

Программное обеспечение для оценки эффективности разнотипных научно-исследовательских работ

77-48211/649467

11, ноябрь 2013

Деменков Н. П.

УДК: 519.86

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

demenkov@iu1.bmstu.ru

Введение

В настоящее время во многих странах инвестируются значительные средства в научные исследования и инновационную деятельность. По данным Всемирного Банка в 2008 году Германия на научные исследования и разработки направила около 2,7 % ВВП, США — 2,8 %, Япония — около 3,5 %. Страны с переходной экономикой тратят значительно меньше: Белоруссия — 0,74 % ВВП, Россия — 1,04 %. Однако в условиях непрекращающегося кризиса мировой экономики на первый план выходит задача повышения эффективности использования средств, выделяемых предприятиям и научным коллективам [1]. В связи с этим возникает проблема экономической эффективности инвестиций и ее оценки.

Под эффективностью научных исследований будем понимать последствия применения человеком результата данного исследования в своей практической инновационной деятельности.

Разработка и применение методов оценки экономической эффективности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ представляет собой один из важнейших рычагов ускорения научно-технического прогресса, концентрации научного потенциала на наиболее важных направлениях развития страны и снижения распыления материальных, финансовых и кадровых ресурсов.

Задачу определения эффективности научных исследований можно сформулировать как задачу нахождения количественного соотношения результатов научных исследований и совокупных затрат на их проведение [2]. Таким образом, определение наиболее эффективной научно-исследовательской работы (НИР) является

сложной многокритериальной задачей, решаемой в условиях неполноты или неопределенности исходной информации [3].

Оценка НИР - многоуровневый иерархический процесс, предусматривающий использование нескольких систем критериев на всех этапах проведения исследований, и осуществляемый различными группами специалистов.

Для задачи оценки эффективности НИР элементы иерархии - это виды эффекта или критерии, по которым оцениваются НИР. Определять виды эффекта следует в зависимости от целей и особенностей конкретных научных исследований.

Научные исследования и разработки делятся на:

- 1) фундаментальные исследования, связанные с формированием принципиально новых теоретических проблем, законов и теорий;
- 2) прикладные исследования, направленные на поиски наиболее рациональных путей практического использования результатов фундаментальных исследований.

Для фундаментальных исследований характерна научная значимость, а для прикладных исследований и разработок обязательным и главным является определение экономического эффекта и экономической эффективности. Следует учитывать веса эффектов, то есть критериев при оценке определенной группы работ. Важно учесть тот факт, что для разных по классификации групп работ основные эффекты (или критерии) будут иметь различные веса.

Для рассмотрения различных по классификации НИР, нужно выделить общие основные критерии для оценки любых НИР, которые должны отвечать определенным требованиям, важнейшие из которых: значимость, критичность к оцениваемым параметрам, максимально возможная простота, агрегатность, то есть объединение в себе по возможности всех основных элементов оцениваемого показателя, и правильный учет специфики работ.

Метод анализа иерархий (МАИ) обладает преимуществами по сравнению с другими методами такого класса, которые существенны при решении поставленной задачи, а именно: во-первых, он не требует допущения о согласованности в предпочтениях, т.е. суждения в общем виде могут быть несогласованными, тем не менее, он позволяет проверять согласованность суждений; во-вторых, он позволяет использовать и синтезировать групповые суждения; в-третьих, при попарных сравнениях в МАИ информация более детализирована и применима в сферах, где существуют неизмеримые показатели. Очень удобна в данном случае и та особенность

метода, что он требует представления проблемы в виде иерархии, а в дальнейшем позволяет оценить все ее элементы [4].

Оценка эффективности НИР в случае принадлежности работ различным группам

Под разнотипными понимаются работы, принадлежащие различным группам исследований (как по классификации так и по профилю), для которых в большинстве случаев невозможно выделить равнозначные критерии [5,6]. В этом случае работы оцениваются по отдельности, при этом оценивается эффективность использования средств, расходуемых (требуемых) на постановку исследовательского процесса (ИП) или реализацию научно-технического проекта (НП) с помощью единого численного показателя E .

Все работы сравниваются по показателю E , для вычисления которого:

- выявляется некоторое конечное множество показателей, характеризующих заявленный исследовательский процесс или научно-технический проект и осуществляется получение для них численных оценок;
- выполняется расчет показателя E по полученным оценкам базовых показателей.

Поскольку средства, вкладываемые в ИП или НП, фактически расходуются на реализацию способов, применяемых для достижения цели, необходимо также произвести оценку показателей способов, предлагаемых для достижения заявленной цели. Как правило, следует говорить о некоторой совокупности целей, которую сложно выразить в виде единого объединяющего понятия.

Показатели, то есть составляющие целей и способов, сравниваются с прототипом по новизне решения, широте использования и глубине воздействия. Под прототипом понимаются разработки, которые существовали до начала воплощения результатов исследовательского процесса или научно-технического проекта. Степень детализации составляющих целей и способов конкретной НИР может быть различной.

Оценка элементов целей (Ц) и способов (С) их достижения выполняется по критериям: “новизна решения” (Н), “широта использования” (Ш) и “глубина воздействия” (Г). Элементы целей и способов при оценке сравниваются с аналогами или прототипами.

Алгоритм расчета базовых показателей ИП или НП включает:

- 1) декомпозицию целей и способов, то есть выявление компонент целей и способов;
- 2) оценку относительной важности элементов целей и способов по отношению к их воздействию на общую глобальную цель (или способ), а также оценка критериев Н, Ш, Г по их относительной важности в каждом элементе;
- 3) оценку элементов целей и способов по Н, Ш, Г в сравнении с аналогом или прототипом;
- 4) определение обобщенных оценок для компонент Ц и С на основе оценок этих компонент по Н, Ш, Г.

Процесс вычисления показателя E на основе n компонент цели Ц и m компонент способов С представлен на рис. 1.

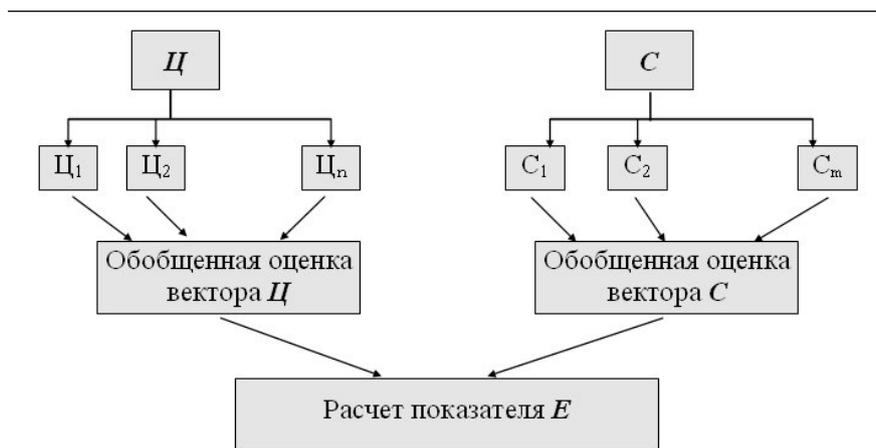


Рис. 1. Процесс вычисления обобщенного показателя

Для выявления элементов целей и способов, а также для обработки с целью получения численных оценок их компонент применяется процедура экспертного оценивания. В качестве информационно-системного обеспечения проведения экспертизы используется эксперт-анкета оценки целей и способов НИР. Пример эксперт-анкеты для научно-технического проекта “Проектирование регулируемого электропривода переменного тока” представлен в табл. 1.

Таблица 1. Цели постановки исследовательского проекта и их оценка

Номер темы: 313/95	Оценки Цн/Цб в баллах			
Наименования целей (компоненты вектора цели)	Новизна решения	Широта исполнения	Глубина воздействия	Среднее арифм.
<u>Повышение результативности НП</u>				
1. Схема и конструкция регулируемого электропривода переменного тока на базе мощных транзисторных матриц для одно- и трехфазной сети	1	5	1	
2. Технология изготовления	1	1	4	
3. Организация производства	1	6	4	
<u>Повышение удобства (комфортности)</u>				
1. Удобство регулирования и пуска, ручное и дистанционное управление	5	5	4	
2. Блок управления выполняется в виде отдельного (от двигателя) блока с блоком управления в виде клавиатуры и индикаторной панели	5	5	1	
3. Автоматическое ускорение и замедление	6	5	4	
4. Ручное задание рабочих и переходных режимов работы	6	5	4	
5. Адаптация по нагрузке и ручная коррекция дрейфа	6	5	4	
6. Три типа законов регулирования частоты и напряжения электропривода	5	5	5	
<u>Повышение выгодности НП</u>				
1. Снижение стоимости				
2. Упрощение конструкции регулируемого электропривода (отказ от мех. редукторов и т.п.)	5	5	5	
3. Повышение надежности				
4. Повышение долговечности				
5. Снижение материалоемкости	2	2	1/6	
6. Уменьшение размеров	1/2	1/3	1/6	
7. Снижение перегрузок сети при пуске	4	4	5	
1. Нарботка на отказ более 10000 часов	5	5	4	
2. Долговечность более 14 лет	7	5	4	

Такое представление эксперт-анкеты позволяет выявить два уровня целей и способов. На нижнем, третьем уровне представлены компоненты Ц и С в виде конкретно описанных составляющих целей и способов, второй уровень - представлен в виде подразделов. Верхним или первым уровнем являются разделы эксперт-анкеты “Цели” и “Способы”. Отметим, что представленный в качестве примера вариант эксперт-анкеты содержит ряд фиксированных наименований подразделов целей и способов, что не исключает добавление новых в нижних, свободных подразделах. Алгоритм расчета должен позволить каждому эксперту дать собственные оценки всем компонентам, а также добавить и оценить новые компоненты. Иерархическая структура эксперт-анкеты представлена на рис. 2, и пример заполнения текста с результатами оценок - в табл. 1.

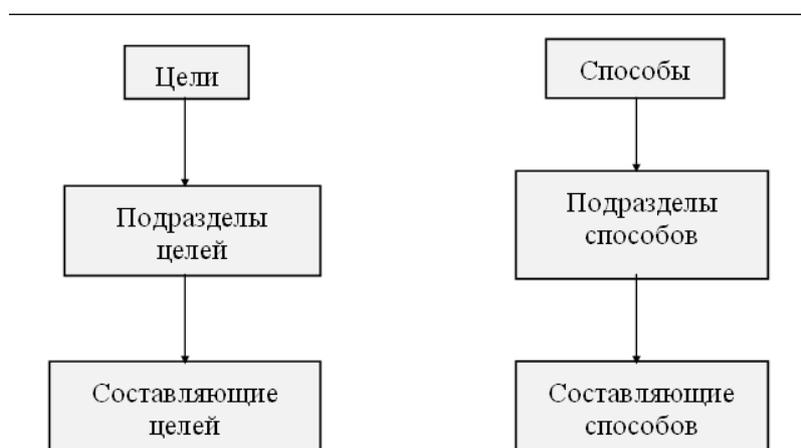


Рис. 2. Иерархическая структура целей и способов

При разработке методики для оценки эффективности НИР представляется целесообразным поставить следующие две задачи.

Задача 1. Разработать средства математической обработки содержания эксперт-анкеты, заполненной оценками заявителя и экспертов.

Задача 2. Разработать автоматизированные средства заполнения позиций эксперт-анкеты оценками заявителя и экспертов и математической обработки оценок.

По оценкам компонент Ц и С могут быть рассчитаны оценки для подразделов целей и способов, которые, в свою очередь, могут быть использованы для расчета обобщенных оценок Ц или С. Поэтому формирование оценки по всей совокупности целей или способов проводится снизу вверх по уровням иерархии (см. рис. 2).

Структура иерархии для определения приоритетности оценок по Н, Ш, Г для всех подразделов целей данной НИР (“повышение результативности”, “повышение удобства”, “повышение выгоды”) представлена на рис. 3.

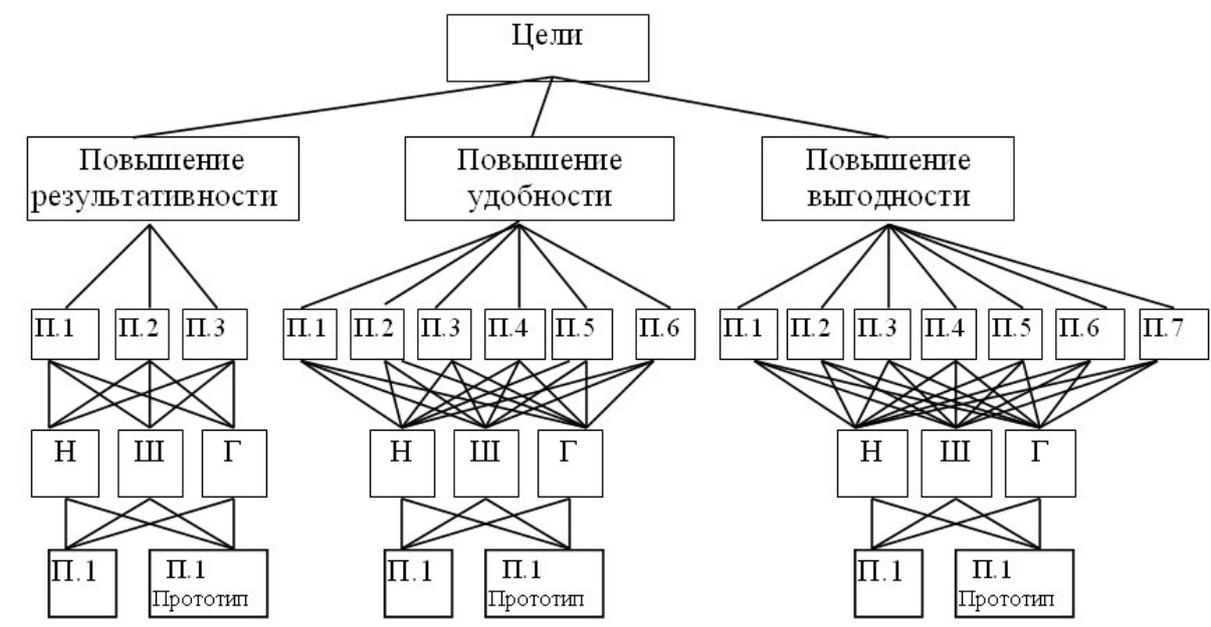


Рис. 3. Иерархическая структура целей

На первом уровне иерархии представлена глобальная цель; на втором уровне представлены подразделы цели (эти подразделы одинаковые для всех НИР, то есть это - некий шаблон, который должны заполнить заявители оцениваемой НИР).

На втором уровне оцениваются подразделы по отношению к их влиянию на общую глобальную цель.

На третьем уровне представлены позиции подразделов цели (эти позиции в шаблоне подразделов и их количество, то есть степень детализации подраздела, определяет сам заявитель). На этом уровне оценивается значимость позиций в тех подразделах, в которых они находятся (иерархия неполная).

На четвертом уровне представлены критерии Н, Ш, Г. На этом уровне определяются приоритеты оценок по каждому из этих критериев для каждой позиции в каждом подразделе отдельно. При оценке самих позиций подразделов по Н, Ш, Г будет учитываться вес этих критериев для всей цели, при этом веса оценок рассчитываются для всех подразделов по отдельности, так как иерархия неполная.

Далее вносятся оценки экспертов, взятые из табл.1, то есть на пятом последнем уровне сравниваются каждая позиция подцелей объекта с аналогичной позицией

прототипа по критериям новизна решения, широта использования и глубина воздействия.

Для оценки подразделов цели, находящихся на уровне 2, эксперт должен ответить на следующие вопросы. 1. Насколько подраздел “Повышение удобства” является более значимым в глобальной цели, чем подраздел “Повышение результативности”? 2. Насколько подраздел “Повышение выгодности” является более значимым в глобальной цели, чем подраздел “Повышение результативности”? 3. Насколько подраздел “Повышение выгодности” является более значимым в глобальной цели, чем подраздел “Повышение удобства”? При оценке эксперту удобнее работать со специально подготовленными таблицами, аналогичными табл. 1.

Следующим шагом является сравнение позиций по их относительной важности в каждом подразделе целей, то есть выполняется оценка элементов уровня 3. Для оценки позиций эксперт отвечает на вопросы следующего вида: Насколько позиция 2 – “технология изготовления” более значима в подразделе “повышение результативности”, чем позиция 1 – “схема и конструкция”? При этом для 1-го подраздела целей “повышение результативности” эксперт отвечает на 3 вопроса, так как сравниваются 3 позиции между собой, для 2-го подраздела “повышение удобства” эксперту нужно ответить на 15 вопросов, так как сравниваются 6 позиций, а для 3-го подраздела “повышение выгодности” - на 21 вопрос, так как сравниваются 7 позиций. Для ответа на вопросы эксперту требуется заполнить три таблицы для каждого подраздела “повышение результативности”, “повышение выгодности” и “повышение удобства”; при этом в первой таблице заполняются 3 строки, во второй - 15 строк, и в третьей - 21 строка. Таким образом, на третьем уровне заполняются 3 таблицы, в которых отмечается 39 ячеек.

Далее оценивается значимость оценок по критериям Н, Ш, Г для каждой позиции в каждом подразделе по отдельности. Эксперт заполняет таблицы из трех строк для сравнения Ш и Н, Г и Н, и Г и Ш между собой. При этом для подраздела 1 заполняются 3 таблицы по каждому подразделу, для подраздела 2 - 6 таблиц, для подраздела 3 - 7 таблиц. Для подраздела 1 “повышение результативности” по позиции 1 “схема и конструкция” при сравнении критериев Ш и Н эксперт отвечает на следующий вопрос: Насколько оценка по критерию Ш более важна для оценки позиции “схема и конструкция”, чем ее оценка по критерию Н? Для выявления приоритетов 4-го уровня экспертам требуется заполнить 16 таблиц по 3 строки в каждой, то есть заполнить 48 ячеек.

И, наконец, на последнем уровне заносятся и обрабатываются оценки, которые в ранее использовавшейся методике заносились экспертами в табл.1, то есть все позиции сравниваются с прототипами по трем критериям – Н, Ш и Г.

В настоящей методике эксперту предлагаются для заполнения таблицы, аналогичные описанной выше табл.1, для попарного сравнения объекта с прототипом по трем критериям – Н, Ш, Г. В каждой таблице заполняются 3 строки по каждому критерию. Для 1-го подраздела заполняется 3 таблицы, для второго - 6 таблиц и для третьего- 7. На этом уровне также заполняется 16 таблиц и дается 48 оценок.

Таким образом, всего для оценки эффективности одной НИР требуется заполнить 36 таблиц и ответить на 138 вопросов (это 18 листов экспертного опроса).

Оценка НИР “Проектирование регулируемого электропривода переменного тока”

Методика проверена при определении эффективности работы “Проектирование регулируемого электропривода переменного тока” в Информационно-аналитическом центре сопровождения научных исследований высшей школы Республиканского исследовательского научно-консультативного центра экспертизы (РИНКЦЭ) при Министерстве образования и науки Российской Федерации.

Проведено ранжирование критериев, позиций и подразделов для рассматриваемого примера (табл. 1) и получены следующие результаты:

Для подразделов цели:

- 1) 1-й подраздел “повышение результативности” - 0.4806;
- 2) 3-й подраздел “повышение выгодности”- 0.4094;
- 3) 2-й подраздел “повышение удобства”- 0.1140.

Наибольший приоритет получил подраздел “повышение результативности”.

Наиболее приоритетные позиции:

- 1) технология изготовления (1-й подраздел) - 0.3368;
- 2) повышение долговечности (3-й подраздел) -0.1675;
- 3) организация производства (3-й подраздел) - 0.0971;
- 4) снижение стоимости (3-й подраздел) - 0.0840.

Приоритеты оценок по критериям Н, Ш, Г:

- 1) глубина подраздела 1- 0.2856;
- 2) ширина подраздела 3- 0.1751;
- 3) ширина подраздела 1- 0.1565;

4) глубина подраздела 3- 0.1401.

Все позиции подразделов сравнивались с прототипами по критериям Н, Ш, Г по девяти балльной шкале. В табл. 1 представлены результаты оценок одного эксперта. Были получены глобальные приоритеты для всех позиций подцелей по сравнению с прототипом, то есть были получены веса подцелей рассматриваемой работы и веса аналогичных подцелей прототипа. В качестве результата бралась разность приоритетов объекта и прототипа.

Наибольший вес имеют позиции:

1. Организация производства - 0.3514, так как оценка по этой позиции имеет высокий приоритет и сам подраздел в котором она находится - повышение результативности, обладает наибольшим весом;

2. Снижение стоимости - 0.3243;

3. Повышение надежности- 0.3153;

4. Снижение перегрузок сети при пуске - 0.2946;

5. Упрощение конструкции- 0.2702;

6. Технология изготовления - 0.2040;

7. Схема и конструкция привода- 0.1043.

Полученные результаты позволили более объективно оценить научно-исследовательскую работу, так как учтена важность оценок по показателям целей, то есть приоритеты подразделов целей и приоритеты оценок по позициям целей. В результате наибольший вес получили наиболее важные позиции, что не наблюдалось при расчете среднего - арифметического оценок по Н, Ш, Г по ранее использовавшейся методике [5, 6].

Пакет программ для принятия плохоформализованных решений

Для оценки эффективности НИР использовался пакет программ МАИ, выполненный в среде MATLAB [7,8]. Программное обеспечение позволяет решать неформализованные задачи оптимизации, структурированные в виде 3-х, 4-х и 5-ти уровневых полных и неполных иерархий. Пользователю необходимо представить свою задачу в виде иерархической декомпозиции и при работе с программой выбрать подходящую структуру с необходимым количеством уровней.

Работа с программой ведется последовательно по уровням. Пользователь вводит количество элементов каждого уровня. Если иерархия на текущем уровне неполная, то вводится количество подкритериев каждого критерия вышестоящего уровня.

На втором уровне вводится одна матрица попарных сравнений, порядок которой определяется количеством элементов уровня, на нижестоящих уровнях вводятся матрицы для сравнения по каждому критерию вышестоящих уровней и их количество определяется количеством этих критериев. Порядок матриц равен количеству элементов текущего нижестоящего уровня в случае полной иерархии и количеству подкритериев текущего уровня для каждого критерия вышестоящего уровня в случае неполной иерархии.

При введении матриц попарных сравнений система выдает номер критерия вышестоящего уровня для сравнения и номера сравниваемых элементов. Элементы сравниваются однократно, и происходит заполнение матрицы под главной диагональю (то есть сравниваются элементы в следующей последовательности: 2 и 1; 3 и 1; 3 и 2; 4 и 3; 4 и 2; 4 и 3 и т. д. в зависимости от порядка матрицы), остальные сравнения обратно-симметричны введенным. При сравнении пользователь определяет сначала значимость сравниваемых элементов (рис. 4).

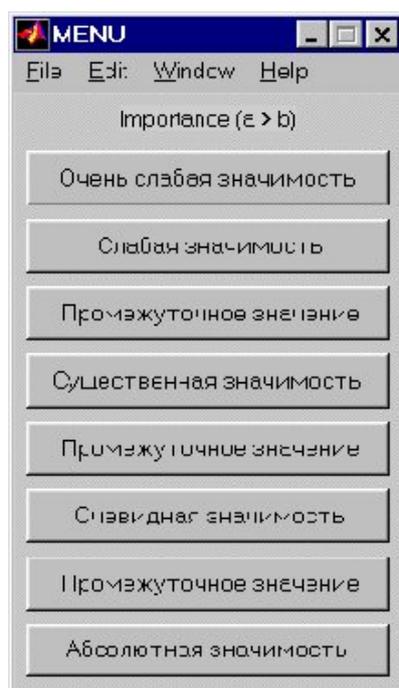


Рис. 4. Введение степени значимости по девяти балльной вербальной шкале

Если сравнения даются группой экспертов, то они вводятся поочередно, а затем вычисляется геометрическое среднее всех введенных сравнений. Такой расчет прост

для реализации и не нарушает условия обратной симметричности матриц множественных суждений.

Для каждой матрицы рассчитывается и нормируется относительно единицы собственный вектор, соответствующий ее максимальному собственному значению, и отношение согласованности суждений экспертов.

Затем рассчитывается вектор приоритетов текущего уровня и отношение согласованности уровня.

После оценки элементов последнего уровня, то есть альтернатив, рассчитывается глобальный вектор приоритетов и согласованность всей иерархии. Результаты выдаются в численном и графическом виде, графики выдаются для векторов приоритетов в виде гистограмм в окнах ввода системы MATLAB (рис. 5).

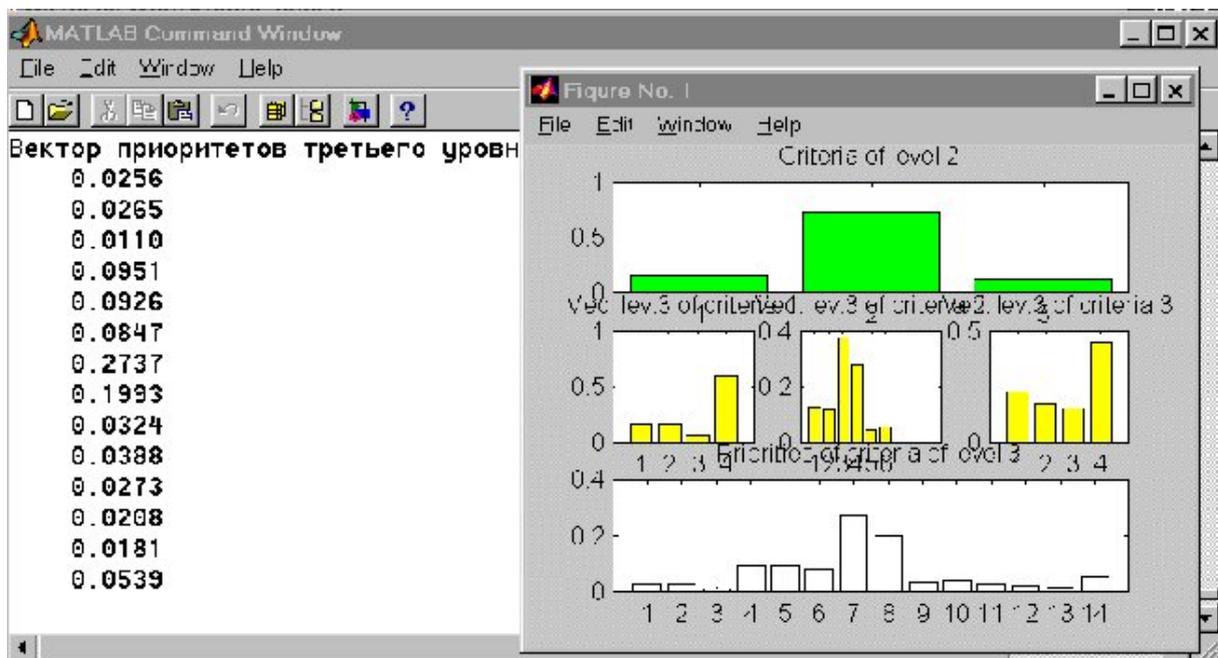


Рис. 5. Векторы приоритетов

При работе с системой пользователь может прервать работу в любом месте, записать данные во введенный им файл, а затем начать работу с прерванного места, указав имя файла в котором записаны все данные.

После окончания работы пользователю предлагается записать все результаты в отдельный файл, чтобы можно было в любой момент их просмотреть и распечатать.

Описанная методика и ПО не требуют от экспертов знания метода обработки получаемых от них данных, а способ заполнения листов экспертного опроса очень прост для понимания.

Заключение

Предложены методика и программное обеспечение в среде MATLAB для оценки эффективности разнотипных как по классификации, так и по профилю научно-исследовательских работ, основанные на использовании метода анализа иерархий.

Методика позволяет проводить ранжирование НИР по степени их эффективности, оценить степень важности критериев при оценке работ; эффективно ранжировать направления работ и, в конечном итоге, получить количественную оценку сравниваемых работ (между собой или с прототипами).

Достоинством является также возможность провести анализ оценки работ, т.е. определить самую приоритетную группу критериев, выявить ряд наиболее важных критериев и определить причины полученного ранжирования работ.

Проведение конкурсов даже среди большого количества работ при помощи данной методики не требует большой загруженности экспертов и больших временных затрат.

Методика и программное обеспечение апробированы при проведении конкурсов НИР в научно-учебном комплексе “ Информатика и системы управления” МГТУ им. Н.Э. Баумана, а также при оценке работ в РИНКЦЭ Минобрнауки РФ.

Методика может эффективно использоваться для оценки эффективности научно-исследовательских работ, принадлежащих различным группам (ранжируются разные работы как по классификации так и по профилю).

Список литературы

1. Азгальдов Г. Г., Костин А. В. Интеллектуальная собственность, инновации и квалиметрия // Экономические стратегии, 2008. — № 2 (60). — С. 162-164.
2. Татарин Ю.Б. Проблемы оценки эффективности фундаментальных исследований. - М.: Наука, 1986. – 227 с.
3. Фасфелд Г. Эффективность научных исследований и разработок. -М.: Экономика, 1986. 144 с.
4. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. -М.: Радио и связь. 1993. 315 с.
5. Типовая методика определения уровня эффективности НИР в Вузах. - М.: МАИ, 1980. – 53 с.
6. Методология оценки эффективности вузовской науки. Практическое пособие. Выпуск 3. Часть 1. Под ред. профессора, д.э.н. Э.Н. Яковлева. -М. Государственное

научное учреждение «Экспертно-аналитический центр» Министерства образования Российской Федерации. 2002. 20 с.

7. Грунина Г.С., Деменков Н.П. Пакет программ, реализующий метод анализа иерархий // Приборы и системы управления. 1996. № 7. С. 10-11.

8. Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах. Учебное пособие. –М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2005.- 200 с.