождением вычислительного комплекса может справиться любой подготовленный опытный пользователь.

Средняя. Вычислительная техника представлена хорошо зарекомендовавшим себя производителем, не имеющим негативной статистики по уровню сопровождения и гарантийного обслуживания. Для организации должных условий эксплуатации необходимо провести ряд мероприятий. Сопровождение вычислительного комплекса не требует постоянного присутствия системного администратора.

Высокая. Вычислительная техника представлена производителем, не имеющим широкой известности. Отсутствуют рекомендации и информация о качестве сопровождения и гарантийного обслуживания. Для организации должных условий эксплуатации необходимо провести большой объем мероприятий. Сопровождение вычислительного комплекса требует постоянного присутствия высококвалифицированного системного администратора.

### **Заключение**

Предложена процедура построения набора критериев для оценки сложной технической системы. Важной особенностью рассматриваемой процедуры является возможность формирования разных наборов критериев, позволяющих провести сравнение полученных результатов для оценки качества сделанного выбора системы. Методика агрегирования критериев была опробована на примере решения практической задачи многокритериального выбора вычислительных кластеров.

### **Список литературы**

- [Асанов и др., 2001] Асанов А.А., Борисенков П.В., Ларичев О.И., Нарыжный Е.В., Ройзензон Г.В. Метод многокритериальной классификации ЦИКЛ и его применение для анализа кредитного риска. // Экономика и математические методы, 2001, том 37, № 2, с. 14-21.
- [Иванов, 2003] Иванов Е.И. Некоторые аспекты выбора серверов // Корпоративные системы, 2003, № 4, с. 34-36.
- [Климанов и др., 2002] Климанов В.П., Сулягин М.В., Быстрикова В.А. Задачи катастрофоустойчивости кластерных вычислительных систем. // Новости искусственного интеллекта, 2002, № 3 (51), с. 22-30.
- [Ларичев и др., 1996] Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. – М.: Физматлит, 1996. — 208 с.
- [Ройзензон, 2003] Ройзензон Г.В. СППР для выбора вычислительных кластеров. // Труды международных научно-технических конференций «Интеллектуальные системы» (IEEE AIS'03) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2003). – М.: Физматлит, 2003, т. 1, с. 443-448.
- [Савяк, 2002] Савяк В. Эффективные кластерные решения — [www.ixbt.com/cpu/clustering.shtml](http://www.ixbt.com/cpu/clustering.shtml)



**[Фортов и др., 2002]** Фортов В.Е., Савин Г.И., Левин В.К., Забродин А.В., Шабанов Б.М. Создание и применение системы высокопроизводительных вычислений на базе высокоскоростных сетевых технологий. // Информационные технологии и вычислительные системы, 2002, № 1, с. 3-9.