

УДК 004.415.2.031.43

В. И. Кожешкурт¹, С. Л. Луцик², Е. В. Смертенко²

¹Институт проблем регистрации информации НАН Украины
ул. Н. Шпака, 2, 03113 Киев, Украина

²Национальный научно-исследовательский центр
оборонных технологий и военной безопасности Украины

Методология синтеза архитектуры программно-технического комплекса автоматизированной системы мониторинга обстановки

Предложен подход к проектированию архитектуры программно-технического комплекса автоматизированной системы мониторинга обстановки в реальном времени, основанный на классификации решаемых функциональных задач на основе методов кластерного анализа и выбранного множества признаков подобия. Разработанный подход позволяет из множества функций системы выделить подобные (по определенным признакам) и объединить их в архитектурные компоненты (унифицированные функциональные модули).

Ключевые слова: синтез архитектуры, автоматизированная система мониторинга, кластерный анализ, пространство признаков классификации.

Программно-технический комплекс (ПТК) автоматизированной системы (АС) обработки информации представляет собой сложный комплекс многофункциональных технических средств, решающих поставленные перед ними задачи во взаимодействии с другими территориально-распределенными элементами АС [1].

Построение подобных АС в настоящее время рассматривается специалистами ведущих государств мира в качестве одной из составляющих концепции технологического прорыва [2–7]. Основой, создаваемой в ходе реализации этой концепции, так называемой, «системы систем» является объединенная система мониторинга и автоматизированная система управления и обмена информацией С⁴И² (Command, Control, Computers Communications and Information/Intelligence).

Главной целью создаваемой «системы систем» является сбор, обработка, анализ и распределение информации мониторинга и наблюдения между всеми ее потребителями. Практическая реализация концепции направлена на максимальное снижение степени участия человека в решении поставленных задач за счет полной автоматизации всех перечисленных выше процессов.

© В. И. Кожешкурт, С. Л. Луцик, Е. В. Смертенко

Необходимость автоматизации большого числа функций обработки информации и критичность времени решения задач мониторинга воздушного, наземного и надводного пространства приводит к существенному повышению требований к архитектурным решениям ПТК.

Основным принципом проектирования архитектуры современных образцов АС является принцип модульного построения [8], предполагающий построение разрабатываемого образца из заданного набора типовых функциональных модулей, под которыми понимаются отдельные составные части АС, имеющие определенную функциональную завершенность.

Сложность решения данной задачи состоит в нахождении не просто совокупности модулей, реализующих функциональность проектируемой системы. Полученная совокупность модулей должна быть представлена в максимальном количестве систем подобного класса и представлять базовую архитектуру системы. Базовая архитектура АС рассматривается в качестве основы для разработки целого ряда образцов средств автоматизации, решающих аналогичные задачи.

Для решения задачи синтеза базовой архитектуры системы предлагается подход, состоящий в реализации следующих основных этапов (рис. 1).

В качестве одного из основных этапов разработки архитектуры ПТК является **этап подготовки исходных данных**. От качества решения данной задачи напрямую зависят все получаемые в последующем результаты. Основная задача этапа подготовки исходных данных состоит в получении адекватного описания $\Phi_R(x_i / y_j) \Rightarrow X \times Y$ каждой атомарной функциональной задачи ПТК $X = \{x_i, i = 1, n\}$ в пространстве выбранных признаков $Y = \{y_j, j = 1, p\}$.

Учитывая то, что специфика выполнения каждой функциональной задачи ПТК и требования, предъявляемые к ним, определяются на основании особенностей функционирования подсистем и их модулей, представляется целесообразным провести их функциональную декомпозицию. Целью данной процедуры является получение множества атомарных функциональных задач $X = \{x_i, i = 1, n\}$, структурированных по функциональным модулям и подсистемам, обеспечивая требуемый уровень адекватности проведения их последующего содержательного анализа.

Задача этапа формирования исходных данных состоит в выборе и обосновании адекватной совокупности признаков $Y = \{y_j, j = 1, p\}$ (признакового пространства), обеспечивающих описание каждой атомарной функциональной задачи ПТК в выбранном метрическом пространстве.

Для решения задачи объединения всех функциональных задач ПТК по принципу их функционального подобия в унифицированные функциональные модули предложена совокупность показателей (элементов признакового пространства) $Y = \{y_j, j = 1, p\}$. При выборе данной совокупности признаков учтены основные характеристики, связанные с особенностями организации вычислительного процесса и степенью автоматизации.

Для упрощения процесса оценивания функциональных задач (ФЗ) ПТК предложенная система показателей предусматривает задание их численных значений в виде относительных величин в диапазоне $[0, 1]$. При этом суть процесса оценива-

ния ФЗ ПТК состоит в определении функции предпочтения, количественно отражающей степень соответствия функциональной задачи предлагаемому для оценки критерию.

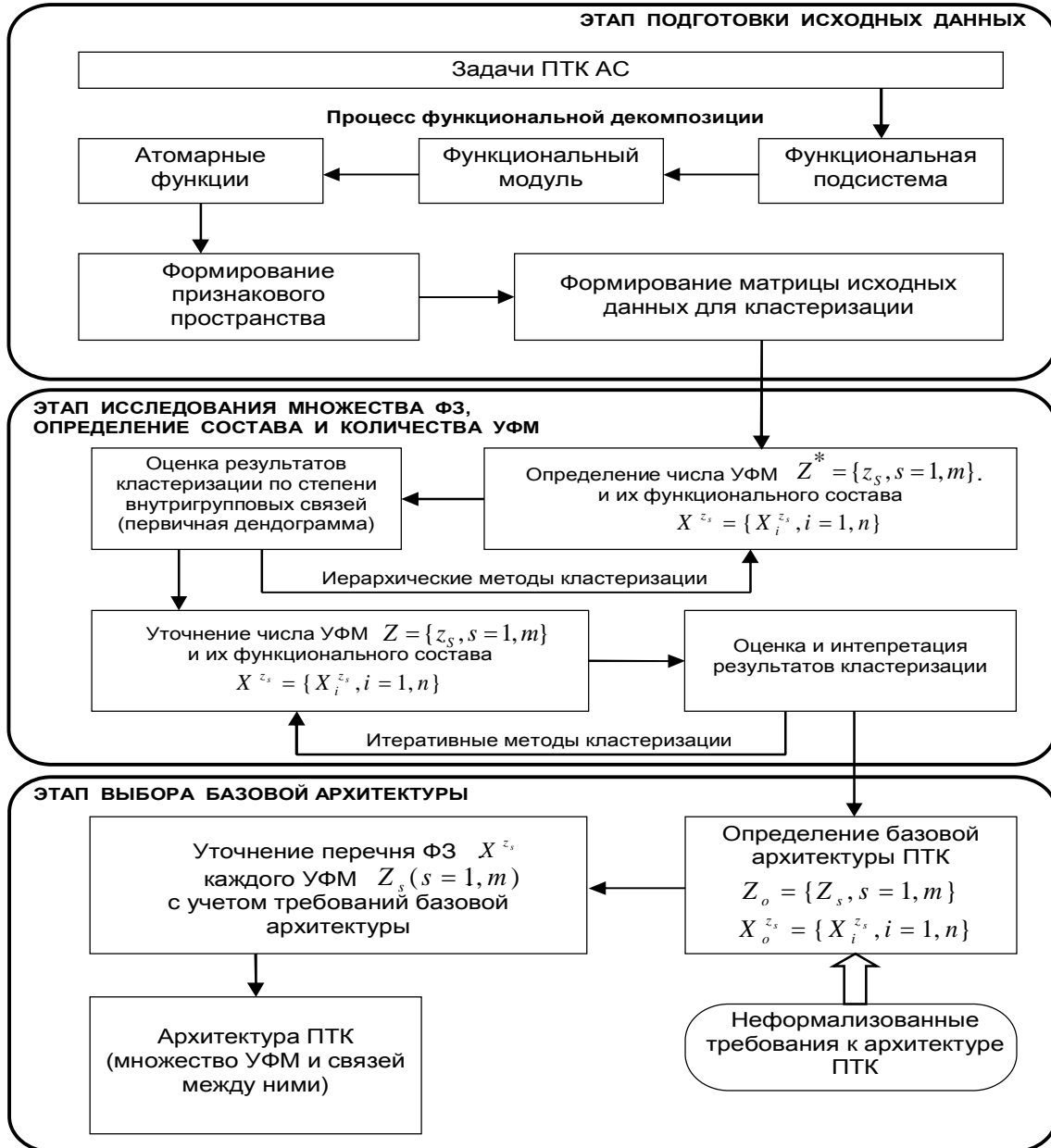


Рис. 1. Этапы синтеза архитектуры ПТК

Данный факт является важным моментом, так как исключает необходимость нормирования показателей, обеспечивает возможность получения достоверных результатов и использования достаточно широкого класса алгоритмов кластеризации.

В состав признакового пространства включены следующие показатели:

- показатель, характеризующий уровень автоматизации решения функциональной задачи ПТК (y_1);
- показатель реактивности, характеризующий особенности организации информационно-вычислительного процесса (y_2);
- показатель, характеризующий зависимость (взаимообусловленность) решения функциональных задач (y_3);
- показатель, характеризующий возможность заблаговременного проведения предварительных расчетов (y_4);
- показатель, характеризующий непрерывность выполнения информационно-вычислительного процесса (y_5);
- показатель, характеризующий ресурсоемкость информационно-вычислительного процесса (y_6);
- показатель многоплатформенности (y_7);
- показатель, характеризующий требования к отказоустойчивости выполнения информационно-вычислительных процессов (y_8).

Каждый из показателей имеет четкую физическую интерпретацию и обеспечивает возможность получения адекватного описания совокупности ФЗ ПТК в пространстве признаков $\Phi_R(x_i / y_j) \Rightarrow X \times Y$ для реализации процесса их последующей классификации в соответствии с принципом функционального подобия.

Однако, процесс непосредственного определения численных значений признаков для полученной совокупности исследуемых ФЗ ПТК является затруднительным. Это вызвано в основном сложностью и многокритериальностью задачи оценки представленных альтернатив. Кроме того, большое количество альтернатив и слабая различимая их предпочтительность между собой обусловила поиск эффективных способов решения данной задачи [9–14].

Для решения задачи определения численных значений признаков предложено использовать методы экспертного оценивания и многомерного шкалирования. В качестве метода получения экспертной информации используется метод парных сравнений [14]. Однако, использование данного метода для большого количества классифицируемых объектов (ФЗ) приводит к невыполнению свойства транзитивности. Поэтому данный метод предложено использовать на этапе определения количественных значений признака каждой ФЗ ПТК. Для решения задачи упорядочивания всей совокупности ФЗ ПТК на числовой оси признака предложено использовать метод непосредственного ранжирования альтернатив.

Сущность метода непосредственного ранжирования альтернатив состоит в следующем. Эксперту предъявляется полный перечень оцениваемых функций и предлагается указать без определения каких-либо числовых значений наиболее предпочтительную или менее предпочтительную из всех ФЗ. После этого данная альтернатива (оцениваемая ФЗ) из дальнейших рассмотрений исключается, так как считается, что ее ранг определен. Затем среди оставшихся альтернатив эксперту предлагается оценить следующую альтернативу, и так до тех пор, пока каждой из рассматриваемых ФЗ не будет назначен соответствующий предпочтениям эксперта ранг. Для проверки полученных результатов был использован другой способ, в соответствии с которым эксперту предъявлялась часть альтернатив, ко-

торые он упорядочивал по степени их предпочтения на числовой оси оценивающего признака. В дальнейшем каждый раз проводилось добавление по одной из альтернатив, которые соотносились экспертом между уже проранжированными альтернативами. Примерный вид числовой оси оценивающего признака и соотношение между собой совокупности альтернатив показан на рис. 2.

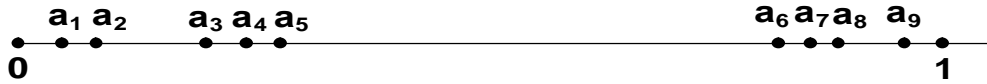


Рис. 2. Расположения оценок альтернатив на числовой оси оценивающего признака

После получения совокупности проранжированных альтернатив проводилось доопределение их числовых значений на шкале оценивающего признака. Для этого, из множества всех ФЗ ПТК выбирались только те, которые имели наибольшие и наименьшие степени предпочтения. В процессе ранжирования такие ФЗ были выбраны одними из первых. Выбранная совокупность так называемых характерных задач использовалась в дальнейшем для формирования пар со всеми оставшимися ФЗ. Используемый подход позволил сократить количество предъявляемых для оценки эксперту пар сравнения в сотни раз.

При этом процесс определения числовых значений представляет собой последовательное предъявление сформированных пар альтернатив эксперту для их сравнения между собой: $(x_1, x_2 / y_j)$, $(x_1, x_i / y_j)$ и т.д. В результате такого сравнения наблюдался процесс группирования всех альтернатив вокруг совокупности ранее выбранных характерных ФЗ. Чем выше была степень предпочтения двух ФЗ, тем ближе они находились друг к другу. В общем виде, наблюдался процесс так называемой одномерной классификации. При решении данной задачи условие транзитивности контролировалось автоматически, предполагая неизменность результатов проведенного ранее ранжирования. Учитывая тот факт, что оценивание проводилось на шкале признаков, определение числового значения степени предпочтения каждой из альтернатив проводилось на основании ее геометрического положения на оси.

Решение данной задачи по предложенной методике проводилось с помощью инструментальных средств *STATISTIKA*, реализующих процесс организации и проведения экспертизы [15].

Результат проведенных исследований представляет собой матрицу исходных данных D для решения задачи кластеризации, каждая строка которой соответствует ФЗ X_i ($i = 1, n$), а столбцами являются значения признаков (показателей) оценивания Y_j ($j = 1, p$). Примерный вид данной матрицы представлен в таблице.

Пример матрицы исходных данных для решения задачи кластеризации

	Y_1	Y_2	...	Y_p
X_1	1	0	...	0,4
...
X_n	0,3	0,8	...	1

Для исследования полученной совокупности функциональных задач ПТК на предмет выявления их функционального подобия между собой и формирования компактных функциональных групп (кластеров) также использовался программный пакет *STATISTIKA*, ориентированный на исследование многомерных данных и обработку статистической информации. Для оценки получаемых результатов кластеризации предложено также использовать математический пакет инженерных расчетов *MATHLAB* [16].

Преимуществом использования предложенного программного обеспечения является то, что приведенные выше алгоритмы кластеризации реализованы таким образом, что в процессе получения результатов кластеризации одновременно производится и их оценка. Предложенные программные пакеты, кроме того, дают возможность сравнения результатов кластеризации, полученных с помощью применения различных методов и алгоритмов [17–20].

Следует отметить, что трудности решения задачи синтеза архитектуры ПТК связаны не с реализацией методов кластеризации, а с искусством их использования, правильного задания условий и досконального знания предметной области (сущности решения функциональных задач ПТК).

Исследование множества ФЗ ПТК на предмет их объединения в группы подобия и определения количества возможных кластеров, проводилось с помощью *иерархических методов кластеризации*.

Сначала были опробованы наиболее простые методы кластеризации, такие как: метод «ближайшего соседа», метод «дальнего соседа» и метод средней связи. При этом в рамках каждого из методов были опробованы различные метрики. Наилучшие результаты разбиения были получены с применением метрики квадрата евклидова расстояния. При использовании других метрик наблюдался процесс образования цепных кластеров. Выявление данного факта с помощью встроенных механизмов оценки результатов кластеризации результата не принесло. Только содержательная интерпретация образовавшихся объединений ФЗ в кластеры позволяла судить о неадекватности полученных результатов. Это выражалось в том, что некоторые задачи, связанные с обработкой координатной информации и предполагающие достаточно жесткие временные требования к выполнению, были объединены с некоторыми расчетно-графическими задачами и задачами, связанными с организацией хранения информации.

В тоже время, такие же задачи обработки координатной информации были объединены поочередно то с группой оставшихся расчетных задач, то с группой задач организации и проведения тренажа. Данный факт объясняется несовершенством используемых методов объединения для решения данной задачи. Несмотря на это, в результате применения данных методов с использованием метрики квадрата евклидова расстояния с высокой степенью разделения (0,38), все же было получено два кластера. При этом оценка полученных результатов показала, что наибольший вклад в разделение ФЗ ПТК внесли признаки реактивности, отказоустойчивости и непрерывности. Интерпретация данной информации (результатов такого разделения) и анализ основных причин разделения показали существование двух четко выраженных групп, предъявляющих различные требования в ос-

новном к характеру организации информационно-вычислительного процесса (ИВП).

К первой группе были отнесены задачи приема и передачи данных, обработки координатной информации и формирования информационной модели (ИМ), предъявляющие повышенные требования к организации ИВП и регламенту их выполнения (реальный масштаб времени), а также к устойчивости и надежности выполнения.

Ко второй группе отошли задачи обработки информации от датчиков дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), расчетно-графические задачи и задачи, связанные с организацией и проведением тренажа, а также хранением информации. ИВП данной группы не предъявляют жестких требований ко времени выполнения.

В дальнейшем были применены методы, использующие статистические расстояния между кластерами. Наилучшие результаты были получены с помощью использования метода Уорда.

Во-первых, были подтверждены предыдущие результаты кластеризации. При этом степень разделения двух кластеров, обнаруженных на предыдущем этапе исследования, оказалась еще выше и составила 0,3.

Кроме того, в рамках, первого кластера было получено три слабых разделения на группу задач приема и передачи данных, группу обработки координатной информации и группу задач формирования ИМ. При этом группа задач приема и передачи данных выделялась полностью, а в группах задач обработки координатной информации (КИ) и формирования ИМ наблюдалось частичное перемешивание ФЗ между собой. Данное разделение выполнялось в основном за счет более жестких требований к организации ИВП.

В рамках второго кластера также было получено три разделения. В первый кластер были объединены задачи обработки информации от датчиков ДЗЗ и группа расчетно-графических задач. Второй и третий кластеры составляли задачи организации и проведения тренажа и соответственно задачи организации процессов хранения данных. Наиболее четко выделялся первый кластер со степенью разделения 0,28.

Слабая степень разделения полученной совокупности кластеров не допускала возможности принятия результатов такого разбиения из-за их низкой достоверности, однако позволяла принять их в качестве гипотез с целью их дальнейшего исследования. Для этих целей было принято решение о проведении отдельной кластеризации ранее полученных двух групп поочередно с использованием метода «ближайшего соседа» с метрикой квадрата евклидова расстояния и метода Уорда. Примечательно, что результаты, полученные этими двумя методами практически совпали.

В первой группе были образованы три кластера: группы задач приема и передачи данных, группы задач обработки координатной информации и задач формирования ИМ. В другой группе было получено четыре устойчивых разбиения, а именно: задачи организации хранения данных, задач организации и проведения тренажа, обработки информации от датчиков ДЗЗ и группы расчетно-графических задач. Наибольший вклад в такое разделение был внесен признаками ресурсоем-

кости, заблаговременности выполнения и различным уровнем автоматизации решения данных задач.

Проблемное разбиение (слабая степень делимости) наблюдалось только между группой задач обработки информации от датчиков ДЗЗ и решения расчетно-графических задач, а также группой обработки КИ и задач формирования ИМ.

Однако, учитывая вышесказанное, основная задача этапа иерархической кластеризации была выполнена полностью. Было получено семь кластеров. Окончательное уточнение разбиений ФЗ между полученной совокупностью кластеров, согласно изложенной методике, предполагает использование итеративных методов кластеризации.

Для проведения дальнейшего исследования, на предмет объединения ФЗ между собой, было принято решение об использовании одного из итеративных методов кластеризации — метода k -средних. Применение данного метода, во-первых, подтвердило наличие устойчивых семи кластеров, о чем свидетельствуют расстояния между их центрами: группы задач приема и передачи данных, группы задач обработки КИ, группы задач интерпретации команд управления, группы задач обработки информации от датчиков ДЗЗ, группы расчетно-графических задач, группы задач организации и проведения тренажа, группы задач документирования и хранения информации. Кроме того, результаты, полученные с помощью метода поиска сгущений, полностью совпадали с результатами, полученными с помощью двух модификаций метода k -средних, за исключением вышеупомянутых проблемных разбиений.

Интерпретация результатов объединения ФЗ ПТК в кластеры позволила сформировать функциональный портрет для каждого из них на основании совокупности вошедших в него задач. В дальнейшем каждый рассматриваемый кластер интерпретировался как унифицированный функциональный модуль (УФМ), представляющий собой программный сервер ПТК.

С учетом вышесказанного получена следующая совокупность программных серверов, сформированных после однозначного определения количества кластеров и предварительного определения их функциональной структуры:

- сервер обработки КИ — группа функциональных задач обработки координатной информации и формирования ИМ;
- сервер формирования ИМ — группа функциональных задач интерпретации команд управления и формирования ИМ;
- сервер ТИК — группа функциональных задач организации и проведения тренажа;
- сервер ДЗЗ — группа функциональных задач обработки информации от датчиков ДЗЗ и геоинформационного обеспечения;
- сервер расчетно-графических задач — группа расчетно-графических задач;
- сервер СПД — группа функциональных задач передачи данных;
- сервер БД — группа функциональных задач организации документооборота и документирования информации;

Дендрограмма, отражающая результаты проведенной кластеризации, представлена на рис. 3.

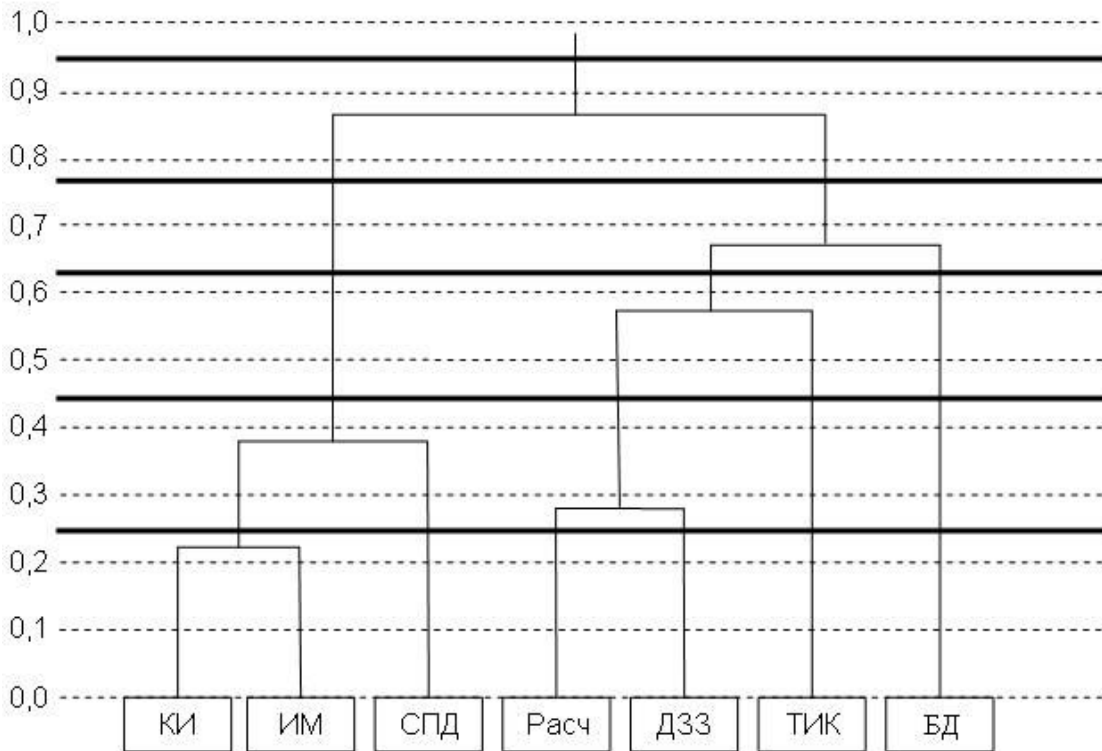


Рис. 3. Первичная дендограмма исследования возможности формирования совокупности УФМ за счет объединения функциональных задач ПТК в кластеры

Для окончательного определения функционального состава полученных кластеров, данная информация была использована в качестве исходных данных для итеративных алгоритмов кластеризации. Это позволило не только уточнить перечень ФЗ каждого из модулей, но и выделить достаточно сильную связь между такими кластерами как сервер обработки КИ и сервер формирования ИМ. Данный факт свидетельствовал о существовании неопределенности в однозначном отнесении группы задач формирования ИМ, показанной на рис. 4 выделением. При изменении критериев объединения (двух модификаций метода k -средних и метода поиска сгущений) наблюдался процесс поочередного отнесения данной группы задач то к одному серверу, то к другому. Поскольку ошибки кластеризации являются соизмеримыми со степенью разделения получаемых групп кластеров, имеет смысл говорить о неопределенности такого разделения. Для ее устранения предлагается включить ЛПР для доопределения признаков кластеризации и получения однозначного разбиения.

На основании анализа сущности данной группы задач, а также необходимости их взаимодействия с такими ИВП как интерпретация команд управления экспертами были уточнены значения соответствующих признаков кластеризации, что явилось результатом их перераспределения на сервер формирования ИМ (рис. 5 и 6). Доопределение численных значений экспертных оценок данных ФЗ на осях таких признаков как характеристика зависимости выполнения ФЗ и уровня автоматизации подтвердила справедливость принятого решения.

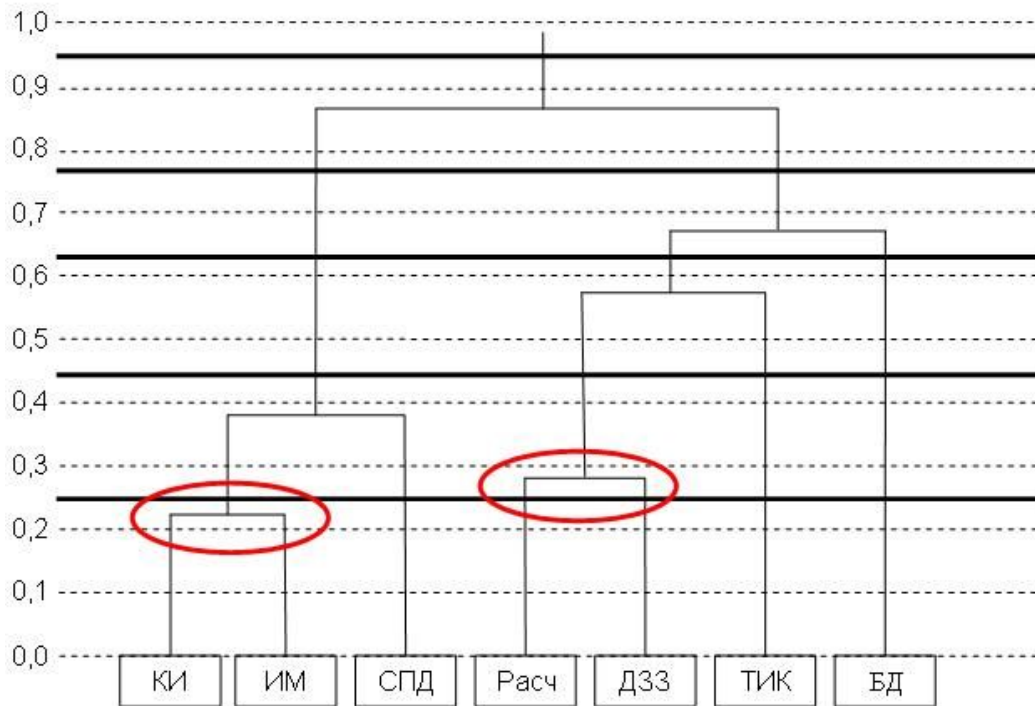


Рис. 4. Области неопределенности по объединению функциональных задач ПТК в кластеры

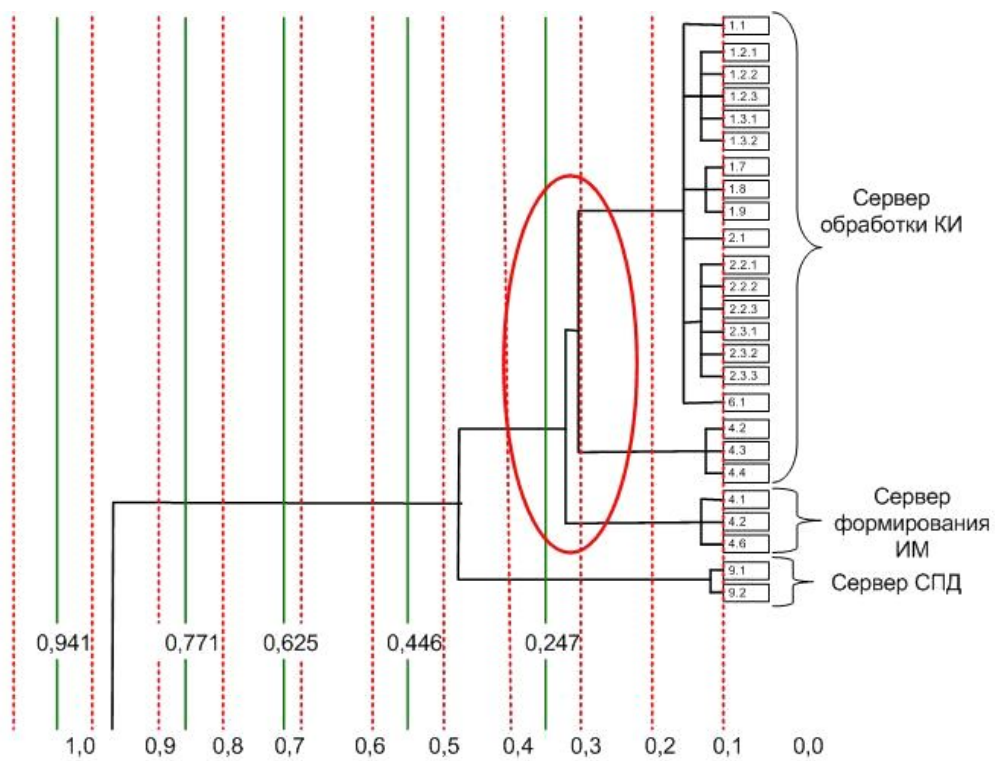


Рис. 5. Исследование неопределенности объединения функциональных задач ПТК в кластерах «Сервер обработки КИ» и «Сервер формирования ИМ» методом k -средних

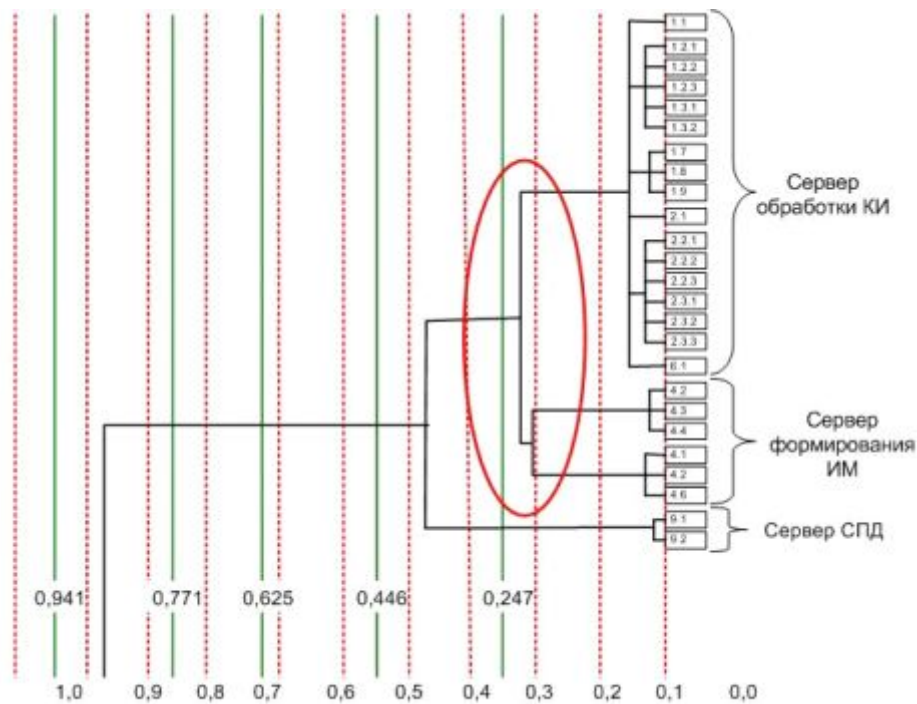


Рис. 6. Исследование неопределенности объединения функциональных задач ПТК в кластерах «Сервер обработки КИ» и «Сервер формирования ИМ» методом поиска сгущений

Аналогичная ситуация имела место для сервера ДЗЗ и сервера расчетно-графических задач. В группу неопределенности попали задачи геоинформационного обеспечения. Наибольший вклад для образования такой связи был внесен признаком зависимости решения ФЗ. Данный факт имеет простое объяснение и связан с тем, что при решении как расчетно-графических задач, так и задач обработки информации от датчиков ДЗЗ необходима компонента геоинформационного обеспечения. Учитывая не принципиальность отнесения данной компоненты к любому из рассматриваемых серверов, принятие окончательного решения было отложено на последний этап синтеза архитектуры ПТК.

На третьем этапе синтеза проводился учет неформализованных требований для реализации основных принципов базово-модульного метода и синтеза базовой архитектуры ПТК. Применение данного принципа к полученной совокупности УФМ позволило получить базовую архитектуру ПТК.

Решение данной задачи предполагает проведение интерпретации полученных в результате кластеризации модулей, и должно быть основано на ней. Это необходимо для определения характерных особенностей полученных УФМ на основании вошедших в него функциональных задач. Выделение и агрегация таких свойств позволяет представить некий обобщающий портрет каждого из модулей.

После завершения процесса интерпретации совокупности полученных УФМ происходит практический синтез всего ряда подобных образцов техники во всем диапазоне уровней управления рассматриваемой АС (от самого высокого звена управления до самого низкого). С целью упрощения реализации такого процесса представляется целесообразным в качестве основы взять реально существующий

номенклатурный ряд, учитывая при этом объем и специфику решения функциональных задач каждым образцом техники в рамках всей АС.

Кроме того, на основании полученных межкластерных расстояний, в случае исключения модуля из базовой архитектуры, проводится анализ всех функциональных задач на предмет их перераспределения из исключенного модуля в функционально подобный модуль из базовой архитектуры. В результате решения данной задачи сервер ДЗЗ не вошел в базовую архитектуру ПТК, став по отношению к ней внешним взаимодействующим элементом или специализированным источником информации.

С учетом вышесказанного, а также существующей неопределенности в отношении задач геоинформационного обеспечения между сервером ДЗЗ и сервером расчетно-графических задач был проведен анализ полученной архитектуры ПТК на этапе окончательного уточнения задач для каждого УФМ. Это позволило перераспределить ряд функциональных задач между полученными серверными компонентами. Учитывая то, что сервер ДЗЗ и геоинформационного обеспечения является по отношению к базовой архитектуре внешним элементом, а также высокое функциональное подобие между собой задач геоинформационного обеспечения и расчетно-графических задач было принято решение об объединении их в рамках одного сервера. В результате этого, компонента геоинформационного обеспечения взаимодействия вошла в базовую архитектуру ПТК, обеспечив ее независимость при решении комплекса данных задач от сервера ДЗЗ. В свою очередь компонента ДЗЗ стала более специализированной и унифицированной (рис. 7 и 8).

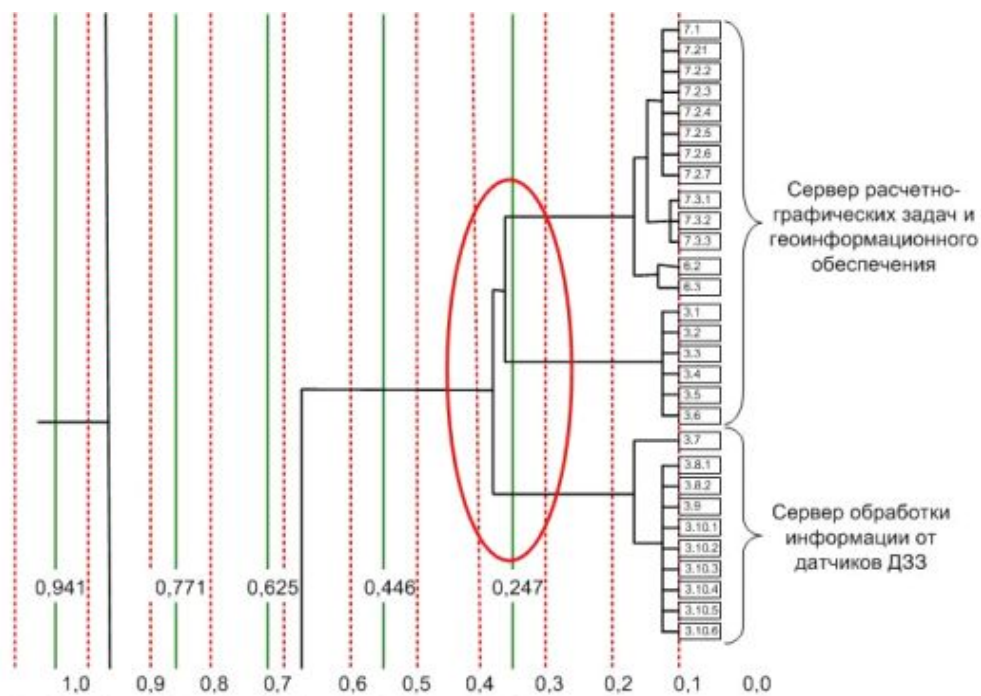


Рис. 7. Исследование неопределенности объединения функциональных задач ПТК в кластерах «Сервер расчетно-графических задач» и «Сервер обработки информации от датчиков ДЗЗ» методом k -средних

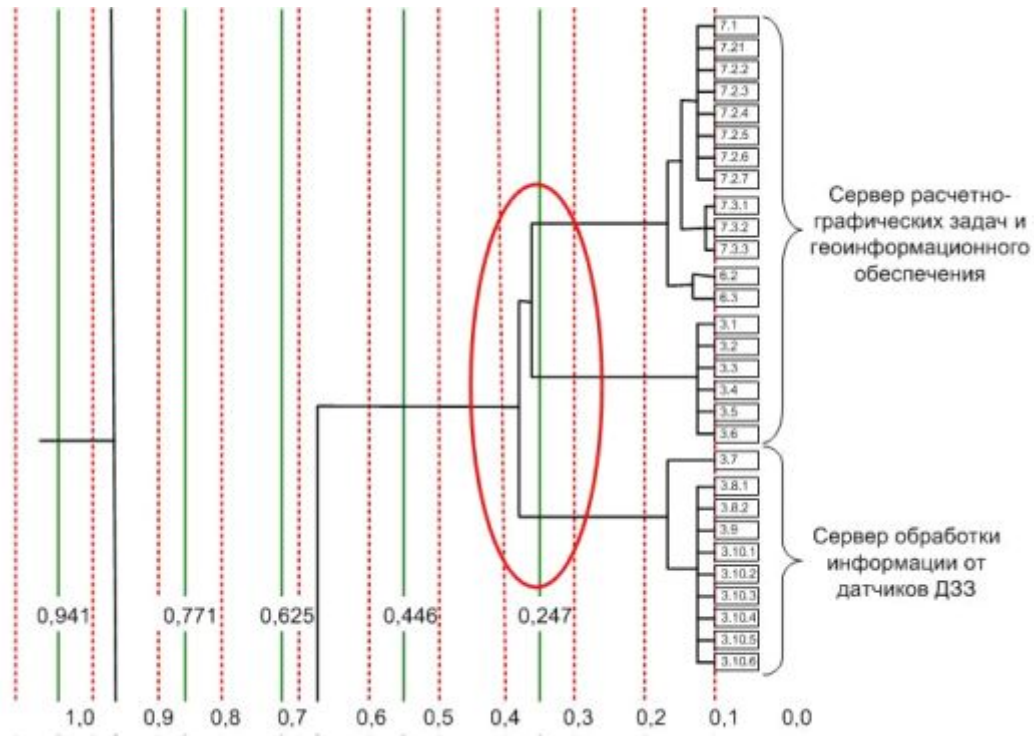


Рис. 8. Исследование неопределенности объединения функциональных задач ПТК в кластерах «Сервер расчетно-графических задач» и «Сервер обработки информации от датчиков ДЗЗ» методом поиска сгущений

После учета всех неформализованных требований и выбора базовой архитектуры ПТК АС было проведено окончательное уточнение перечня ФЗ каждого УФМ. В соответствии с методикой, уточнение проводилось с помощью математического аппарата нечетких множеств. При этом на суд эксперту была представлена полная совокупность ФЗ, для которых не удалось достичь однозначного разбиения, а также совокупность УФМ, между которыми такое разбиение проводилось. Задав требуемые коэффициенты предпочтения и важности учета в УФМ тех или иных признаков, а также степеней соответствия ФЗ требованиям, определяемым этими признаками, было получено однозначное разбиение [21–23]. Результаты такого разбиения для наглядности представлены в виде дендрограммы на рис. 9.

Таким образом, предложенный базово-модульный подход к проектированию архитектуры АС позволил определить состав унифицированных функциональных модулей архитектуры ПТК и их функциональный состав. Полученные результаты использованы при обосновании базовой программно-аппаратной платформы ПТК АС.

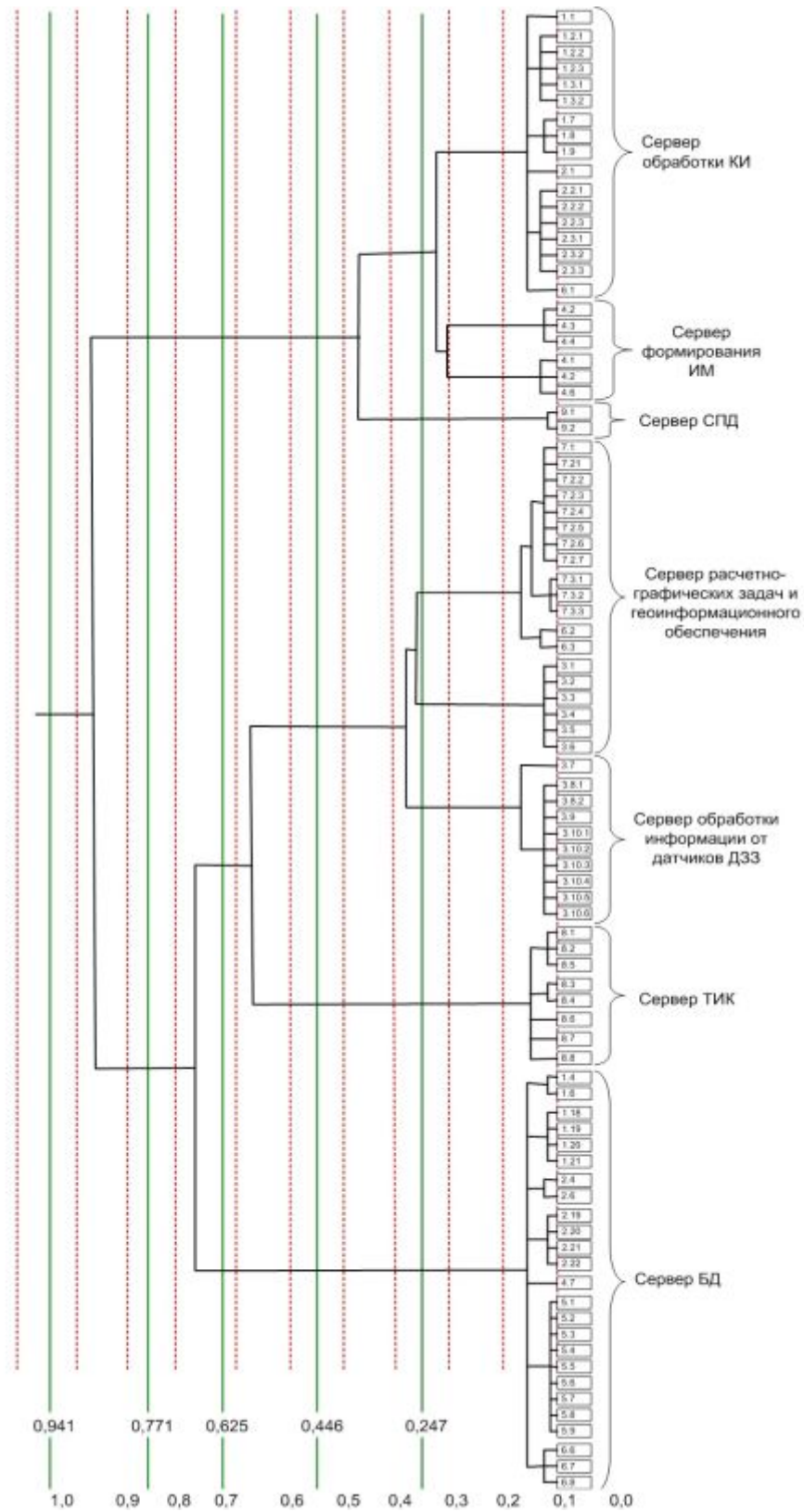


Рис. 9. Дендограмма окончательного распределения функциональных задач ПТК между кластерами уточненной совокупности УФМ

1. Технический проект Системы и ЦОИ: Отчет (этап 2). — К.: ИПРИ НАН Украины, 2007.
2. Единая система управления объединенными ВВС и ПВО НАТО в Европе // Зарубежное военное обозрение. — 2000. — № 10.
3. Концепция создания единой информационно-управляющей структуры ВС США // Зарубежное военное обозрение. — 2003. — № 1.
4. Перспективные зарубежные информационные технологии // Зарубежное военное обозрение. — 2004. — № 4.
5. Массной В., Судаков Ю. Автоматизированные системы управления сухопутными войсками США // Зарубежное военное обозрение. — 2003. — № 9,10.
6. Сухов О. Новая автоматизированная система управления ВМС США // Зарубежное военное обозрение. — 1998. — № 4.
7. Лазарев В.Г. Управление в распределенных системах. — М.: Наука, 1993. — 170 с.
8. <http://pvo.guns.ru/asu/history.htm>
9. Елисеева И.И., Рукавишников В.О. Группировка, корреляция, распознавание образов (Статистические методы классификации и измерения связей). — М.: Статистика, 1977. — 144 с.
10. Экспертные оценки с социологических исследованиях / Крымский С.Б., Жилин Б.Б., Паниотто В.И. и др. / АН УССР. Ин-т философии. — К.: Наук. думка, 1990. — 320 с.
11. Представление и использование знаний / Пер. с япон.; Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. — М.: Мир, 1989. — 220 с.
12. Гаврилова Т.О., Червинская К.Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. — М.: Радио и связь, 1992. — 200 с.
13. Приобретение знаний / Пер. с япон.; Под ред. С. Осуги, Ю. Саэки. — М.: Мир, 1990. — 304 с.
14. Литвак Б.Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа. — М.: Радио и связь, 1982. — 184 с.
15. www.statsoft.ru.
16. www.mathworks.com
17. Мандель И.Д. Кластерный анализ. — М.: Финансы и статистика, 1988. — 176 с.
18. Дж. Вен Райзен. Классификация и кластер. — М.: Мир, 1980. — 389 с.
19. Непрерывные задачи оптимального разбиения множеств: теория, алгоритмы, приложения: (Монография) / Е.М.Киселева, Н.З. Шор. — К.: Наук. думка. 2005. — 564 с.
20. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Статистический анализ данных на компьютере / Под ред. Фигурнова В.Э. — Москва: ИНФРА-М, 1998. — 528 с.
21. Ягер Р. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Пер. с англ. — М., Радио и связь, 1986. — 407 с.
22. Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. — 312 с.
23. Леунг И. Разделение на торговые зоны в нечетких условиях // Нечеткие множества и теория возможностей / Пер. с англ. В.Б. Кузьмина; Под ред. С.И. Травкина. — М.: Радио и связь, 1986. — С. 339–349.

Поступила в редакцию 12.07.2007