

## Эволюционные и нечеткие модели анализа и синтеза конкурентоспособных технологических и социально-экономических решений в системе всеобщего управления качеством аэрокосмических компаний

### **А.В. Андрейчиков,**

*д-р технич. наук, проф., профессор кафедры «Менеджмент качества», Московский государственный университет путей сообщения (127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, строение 9; e-mail: Andreichickov@mail.ru)*

### **О.Н. Андрейчикова,**

*д-р технич. наук, проф., главный ведущий сотрудник, Центральный экономико-математический институт РАН (117418, Москва, Нахимовский проспект, 47; e-mail: alexandrol@mail.ru)*

### **А.В. Зудинова,**

*студент, Московский государственный университет путей сообщения (127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, строение 9; e-mail: Anna.merzlova@yandex.ru)*

### **А.А. Зудинов,**

*магистр, Московский государственный университет путей сообщения (127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, строение 9; e-mail: Anna.merzlova@yandex.ru)*

### **А.Н. Хрипкова,**

*магистр, Московский государственный университет путей сообщения (127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, строение 9; e-mail: Just\_smile-90@mail.ru)*

### **А.Ф. Хафизова,**

*магистр, Московский государственный университет путей сообщения (127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, строение 9; e-mail: Just\_smile-90@mail.ru)*

*Аннотация. В статье рассмотрены модели и интеллектуальное программное обеспечение для анализа и синтеза технических и социально-экономических систем. Для анализа решений рассмотрено применение нечетких методов и методов моделирования рассуждений. Приведено описание программных систем для поддержки процессов синтеза решений на базе морфологического, логического и эволюционного подходов. Разработанные модели и программное обеспечение являются составной частью системы всеобщего управления качеством (Total Quality Management) аэрокосмических компаний.*

*Abstract. The article describes the model and intelligent software for the analysis and synthesis of technical and socio-economic systems. For decision analysis considers the application of fuzzy methods and modeling techniques of reasoning. The description of the software system to support the processes of synthesis decisions on the basis of morphological, logical, and evolutionary approaches. The developed models and software are an integral part of the system of General quality management (Total Quality Management) of aerospace companies.*

*Ключевые слова: всеобщее управление качеством, экономика, основанная на знаниях, интеллектуальное программное обеспечение, анализ, синтез, аэрокосмические компании.*

*Keywords: total quality management, Economics, knowledge-based, intelligent software, analysis, synthesis, aerospace company.*

Задачи анализа и синтеза решений имеют место практически во всех областях человеческой деятельности, в частности, на ранних этапах проектирования технических и социально-экономических систем в системе всеобщего управления качеством (Total Quality Management) аэрокосмических компаний. Традиционная задача анализа или принятия решения заключается в выборе лучшего варианта из заданного набора альтернативных вариантов с использованием некоторого набора критериев качества. Задача синтеза является частью процесса принятия решений в том случае, если альтернативные варианты представляют собой сложные многоэлементные структуры, при этом существует возможность объединения в единый вариант различных подмножеств элементов. Задача синтеза может предшествовать процессу анализа решений, когда возникает необходи-

мость генерации набора альтернативных вариантов. Задача синтеза всегда включает процедуры анализа решений.

Существует множество признаков, по которым можно классифицировать эти задачи. Одним из важнейших является вид отображения множества допустимых альтернатив в множество критериальных оценок. Детерминированный вид такого отображения соответствует задачам в условиях определенности, вероятностный – задачам в условиях риска, если вид отображения неизвестен, то имеем задачу в условиях неопределенности. Задачи синтеза в условиях определенности существуют, когда имеется детерминированное математическое описание процесса построения эффективного или наиболее вероятного варианта системы из множества альтернативных элементов. В статье рассматриваются методы решения задач анализа и синтеза в ус-

ловиях неопределенности. Решение таких задач невозможно без привлечения знаний экспертов, а это вызывает необходимость использования методов искусственного интеллекта и создания интеллектуального программного обеспечения. Существующие в настоящее время подходы к разработке программного обеспечения для поддержки процессов принятия решений можно разделить на две группы: подходы на базе математических методов теории принятия решений и подходы с позиций искусственного интеллекта. В системах, построенных на математических методах, экспертная информация, как правило, представлена структурами данных, которые являются наиболее удобными для обработки. Такие системы обычно предназначены для пользователя-эксперта, а хранение и использование полученных в процессе решения задач знаний в них часто бывает не предусмотрено. В интеллектуальных системах информация, полученная от экспертов, хранится в базе знаний, поэтому пользователем такой системы может быть не эксперт. И те, и другие системы обычно настроены на решение задач строго определенного класса. Выбор метода принятия решений и подходящего программного обеспечения является непростой задачей, решить которую может только высококвалифицированный специалист.

Для анализа решений в условиях неопределенности исследовались методы анализа иерархии (МАИ), методы теории нечетких множеств и методы моделирования рассуждений. При использовании МАИ информация, полученная от экспертов, представляет собой иерархию целей, критериев и альтернатив. Оценка предпочтительности альтернатив по критериям и оценка важности критериев выполняется путем парных сравнений. МАИ дает результаты, которые хорошо согласуются с интуитивными представлениями экспертов [1]. Недостатками метода является ограничение на число одновременно сравниваемых объектов, длительная по времени процедура парных сравнений, а также допущение о взаимной независимости критериев. В разработанном программном обеспечении предусмотрены альтернативные методы оценивания, такие как нормирование количественных оценок, метод лингвистических стандартов, использование копий [2].

На базе теории нечетких множеств разработаны разнообразные методы принятия решений [3,4]. Проблемой сегодняшнего дня является выбор метода из широкого спектра, и решить ее может только хороший специалист. Разработанное нами программное обеспечение для поддержки процессов принятия решений на базе нечеткого подхода, содержит 5 методов: методы максиминной и аддитивной свертки, метод на основе нечетких отношений предпочтения, метод лингвистических векторных оценок и метод, основанный на правилах нечеткого вывода [5].

На рис. 1 показано, что разные методы дают различные результаты для задачи с исходными данными, полученными от одного эксперта. Это объясняется, с одной стороны, разными способами представления экспертной информации, и, с другой стороны, различием подходов к принятию решений. Так, в основу МАИ и метода

отношений предпочтения заложен рациональный подход, основанный на парных сравнениях и нормированных весовых коэффициентах. Максиминная свертка и лингвистическая векторная оценка являются реализациями пессимистического подхода, игнорирующего хорошие стороны альтернатив, когда лучшей считается альтернатива, имеющая минимальные недостатки по всем критериям. Аддитивная свертка предполагает оптимистический подход, когда низкие оценки по критериям имеют одинаковый статус по сравнению с высокими. Нечеткий вывод на правилах реализует эвристический подход.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- Методы принятия решений на нечетких моделях позволяют удобно и достаточно объективно производить оценку альтернатив по отдельным критериям. В отличие от других методов добавление новых альтернатив не изменяет порядок ранжирования наборов. При оценке альтернатив по критериям возможна как лингвистическая оценка, так и оценка на основе точечных оценок с использованием функций принадлежности критериев.

- Основной проблемой многокритериального выбора с применением нечетких моделей является представление информации о взаимоотношениях между критериями и способы вычисления интегральных оценок. Методы, базирующиеся на разных подходах, дают различные результаты. Каждый подход имеет свои ограничения и особенности, и пользователь должен получить о них представление, прежде чем применять тот или иной метод принятия решений. Наиболее широкие возможности для представления информации дает эвристический подход.

- Большинство нечетких методов принятия решений показывает слабую устойчивость результатов относительно исходных данных. Исследование рассмотренных методов показало, что наибольшей устойчивостью обладает метод, основанный на правилах [5].

Традиционная постановка задачи принятия решений в условиях неопределенности предполагает ранжирование некоторого набора альтернатив на заданных наборах критериев качества и экспертных предпочтений. При такой постановке в качестве лучшей может быть выбрана любая альтернатива, поскольку право выбора полностью принадлежит ЛПР, т. е. выбор осуществляется одной стороной. Во многих областях знаний существуют задачи, в которых выбор той или иной альтернативы возможен только в случае выполнения некоторых условий (требований), которым удовлетворяет объект, осуществляющий выбор. В таких задачах выбор лучшего решения зависит от удовлетворения требований двух сторон. Например, выбор спутника жизни, обмен квартирой, поиск применения новому химическому соединению, подбор элементов, составляющих сложный технический объект, можно отнести к задачам с двухсторонними требованиями. Решение таких задач имеет свою специфику, так как кроме анализа альтернативных вариантов по выбранным критериям здесь имеет место синтез наиболее подходящей

пары объектов (бинарный синтез), которые могут принадлежать либо различным множествам, либо одному множеству. Схема бинарного синтеза приведена на рис.2.

В разработанной программной системе, предназначенной для решения задач двухстороннего выбора, информация о каждом объекте, хранящаяся в базе знаний, содержит описания свойств объекта, показателей качества данного объекта и требований, которые данный объект предъявляет к другим объектам. Оценки качества и требований могут быть лингвистическими или числовыми, формирующимися на основе некоторой шкалы. Для обработки знаний в системе предусмотрены различные подходы. Лингвистические суждения обрабатываются методами теории нечетких множеств. Для ранжирования числовых оценок применяется аддитивная модель выбора и метод с использованием лингвистических стандартов. Выбор объектов, удовлетворяющих некоторому набору требований, производится на основе различных мер сходства. Важность критериев выбора задается с помощью весовых коэффициентов, вычисляемых на базе парных сравнений. Представления о наилучшем подбираемом варианте можно также выразить с помощью правил.

Программная система для решения задач двухстороннего выбора содержит базу знаний, блок обработки знаний, включающий реализации перечисленных выше методов, интерфейсные компоненты для заполнения базы знаний и решения задач.

Для решения задач синтеза систем с середины этого века применяется метод морфологического синтеза. Мы также применяли этот метод для синтеза устройств на ранних стадиях проектирования. Разработанное программное обеспечение позволяет использовать различные целевые функции и методы для морфологического синтеза [2]. Программная система включает компоненту анализа полученных решений по различным признакам (сходство с прототипом, элементная новизна, комбинационная новизна и др.). Вычисление значений подобных признаков основано на различных мерах сходства и различия. Главным недостатком морфологического синтеза является игнорирование связей различного рода, которые существуют между элементами, и, как следствие, порождение слишком большого количества вариантов синтезируемой системы. Большую часть порожденных вариантов составляют нежизнеспособные системы. Множество сгенерированных вариантов системы на следующем этапе анализируется экспертами, задачей которых является выделение реализуемых альтернатив.

Предлагаемый нами интеллектуальный подход к разработке программного обеспечения для морфологического синтеза основан на идее использования знаний экспертов в процессе синтеза. При этом морфологическая таблица описывается правилами порождающих грамматик, которые позволяют учитывать совместимость элементов и строить оценки эффективности синтезируемых вариантов. Такой подход позволяет существенно сократить число порож-

даемых вариантов и повысить их качество. На рис.3 показан пример формирования контекстно-зависимой порождающей грамматики для синтеза многоэлементной системы. Использование многоместных предикатов позволяет описать связи между элементами системы. Так, совместимость задается по совпадению значений параметров X и Y у составляющих единую комбинацию элементов. Параметр Y одновременно используется для проверки удовлетворения заданному для синтеза условию, что может соответствовать усечению множества возможных решений по некоторому критерию качества.

При синтезе систем всегда возникает вопрос о последовательности его выполнения. Разработанное программное обеспечение позволяет выполнять синтез в автоматическом режиме на основании полученного задания, а также синтез с вмешательством пользователя. В настоящее время разрабатывается система эволюционного синтеза, при котором система генерируется путем наращивания. Соединяемые элементы имеют свойства и определенные требования к окружению, поэтому процедура формирования пары осуществляется как бинарный синтез. Результат бинарного синтеза – новый объект, который наследует свойства родителей и требования к окружению. Впоследствии этот объект соединяется со следующим элементом и так далее.

Структура интеллектуальной системы для анализа и синтеза решений представлена на рис.4. Она включает базы данных и базы знаний, заполняемые экспертами, в которых хранится необходимая информация, и взаимодействующие системы синтеза и анализа.

## Выводы

Рассмотренные подходы и методы анализа и синтеза решений могут использоваться для прогнозирования в условиях недостатка информации в рамках существующих систем всеобщего управления качеством (Total Quality Management) аэрокосмических компаний.

Для получения прогнозов не всегда можно использовать статистические подходы, так как статистика часто отсутствует. Разработка долгосрочных и стратегических прогнозов невозможна на основе статистического подхода, особенно в условиях быстро изменяющегося окружения. Поэтому применение экспертных методов для решения задач прогнозирования является весьма актуальным. Возможность прогнозирования изменения приоритетов альтернативных вариантов решений с течением времени предоставляет система принятия решений, созданная на базе МАИ с динамическими суждениями, когда предпочтительность оценивается не константой, а некоторой функцией от времени [6].

Методы интеллектуального синтеза целесообразно применять для синтеза сценариев развития аэрокосмических компаний [7-20]. Синтез возможных сценариев развития ситуаций позволяет осуществлять оценку последствий принимаемых решений и вырабатывать полити-

ки, приводящие к наиболее желательным исходам.

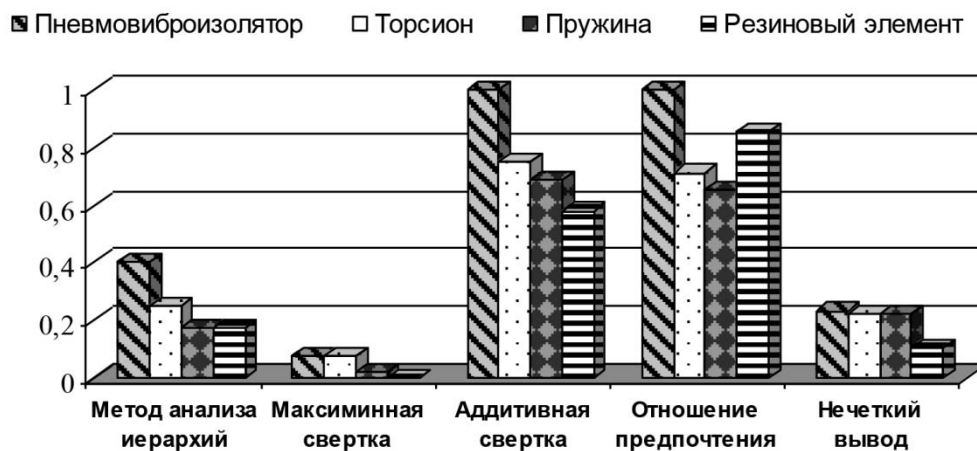


Рис. 1. Сравнение результатов ранжирования альтернатив, полученных различными методами принятия решений.

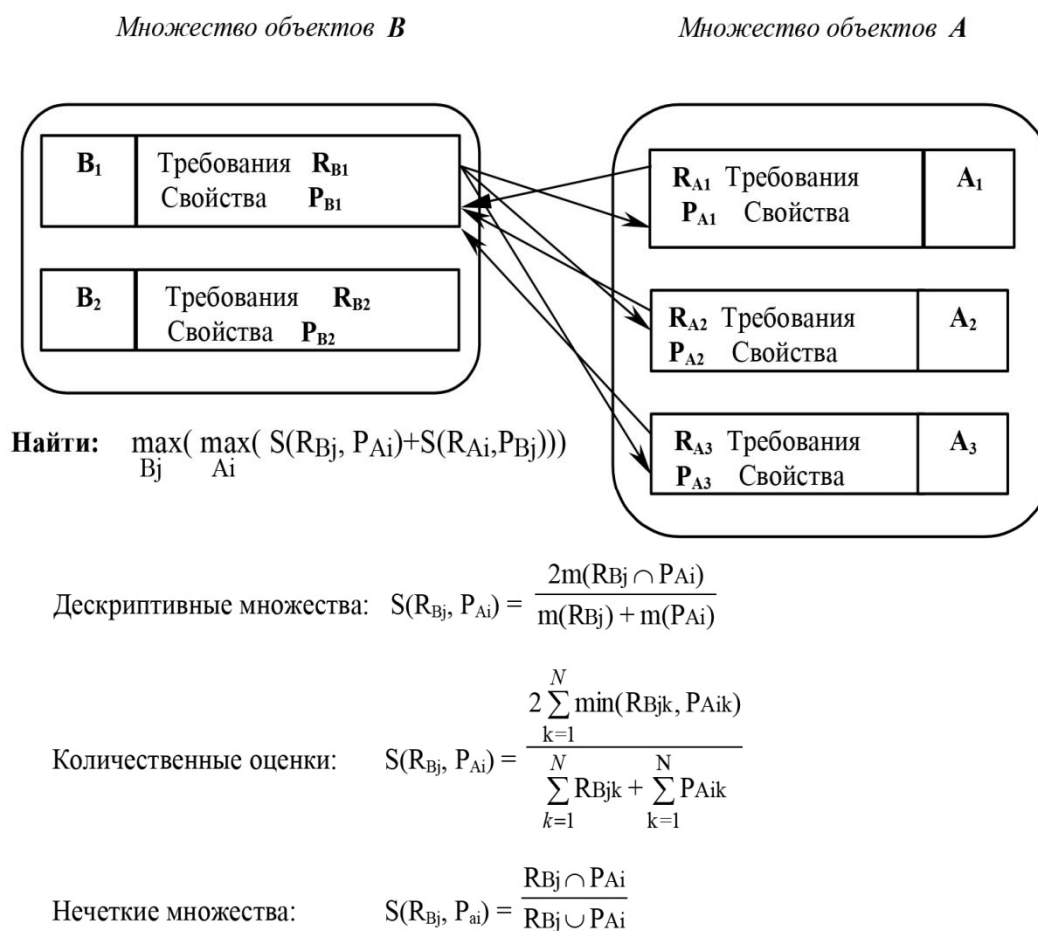


Рис. 2. Схема процесса бинарного синтеза.

Система S(X,Y)

Компоненты	Альтернативы		
A(X)	a <sub>1</sub> (X)		
B(X,Y)	b <sub>1</sub> (x <sub>1</sub> ,y <sub>1</sub> )	b <sub>2</sub> (x <sub>1</sub> ,y <sub>2</sub> )	b <sub>3</sub> (x <sub>2</sub> ,y <sub>1</sub> )
C(Y)	c <sub>1</sub> (y <sub>1</sub> )	c <sub>2</sub> (y <sub>3</sub> )	

Подсистема a<sub>1</sub>(X)

Компоненты	Альтернативы	
a <sub>11</sub>	a <sub>111</sub>	a <sub>112</sub>
a <sub>12</sub>	a <sub>121</sub>	a <sub>122</sub>
a <sub>13</sub> (X)	a <sub>131</sub> (x <sub>1</sub> )	a <sub>132</sub> (x <sub>2</sub> )

$S(X,Y) \rightarrow A(X), B(X,Y), C(Y), Y>P$   
 $\rightarrow A(X), B(X,Y)$   
 $A(X) \rightarrow a_1(X)$   
 $B(X,Y) \rightarrow b_1(x_1, y_1)$   
 $\rightarrow b_2(x_1, y_2)$   
 $\rightarrow b_3(x_2, y_1)$   
 $C(Y) \rightarrow c_1(y_1)$   
 $\rightarrow c_2(y_3)$   
 $a_1(X) \rightarrow a_{11}, a_{12}, a_{13}(X)$   
 $a_{11} \rightarrow a_{111}$   
 $\rightarrow a_{112}$   
 $a_{12} \rightarrow a_{121}$   
 $\rightarrow a_{122}$   
 $a_{13}(X) \rightarrow a_{131}(x_1)$   
 $\rightarrow a_{132}(x_3)$

Число вариантов системы S, полученных морфологическим синтезом, N<sub>M</sub>=48

Число вариантов, полученных интеллектуальным синтезом, N<sub>I</sub>=12

Примеры реализуемых вариантов системы S

$a_{111}a_{121}a_{131}(x_1)b_1(x_1,y_1)c_1(y_1)$   
 $a_{111}a_{122}a_{131}(x_1)b_1(x_1,y_1)$   
 $a_{112}a_{122}a_{131}(x_1)b_2(x_1,y_2)$

Рис. 3. Синтез системы с использованием экспертных знаний.

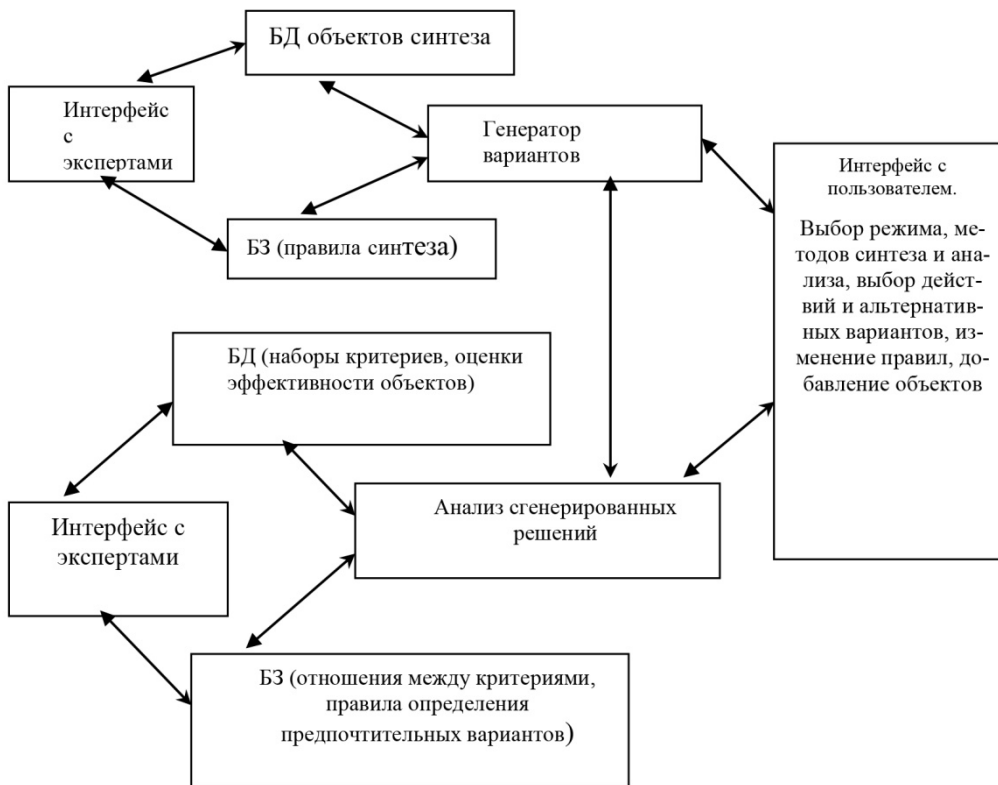


Рис. 4. Структура интеллектуальной системы для анализа и синтеза решений.

**\*Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ, проект № 16-02-00743 «Многокритериальный анализ и прогнозирование технико-экономического состояния и тенденций развития ведущих мировых аэрокосмических компаний».**

*Библиографический список:*

1. Saaty, T.L. (1990), *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
2. Saaty, T.L. (1994), *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
3. Andreichicov, A.V. (1995), "Computer Simulation and Modelling Synthesis of New Technical Decisions on the Invention Level", *Problems of Engineering and Automation*, No.1-2, pp. 11-18. (Russian)
4. Andreichicov A.V., Andreichicova O.N. (1997), "Computer support of invention processes", *Proceedings of 11<sup>th</sup> International Conference on Engineering Design*, Tampere, vol.2, pp. 197-202.
5. Andreichicov A.V., Andreichicova O.N. (1998), *Computer Support of Invention*, Machine Building Publisher, Moscow. (Russian)
6. Andreichicov A.V., Andreichicova O.N. (1999), "Intelligent Software Based on ANP", *Proceedings of 5<sup>th</sup> International Symposium on Analytic Hierarchy Process*, Kobe, pp. 393-398.
7. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н., Табунов Е.В., Фирсов Ю.А., Лелянова С.В., Перова М.Ю. Модели принятия управленческих решений по формированию структур государственно-частного партнерства в аэрокосмической отрасли. // «Экономика и предпринимательство» № 6 (71) 2016 (Vol. 10 Nom. 6), с.79 – 86.
8. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н., Козырев А.Н., Фирсов Ю.А., Колесник В.С. Подход к принятию управленческих решений о способах охраны изобретений. // «Экономика и предпринимательство» № 6 (71) 2016 (Vol. 10 Nom. 6), с.100 – 105.
9. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н., Фирсов Ю.А., Тевелева О.В., Колесник В.С. Комплексная оценка деятельности аэрокосмических компаний на корпоративном уровне с применением методов анализа иерархий и сетей. // «Экономика и предпринимательство» № 6 (71) 2016 (Vol. 10 Nom. 6), с.501 – 508.
10. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н., Фирсов Ю.А., Павлов А.А., Костина Т.А. Модель нечеткого логического вывода для анализа и прогнозирования технико-экономического состояния и тенденций развития аэрокосмических компаний. // «Экономика и предпринимательство» № 6 (71) 2016 (Vol. 10 Nom. 6), с.525 – 529.
11. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н., Табунов Е.В., Фирсов Ю.А., Тевелева О.В., Моргунова Д.А. Учет интеллектуальных ресурсов при принятии решений о слиянии компаний аэрокосмической отрасли с применением линейного программирования и метода анализа иерархий. // «Экономика и предпринимательство» № 7 (72) 2016 (Vol. 10 Nom. 7), с. 253 – 259.
12. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н., Табунов Е.В., Фирсов Ю.А., Зудинов А.А., Мерзлова А.В. Прогнозирование перспективности объектов интеллектуальной собственности в виде патентов на изобретения для промышленного производства и коммерческой реализации. // «Экономика и предпринимательство» № 7 (72) 2016 (Vol. 10 Nom. 7), с. 285 – 289.
13. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н., Фирсов Ю.А., Бортник О.А., Милкова М. А. Оценка риска экономической безопасности аэрокосмических компаний методом аналитических сетей. // «Экономика и предпринимательство» № 7 (72) 2016 (Vol. 10 Nom. 7), с. 350 – 359.
14. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н., Табунов Е.В., Фирсов Ю.А., Хафизова А.Ф., Хрипкова А.Н. Системный подход к выбору формы интеграции высокотехнологичных компаний аэрокосмической отрасли. // «Экономика и предпринимательство» № 7 (72) 2016 (Vol. 10 Nom. 7), с. 383 – 387.
15. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Патентный ландшафт спутниковой навигации. // *Электрон. журн. «Cloud of Science»*, 2016, том 3, № 3, с. 327 – 366.
16. Андрейчикова О.Н., Козырев А.Н. Патентная активность и экономическое лидерство. // *Электрон. журн. «Cloud of Science»*, 2016, том 3, № 2, с. 262 – 287.
17. Милкова М.А., Андрейчикова О.Н. Применение метода аналитических сетей для сравнительной оценки молодых компаний-стартапов. // «Экономика и предпринимательство», 2016, № 3 (68), с. 785-792.
18. Milkova M., Andreichikova O. Software Announcement: Multichoice as New Software for Decision Making with Analytic Network Process. // *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, vol. 8, issue 2, 2016, pp. 388-400
19. Андрейчикова О.Н., Козырев А.Н. Патентный ландшафт фармацевтической отрасли. // *Интеллектуальная собственность. Промышленная собственность. Спец. выпуск «Патентные ландшафты»*, 2016, с. 107-118.
20. Милкова М.А., Андрейчикова О.Н. Multichoice. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016616698,