

ВЫБОР ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПО ИНТЕГРАЛЬНОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ

Алексей Петровский, Василий Лобанов,
Алла Заболевая-Зотова, Татьяна Шитова

Аннотация: В работе описан подход к многокритериальному выбору вычислительного комплекса с использованием многоэтапной технологии последовательного снижения размерности пространства критериев. С помощью методов вербального анализа решений построено несколько иерархических систем составных критериев, агрегирующих исходные характеристики комплекса в единственный интегральный показатель перспективности. Предложенный подход позволяет упростить процедуру многокритериальных сравнений и выбора вариантов, уменьшить трудоемкость процедуры, выбрать наиболее предпочтительный вариант и оценить качество сделанного выбора.

Ключевые слова: многокритериальный выбор, вербальный анализ решений, снижение размерности признакового пространства, агрегирование признаков, интегральный показатель, вычислительный комплекс

ACM Classification Keywords: A.0 General Literature - Conference proceedings

Введение

Различные научные и прикладные задачи все чаще решаются с применением высокопроизводительных вычислительных комплексов, выступающих альтернативой дорогим суперкомпьютерам. Стоимость создания вычислительных комплексов постоянно снижается, благодаря массовому выпуску стандартных комплектующих изделий и растущей конкуренции среди производителей. Построение вычислительных систем из стандартных компонентов привело к тому, что на рынке представлено много комплексов различных конфигураций. И перед пользователем, которому нужно решить собственную прикладную задачу, встает проблема выбора наиболее предпочтительной конфигурации вычислительного комплекса.

Сравнение и выбор вычислительных комплексов представляет собой сложную, слабо структурируемую и плохо формализованную задачу [Петровский, 2009]. Это обусловлено тем, что вычислительные комплексы характеризуются большим числом показателей, а выбор осуществляется по многим количественным и качественным критериям. Вместе с тем, как правило, вариантов конфигураций бывает немного, и такие варианты оказываются несравнимыми друг с другом по своим показателям, что не позволяет применять известные методы принятия решений для выбора лучшего варианта. Возможные подходы к многокритериальному выбору вычислительных кластеров изложены в работах [Ройзензон, 2005], [Лобанов, Петровский, 2013], [Петровский и др., 2013].

В работе [Петровский и др., 2013] описан многокритериальный выбор наиболее предпочтительной конфигурации вычислительного кластера, обладающего требуемыми для прикладных применений параметрами, в сокращенном пространстве критериев. Для решения задачи применена технология ПАКС (Последовательное Агрегирование Классифицируемых Состояний) [Петровский, Ройзензон, 2012].

Многоэтапная технология ПАКС, исходя из предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР), и/или знаний эксперта, позволяет сформировать несколько иерархических систем с различными наборами составных критериев, которые объединяют большое число исходных характеристик рассматриваемых объектов в один или несколько итоговых критериев, имеющих количественные и/или качественные порядковые шкалы оценок.

Человеку, в силу особенностей его физической памяти, легче оперировать небольшой по объему информацией. На практике для этого бывает достаточно использовать от трех до семи критериев, описывающих варианты. Итоговые критерии в компактной форме передают содержательный смысл исходных характеристик и дают возможность обосновать выбор наиболее предпочтительного варианта. Поэтому сокращение числа критериев оценки позволяет ЛПР не только решить задачу выбора, но и упрощает анализ полученных результатов. Вместе с тем при слишком малом числе итоговых критериев и недостаточно продуманном агрегировании исходных показателей на предыдущих уровнях иерархии могут возникать ситуации, когда все рассматриваемые варианты при их очевидном различии имеют одинаковые оценки. Осуществить выбор в таких случаях невозможно.

В данной работе, которая в содержательном смысле продолжает работу [Петровский и др., 2013], описан выбор наиболее предпочтительного вычислительного комплекса из имеющегося перечня по единственному интегральному показателю, характеризующему перспективность комплекса. Этот показатель строится несколькими способами с помощью технологии ПАКС-М [Petrovsky et al, 2013], являющейся модифицированной версией многоэтапной технологии ПАКС. Многометодная технология ПАКС-М, ориентированная на решение задачи выбора несколькими методами, предоставляет лицу, принимающему решение (ЛПР) возможности избежать возникновения противоречий на разных этапах процедуры агрегирования критериев. Такая возможность обеспечивается благодаря входящему в технологию ПАКС-М алгоритму выявления агрегированного группового предпочтения, реализуемого с помощью нескольких методов группового многокритериального выбора и процедуры голосования. Сопоставление результатов, полученных несколькими методами для разных систем критериев, позволяет провести анализ итоговых результатов, сравнить системы критериев между собой, выбрать наиболее предпочтительную систему и оценить качество сделанного выбора.

Агрегирование характеристик вычислительного комплекса

Процедура построения нескольких иерархических систем критериев, которые агрегируют исходные характеристики вычислительных комплексов, описана в работе [Петровский и др., 2013]. В качестве исходных характеристик вычислительных комплексов были выбраны 29 показателей, отражающих предпочтения ЛПР и объединенных в следующие группы.

ХМ. Технические характеристики модуля: частота ядра процессора; разрядность ядра процессора; количество потоков; количество ядер процессора; объем поддерживаемой процессором оперативной памяти; количество процессоров в модуле; объем оперативной памяти модуля; наличие ускорителя универсальных вычислений; дисковая память модуля; наличие в модуле оптического накопителя данных.

ВХ. Вычислительные характеристики кластера: число модулей в кластере; скорость обмена между модулями; наличие встроенных средств ввода-вывода; наличие бесперебойного питания; программные характеристики кластера; возможность модернизации технических и программных средств кластера.

КХ. Конструкционные характеристики кластера: размеры кластера (высота, глубина, ширина); масса кластера; защищенность от помех.

ЭХ. Эксплуатационные характеристики кластера: энергопотребление; уровень шума; тепловыделение; условия эксплуатации (температура, влажность); наработка на отказ.

ПК. Производительность кластера.

СИ. Стоимость изготовления кластера.

Для каждого исходного показателя была сформирована вербальная шкала оценок с двумя или тремя градациями. Например, производительность комплекса оценивалась как ПК⁰ – высокая (>2000 Гфлопс); ПК¹ – средняя (2000-500 Гфлопс); ПК² – низкая (<500 Гфлопс).

Процедура агрегирования характеристик включает несколько этапов:

- разбиение исходных показателей на группы, в которых критерии близки друг другу по смыслу или являются неотъемлемыми характеристиками какого-либо составного критерия;
- построение дерева агрегирования на основе сформированных групп критериев;
- формирование порядковых шкал оценок для составных критериев с указанием диапазона оценок исходных показателей для каждой градации на шкале.

При построении дерева агрегирования критериев предварительно были определены исходные показатели, которые рассматривались в качестве итоговых критериев. Такими показателями стали производительность комплекса и стоимость изготовления комплекса. Выбор показателей СИ и ПК как итоговых критериев связано с их особой ролью. СИ является единственным показателем в перечне, характеризующим материальные затраты на приобретение вычислительного комплекса, а ПК обеспечивает сравнение скорости вычислений, осуществляемых комплексами.

Остальные исходные показатели комплекса были объединены в составные критерии ВХ. Вычислительные характеристики кластера; КХ. Конструкционные характеристики кластера; ЭХ. Эксплуатационные характеристики кластера. Показатель „Технические характеристики модуля” был включен как составная часть в вычислительные характеристики комплекса.

При агрегировании исходных показателей в составные критерии конструирование градаций шкал составных критериев выполнялось на основе комбинаций градаций оценок исходных показателей. Конструировать каждую градацию шкалы составного критерия можно различными способами, используя разные методы для построения самой шкалы составного критерия, выбирая разные числа градаций и диапазоны изменения переменных на градациях шкал критериев предыдущего или данного уровня иерархии исходя из предпочтений ЛПР или знаний эксперта. В рассматриваемом случае градации шкалы составного критерия конструировались с помощью метода стратификации кортежей с назначением диапазонов изменения градации на шкале тремя разными способами. Каждую такую систему критериев удобно рассматривать как выражение точки зрения некоторого ЛПР/эксперта. Иными словами, можно считать, что при использовании любой из иерархических систем критериев каждый комплекс оценивался не одним, а тремя независимыми экспертами.

Объектами многокритериального выбора были три вычислительных комплекса ВК1, ВК2 и ВК3, которые сравнивались по пяти критериям: ПК, СИ, ВХ, КХ, ЭХ. Результаты многокритериальной оценки комплексов даны на рисунке 1. Справа на рисунке приведен формат представления оценок по каждому критерию: столбец – оценки соответствующего комплекса, данные тремя экспертами, строка – оценки трех комплексов, данные соответствующим экспертом.

Выбор наиболее предпочтительного комплекса проводился с помощью трех методов группового многокритериального выбора: метода АРАМИС, лексикографического упорядочивания по градациям

критериальных оценок и метода взвешенных сумм рангов [Петровский, 2009]. Полученные этими методами ранжировки комплексов были обобщены при помощи процедуры Борда. Итоговое упорядочение комплексов имело вид: $BK1 > BK2 \approx BK3$. Таким образом, комплекс $BK1$ оказался предпочтительнее комплексов $BK2$ и $BK3$, которые можно считать примерно равноценными.

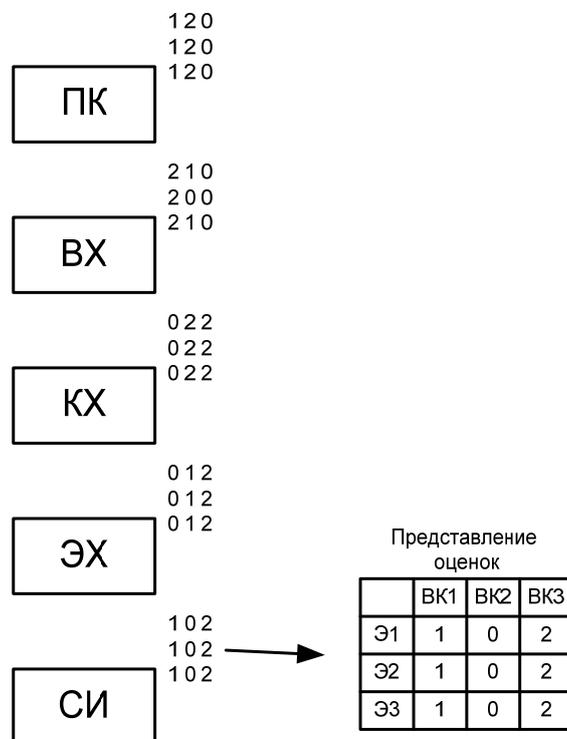


Рисунок 1. Оценка комплексов по пяти критериям

Система агрегирования критериев с итоговыми критериями ПК, СИ, ВХ, КХ и ЭХ дала возможность выбрать наиболее предпочтительный комплекс и объяснить результаты выбора, а также использовать эти критерии в качестве промежуточных при построении системы с единственным интегральным показателем оценки комплексов.

Построение интегрального показателя оценки вычислительного комплекса (1 способ)

Рассмотрим теперь процедуру построения единственного интегрального показателя КК. „Категория комплекса”, характеризующего его перспективность и имеющего три вербальные градации оценок: KK^0 – перспективный комплекс, KK^1 – современный комплекс, KK^2 – устаревающий комплекс. Построенный интегральный показатель перспективности вычислительного комплекса был использован для выбора наиболее предпочтительного варианта.

Интегральный показатель формировался четырьмя разными способами путем агрегирования различных сочетаний промежуточных критериев, в качестве которых выступали приведенные выше критерии:

- ПК. Производительность комплекса;
- СК. Стоимость изготовления комплекса;
- ВХ. Вычислительные характеристики комплекса;
- КХ. Конструкционные характеристики комплекса;
- ЭХ. Эксплуатационные характеристики комплекса.

По 1 способу агрегирования критерии ПК и ВХ объединяются в составной критерий „Вычислительный потенциал комплекса” ВП=(ПК, ВХ). Критерии КХ и ЭХ объединяются в составной критерий „Затраты на обслуживание комплекса” ЗО=(КХ, ЭХ). Критерий СИ в данном способе не включается в составной критерий ЗО, так как во-первых, предполагается, что приобретение или изготовление комплекса связано с разовыми затратами, а обслуживание комплекса требует периодических (ежемесячных)затрат. Во-вторых, затраты на обслуживание комплекса приходятся на время, когда комплекс уже запущен в эксплуатацию и его владелец получает какую-то прибыль, за счет которой эти затраты будут компенсироваться. Далее критерии ВП, ЗО и СИ объединяются в единственный интегральный показатель „Категория комплекса” КК=(ВП, ЗО, СИ). Система составных критериев представлена на рисунке 2.

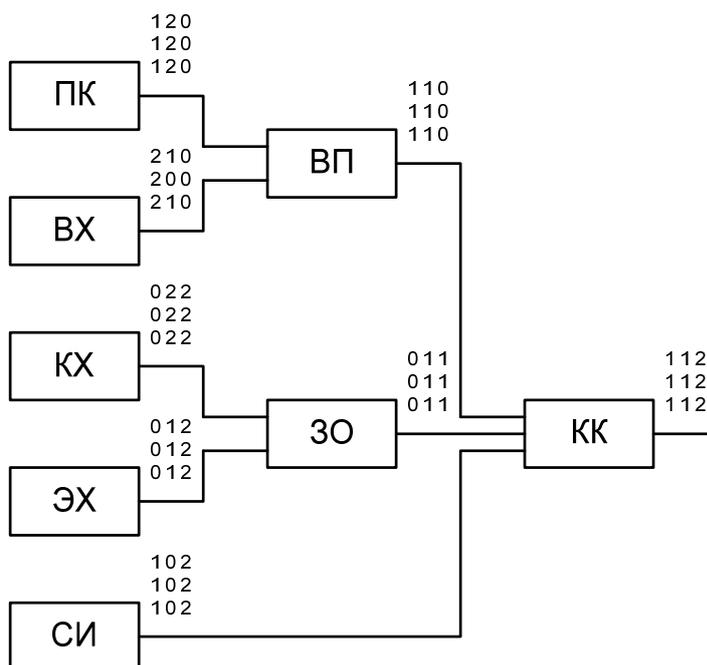


Рисунок 2. Первый способ агрегирования критериев

Шкалы оценок для критериев ВП, ЗО и КК были сформированы следующим образом:

ВП. Вычислительный потенциал комплекса:

ВП⁰ – *высокий* (ПК⁰, ВХ⁰), (ПК⁰, ВХ¹), (ПК¹, ВХ⁰);

ВП¹ – *средний* (ПК¹, ВХ¹), (ПК¹, ВХ²), (ПК², ВХ¹);

ВП² – *низкий* (ПК², ВХ²).

ЗО. Затраты на обслуживание комплекса:

ЗО⁰ – *низкие* (КХ⁰, ЭХ⁰), (КХ⁰, ЭХ¹), (КХ¹, ЭХ⁰);

ЗО¹ – *высокие* (КХ¹, ЭХ¹), (КХ¹, ЭХ²), (КХ², ЭХ¹), (КХ², ЭХ²).

КК. Категория комплекса:

КК⁰ – *перспективный* (ВП⁰, ЗО⁰, СИ⁰), (ВП⁰, ЗО⁰, СИ¹), (ВП⁰, ЗО¹, СИ⁰), (ВП¹, ЗО⁰, СИ⁰);

КК¹ – *современный* (ВП⁰, ЗО¹, СИ¹), (ВП¹, ЗО⁰, СИ¹), (ВП¹, ЗО¹, СИ⁰), (ВП², ЗО⁰, СИ⁰), (ВП⁰, ЗО⁰, СИ²);

KK^2 – *устареваяющий* ($ВП^1, ЗО^1, СИ^1$), ($ВП^0, ЗО^1, СИ^2$), ($ВП^2, ЗО^1, СИ^0$), ($ВП^2, ЗО^0, СИ^1$), ($ВП^2, ЗО^0, СИ^2$), ($ВП^2, ЗО^1, СИ^2$).

Сравнение комплексов по интегральному показателю KK . „Категория комплекса” показало, что $ВК1 \approx ВК2 > ВК3$. Это не вполне согласуется с результатами сравнения комплексов по пяти критериям и связано с тем, что введенный промежуточный критерий $ВП$ уравнивал между собой комплексы $ВК1$ и $ВК2$, что привело к другому результату. Кроме того, введение критериев $ВП$ и $ЗО$ усложняют объяснение полученного результата. Построенная первым способом система агрегирования критериев не позволяет внятно объяснить результаты сравнения комплексов.

Построение интегрального показателя оценки вычислительного комплекса (2 способ)

По 2 способу агрегирования критерии $ПК$, $ВХ$ и $КХ$ объединяются в составной критерий „Вычислительный потенциал комплекса” $ВП=(ПК, ВХ, КХ)$. Критерии $ЭХ$ и $СИ$ не группируются, так как они характеризуют денежные затраты на разных этапах. Далее критерии $ВП$, $ЭХ$ и $СИ$ объединяются в единственный интегральный показатель „Категория комплекса” $KK=(ВП, ЭХ, СИ)$. Система составных критериев представлена на рисунке 3.

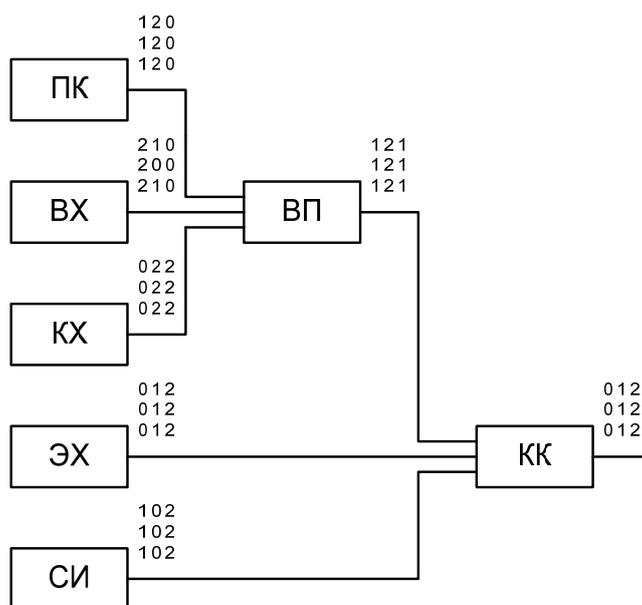


Рисунок 3. Второй способ агрегирования критериев

Шкалы оценок для критериев $ВП$ и $КК$ были сформированы следующим образом:

$ВП$. Вычислительный потенциал комплекса:

$ВП^0$ – *высокий* ($ПК^0, ВХ^0, КХ^0$), ($ПК^0, ВХ^0, КХ^1$), ($ПК^0, ВХ^1, КХ^0$), ($ПК^1, ВХ^0, КХ^0$);

$ВП^1$ – *средний* ($ПК^0, ВХ^1, КХ^1$), ($ПК^1, ВХ^0, КХ^1$), ($ПК^1, ВХ^1, КХ^0$), ($ПК^1, ВХ^1, КХ^1$), ($ПК^0, ВХ^0, КХ^2$), ($ПК^0, ВХ^2, КХ^0$), ($ПК^2, ВХ^0, КХ^0$), ($ПК^2, ВХ^0, КХ^1$), ($ПК^2, ВХ^1, КХ^0$), ($ПК^0, ВХ^2, КХ^1$), ($ПК^1, ВХ^2, КХ^0$), ($ПК^0, ВХ^1, КХ^2$), ($ПК^1, ВХ^0, КХ^2$);

$ВП^2$ – *низкий* ($ПК^0, ВХ^2, КХ^2$), ($ПК^2, ВХ^0, КХ^2$), ($ПК^2, ВХ^2, КХ^0$), ($ПК^1, ВХ^2, КХ^2$), ($ПК^2, ВХ^1, КХ^2$), ($ПК^2, ВХ^2, КХ^1$), ($ПК^2, ВХ^2, КХ^2$).

КК. Категория комплекса:

КК⁰ – перспективный (ВП⁰, ЭХ⁰, СИ⁰), (ВП⁰, ЭХ⁰, СИ¹), (ВП⁰, ЭХ¹, СИ⁰), (ВП¹, ЭХ⁰, СИ⁰), (ВП⁰, ЭХ¹, СИ¹), (ВП¹, ЭХ⁰, СИ¹), (ВП¹, ЭХ¹, СИ⁰), (ВП⁰, ЭХ⁰, СИ²), (ВП⁰, ЭХ², СИ⁰), (ВП², ЭХ⁰, СИ⁰);

КК¹ – современный (ВП¹, ЭХ¹, СИ¹), (ВП², ЭХ⁰, СИ¹), (ВП², ЭХ¹, СИ⁰), (ВП⁰, ЭХ², СИ¹), (ВП⁰, ЭХ¹, СИ²), (ВП¹, ЭХ⁰, СИ²), (ВП¹, ЭХ², СИ⁰);

КК² – устаревающий (ВП⁰, ЭХ², СИ²), (ВП², ЭХ⁰, СИ²), (ВП², ЭХ², СИ⁰), (ВП², ЭХ², СИ¹), (ВП², ЭХ¹, СИ²), (ВП¹, ЭХ², СИ²), (ВП², ЭХ², СИ²).

При сравнении комплексов по показателю КК „Категория комплекса” оказалось, что $ВК1 > ВК2 > ВК3$. Результаты оценки комплексов по показателю КК близки к полученным при оценке комплексов по пяти критериям. По шкале показателя КК комплекс считается перспективным, если общая сумма градаций оценок по промежуточным критериям не превышает значения 2, т.е. даже при наличии двух средних оценок или одной низкой оценки по промежуточным критериям.

Однако полученные результаты не совсем согласуются с результатами сравнения комплексов по пяти критериям. Построенная вторым способом система агрегирования критериев также не позволяет внятно объяснить результаты.

Построение интегрального показателя оценки вычислительного комплекса (3 способ)

По 3 способу агрегирования критерии ВХ, КХ и ЭХ объединяются в составной критерий „Обобщенные характеристики комплекса” ОХ=(ВХ, КХ, ЭХ). Критерии ПК и СИ не группируются. Затем критерии ПК, СИ и ОХ объединяются в один интегральный показатель „Категория комплекса” КК=(ПК, СИ, ОХ). Система составных критериев представлена на рисунке 4.

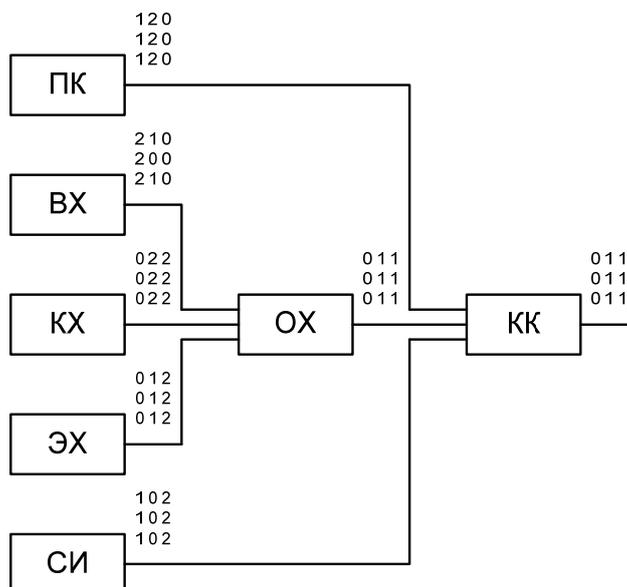


Рисунок 4. Третий способ агрегирования критериев

Шкалы оценок для критериев ОХ и КК были сформированы следующим образом:

ОХ. Обобщенные характеристики комплекса:

ОХ⁰ – *высокие* (ВХ⁰, КХ⁰, ЭХ⁰), (ВХ⁰, КХ⁰, ЭХ¹), (ВХ⁰, КХ¹, ЭХ⁰), (ВХ¹, КХ⁰, ЭХ⁰), (ВХ⁰, КХ¹, ЭХ¹), (ВХ¹, КХ⁰, ЭХ¹), (ВХ¹, КХ¹, ЭХ⁰), (ВХ⁰, КХ⁰, ЭХ²), (ВХ⁰, КХ², ЭХ⁰), (ВХ², КХ⁰, ЭХ⁰);

ОХ¹ – *средние* (ВХ¹, КХ¹, ЭХ¹), (ВХ², КХ⁰, ЭХ¹), (ВХ², КХ¹, ЭХ⁰), (ВХ⁰, КХ², ЭХ¹), (ВХ¹, КХ², ЭХ⁰), (ВХ⁰, КХ¹, ЭХ²), (ВХ¹, КХ⁰, ЭХ²), (ВХ⁰, КХ², ЭХ²), (ВХ², КХ², ЭХ⁰), (ВХ², КХ⁰, ЭХ²);

ОХ² – *низкие* (ВХ², КХ², ЭХ¹), (ВХ², КХ¹, ЭХ²), (ВХ¹, КХ², ЭХ²), (ВХ², КХ², ЭХ²).

КК. Категория комплекса:

КК⁰ – *перспективный* (ПК⁰, СИ⁰, ОХ⁰), (ПК⁰, СИ⁰, ОХ¹), (ПК⁰, СИ¹, ОХ⁰), (ПК¹, СИ⁰, ОХ⁰), (ПК⁰, СИ¹, ОХ¹), (ПК¹, СИ⁰, ОХ¹), (ПК¹, СИ¹, ОХ⁰), (ПК⁰, СИ⁰, ОХ²), (ПК⁰, СИ², ОХ⁰), (ПК², СИ⁰, ОХ⁰);

КК¹ – *современный* (ПК¹, СИ¹, ОХ¹), (ПК⁰, СИ¹, ОХ²), (ПК¹, СИ⁰, ОХ²), (ПК⁰, СИ², ОХ¹), (ПК¹, СИ², ОХ⁰), (ПК², СИ⁰, ОХ¹), (ПК², СИ¹, ОХ⁰);

КК² – *устаревающий* (ПК¹, СИ¹, ОХ²), (ПК¹, СИ², ОХ¹), (ПК², СИ¹, ОХ¹), (ПК⁰, СИ², ОХ²), (ПК², СИ⁰, ОХ²), (ПК², СИ², ОХ⁰), (ПК¹, СИ², ОХ²), (ПК², СИ¹, ОХ²), (ПК², СИ², ОХ¹), (ПК², СИ², ОХ²).

При сравнении комплексов по показателю КК „Категория комплекса” оказалось, что $ВК1 > ВК2 \approx ВК3$. Сравнение по критерию ОХ показало, что комплекс ВК1 ненамного опережает комплексы ВК2 и ВК3, а те, в свою очередь, считаются равноценными. Сравнение комплексов по показателю КК дало результаты, согласующиеся с результатами сравнения комплексов по пяти критериям. Полученные результаты можно объяснить следующим образом. По составному критерию ОХ комплекс ВК1 получает высокую оценку, так как, несмотря на низкую оценку вычислительных характеристик, он имеет лучшие оценки конструкционных и эксплуатационных характеристик, в то время как комплексы ВК2 и ВК3 заметно уступают ему по этим параметрам. Общая предпочтительность комплексов не меняется при агрегировании критериев ПК, СИ и ОХ в единый интегральный показатель агрегирования КК.

Построенная третьим способом система агрегирования критериев не содержит противоречий и дает понятное объяснение полученных результатов. Оценки, характеризующие вычислительные комплексы по иерархической системе с тремя промежуточными критериями ПК, ОХ, СИ, также согласуются с оценками комплексов по пяти критериям.

Построение интегрального показателя оценки вычислительного комплекса (4 способ)

По 4 способу агрегирования все пять критериев сразу объединяются в единый показатель „Категория комплекса” $КК = (ПК, ВХ, КХ, ЭХ, СИ)$. Система составных критериев представлена на рисунке 5.

При агрегировании пяти критериев шкала интегрального показателя КК. „Категория комплекса” формировалась следующим образом. Комплекс считался перспективным (КК⁰), если сумма градаций оценок критериев, входящих в показатель КК, не превышала значение 4. Комплекс считался современным (КК¹), если сумма градаций оценок критериев, входящих в показатель КК, равнялась 5 или 6. Комплекс считался устаревающим (КК²), если сумма градаций оценок критериев, входящих в показатель КК, превышала значение 6. Градации шкалы оценок не приводятся в силу их громоздкости.

При сравнении комплексов по показателю КК „Категория комплекса” оказалось, что $ВК1 > ВК2 \approx ВК3$, что согласуется с результатами сравнения комплексов по пяти критериям и сравнением по третьей системе агрегирования критериев. Полученные результаты можно объяснить следующим образом. Сопоставляя

оценки комплексов по пяти критериям, можно заметить, что комплекс ВК1, по общему мнению экспертов, имеет две высокие оценки по критериям КХ и ЭХ (оценки по градациям соответствуют значению 0), две средние оценки по критериям ПК и СИ (оценки по градациям соответствуют значению 1), а также одну низкую оценку по критерию ВХ (оценка по градации соответствует значению 2). Суммарное значение градаций оценок, присвоенных каждым из экспертов, равняется 4. Комплексы ВК2 и ВК3 по общей совокупности оценок уступают комплексу ВК1 и примерно равноценны.

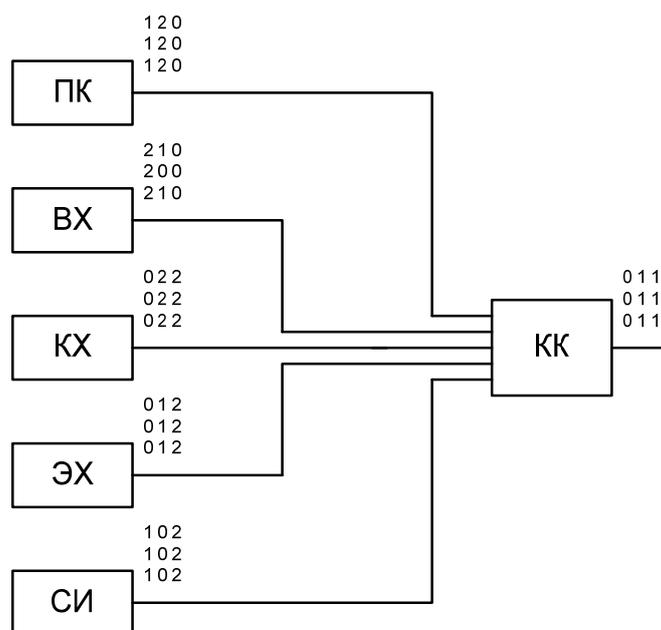


Рисунок 5. Четвертый способ агрегирования критериев

В построенной системе агрегирования критериев есть только один недостаток – при объединении пяти критериев в один интегральный показатель достаточно сложно сформировать шкалу оценок с диапазоном значений для каждой градации порядковой шкалы единого показателя.

Заключение

Итак, несмотря на первоначальную сложность задачи выбора, обусловленную большим числом первичных характеристик вычислительных комплексов, за счет агрегирования исходных признаков удалось снизить размерность признакового пространства описания до пяти, затем до трех критериев, а потом и до единственного интегрального показателя. С помощью методов группового многокритериального выбора найден предпочтительный вариант комплекса, который обладает конкретными и понятными значениями признаков.

При агрегировании критериев немаловажную роль играет установление семантических связей между исходными показателями и составными критериями. Неудачно сформированные отношения между ними могут привести к противоречиям при объяснении результатов. Действительно, две из четырех иерархических систем критериев с единственным показателем, построенные первым и вторым способом, дают результаты, которые различаются как между собой, так и отличаются от результатов оценки комплексов по пяти критериям. Напротив, результаты, которые получены по иерархическим системам

критериев, построенным третьим и четвертым способом, согласуются между собой и с оценками комплексов по пяти критериям и имеют понятные объяснения.

Совпадение результатов для иерархических систем с различной степенью агрегирования критериев дает возможность ЛПР выбрать наиболее удобную систему критериев, либо совместно применять построенные системы критериев с целью повышения обоснованности получаемого решения при выборе наиболее предпочтительного вычислительного комплекса.

Отметим также, что практически по всем построенным системам агрегирования критериев вычислительный комплекс ВК1 оказался наиболее предпочтительным по совокупности своих характеристик. Это свидетельствует о достаточно высокой надежности предложенного подхода к многокритериальному выбору сложной системы.

Разработанная технология может быть успешно применена в различных проблемных областях, где необходимо получить интегральный показатель оценки деятельности на основе исходной слабо структурируемой качественной информации. В частности, примером такой задачи может служить многоаспектная оценка результативности научных проектов, поддержанных Российским фондом фундаментальных исследований [Петровский и др., 2009].

Благодарности

Работа опубликована при частичной поддержке проекта ITHEA XXI общества ITHEA ISS (www.ithea.org) и ADUIS (www.aduis.com.ua).

Библиография

- [Petrovsky et al, 2013] Petrovsky A.B., Lobanov V.N., Zaboleeva-Zotova A.V. Selection of Computing Cluster by Aggregated Complex Criteria // *Advances in Decision Technology and Intelligent Information Systems* / Ed. by K.J. Engemann, G.E. Lasker. – Tecumseh: The International Institute for Advanced Studies in Systems Research and Cybernetics, 2013. – Vol. XIV. – P. 27-31.
- [Лобанов, Петровский, 2013] Лобанов В.Н., Петровский А.Б. Выбор вычислительного кластера, основанный на агрегировании многих критериев / Лобанов В.Н., Петровский А.Б. // *Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ*, 2013. – Вып.2. – С.39-54.
- [Петровский и др., 2009] Петровский А.Б., Ройзензон Г.В., Тихонов И.П. Построение интегральных показателей оценки результативности научных проектов // *Intelligent Support of Decision Making* / Ed. by K. Markov, A. Voloshyn, K. Ivanova, I. Mitov. – Sofia: FOI ITHEA, 2009. – No. 10. – P. 59–66.
- [Петровский и др., 2013] Петровский А., Лобанов В., Заболева-Зотова А., Шитова Т. Выбор вычислительного кластера в сокращенном пространстве критериев // *International Journal "Information Models and Analyses"*, 2013. – Vol. 2. – No 4. – P.313-323.
- [Петровский, 2009] Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М.: Издательский центр „Академия”, 2009.
- [Петровский, Ройзензон, 2012] Петровский А.Б., Ройзензон Г.В. Многокритериальный выбор с уменьшением размерности пространства признаков: многоэтапная технология ПАКС. // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2012. – № 4. – С.88-103.
- [Ройзензон, 2005] Ройзензон Г.В. Многокритериальный выбор вычислительных кластеров. // *Методы поддержки принятия решений. Труды Института системного анализа Российской академии наук.* / Под ред. С.В. Емельянова, А.Б. Петровского. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – Т.12. – С.68-94.

Сведения об авторах



Петровский Алексей Борисович – д.т.н., профессор, заведующий лабораторией Института системного анализа РАН, Россия, Москва 117312, пр-т 60-летия Октября, 9, e-mail: pab@isa.ru



Лобанов Василий Николаевич – ведущий инженер ОАО „НИИ вычислительных комплексов им. М.А. Карцева”, Россия, Москва 117437, ул. Профсоюзная, 108, e-mail: fisher_1980@mail.ru



Заболеева-Зотова Алла Викторовна – д.т.н., профессор, старший научный сотрудник Института системного анализа РАН, Россия, Москва 117312, пр-т 60-летия Октября, 9, e-mail: zabzot@gmail.com



Шитова Татьяна Алексеевна – экономист Института системного анализа РАН, Россия, Москва 117312, пр-т 60-летия Октября, 9, e-mail: tanya-petrovskaya@yandex.ru

Selection of Computing Complex by Integral Index of Prospectivity
Alexey Petrovsky, Vasiliy Lobanov, Alla Zaboloeva-Zotova, Tatiana Shitova

Abstract: The paper describes an approach to multicriteria choice of computing complex using a multi-stage technology for sequential reducing the dimension of the criteria space. Several hierarchical systems of composite criteria, which aggregate initial characteristics of complex in a single integral index of prospectivity, were built using the methods of verbal decision analysis. The proposed approach allows to simplify the procedure of multicriteria comparisons and choices of options, reduce the complexity of the procedure, select the most preferred option and assess the quality of the selection.

Keywords: multicriteria choice, verbal decision analysis, reducing the dimension of the attribute space, attribute aggregation, integral index, computing complex