

ПРОГРАММА ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ ЭКСПЕРТОВ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ КВАЛИМЕТРИЮ ИЛИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.М. Гукасов, гл. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, д-р биол. наук, *gvad@extech.ru*
Д.В. Леонов, асп. каф. Института радиоэлектроники МЭИ (НИУ), *strat89@mail.ru*
В.А. Фин, ст. науч. сотр. НИИ точных приборов холдинга «Ракетно-космические
и информационные системы» Федерального Космического Агентства, канд. техн. наук,
VAF1934@rambler.ru

*Рассматривается метод и реализующая его компьютерная программа квалиметрии
и многокритериального сравнения сложных объектов.*

Приводятся основные характеристики программы и пример ее использования.

Ключевые слова: многокритериальное сравнение, квалиметрия, многокритериальная
оптимизация.

SUPPORT PROGRAMME-MAKING EXPERTS PERFORMING DO QUALIMETRY OR MULTICRITERIA COMPARISON OF COMPLEX OBJECTS

V.M. Gukasov, Chief Research SRI FRCEC, Ph.D of Biology, *gvad@extech.ru*
D.V. Leonov, Post Graduate Student of Institute of Radioelectronics of the MPEI (NRU),
strat89@mail.ru
V.A. Fin, Senior Researcher of the Research Institute of Precision Instruments Holding
«Rocket-Space and Information Systems» of the Federal Space Agency, Doctor of
Engineering, *VAF1934@rambler.ru*

*The article considers a method and realizing its computer program qualimetry and multi-criteria
comparison of complex objects. Basic characteristics of the program and an example of its use are
also listed.*

Keywords: multicriteria comparison, qualimetry, multicriteria optimization.

Введение. В очень многих областях народного хозяйства, решения оборонных задач, практической производственной и повседневной бытовой деятельности человека приходится делать выбор из набора альтернатив, т. е. выполнять сравнительное рассмотрение различных сложных объектов, часто описываемых большим количеством параметров (критериев), часть из которых может и не иметь количественного измерения. Примером таких ситуаций может быть сравнение конкурсных заявок сложных инвестиционных проектов. Другие примеры: планирование разработки новых видов вооружения, сравнение между собой различных организаций или подразделений одной и той же организации, рейтинги различных учебных заведений, выбор оптимального варианта из набора экономических проектов, выбор оптимального варианта среди набора возможных инженерных решений, выбор стратегии оптимального поведения на работе или дома, и т. п. Таким образом, это типовая и весьма массовая задача. Параметры могут иметь различную размерность. Примерами параметров, вообще не имеющих количественного измерения, т. е. не метрических параметров, может быть наличие или отсутствие какого-нибудь признака или свойства, например, наличие или отсутствие какого-то режима работы для технических

устройств. Требуется метод многокритериального сравнения и квалиметрии (оценки качества)¹ [1].

В первую очередь, метод должен существенно повышать объективность оценки. Нужно, чтобы метод ставил всех претендентов в одинаковые условия, в максимальной степени исключал бы или существенно уменьшал возможность коррупции, лоббирования выбора окончательного варианта. Чтобы существенно уменьшить возможность лоббирования, эксперты должны быть отодвинуты от обсуждения вариантов проектов в целом, что присуще методу экспертных оценок, а должны принимать активное участие только в выработке критериев и их парциальных коэффициентов значимости, одинаковых для всех участников конкурса. Причем, для практического использования желательно, чтобы этот метод был простым, наглядным, экономичным (в смысле объема необходимых вычислений), достаточно точным, чувствительным к изменению значений критериев, позволял бы ранжировать варианты в единой шкале, например, единичной или 100-бальной. Процедура экспертизы должна хорошо документироваться, чтобы была сохранена возможность возможных обоснований, объяснений, разбирательств после конкурса. Рутинная работа по вычислению итогового значения квалиметрии или выбора лучшего варианта должна быть возложена на компьютер. С использованием компьютера заметно изменяется сам стиль работы эксперта; его работа должна становиться более творческой. У экспертов появятся возможности увеличивать количество критериев, более точно выполнять сравнения, освободиться от рутинной работы по оформлению экспертизы.

На практике количество критериев может быть очень большим. Например, количество только основных параметров, описывающих современные ультразвуковые медицинские диагностические устройства (УЗМДУ) экспертного класса, превышает 110 [2]. Причем, обычно имеется много вариантов таких устройств. С каждым годом проекты усложняются, становятся дороже. В этой ситуации достоверно выбрать «на глазок» оптимальный вариант трудно. Обычно сроки на выполнение экспертиз очень сжатые. Все эти обстоятельства говорят о том, что необходима компьютерная программа поддержки решений экспертов.

1. Основы метода. Входная и выходная информация метода приводится на рис. 1. Итоговое значение квалиметрии вычисляется по формуле:

$$K = \sum_{i=1}^I k_{n,i} \cdot \left(\sum_j^{M_i} n_{i,j} \right), \quad (1)$$

где

I – количество групп близких по смыслу параметров;

M_i – количество параметров в i -ой группе;

$k_{n,i}$ – коэффициент парциальной значимости i -ой группы параметров;

$n_{i,j}$ – конкретное значение j -параметра i -ой группы.

Слагаемые, относящиеся к параметрам, увеличение которых ухудшает проект, не прибавляются, а вычитаются.

Общая процедура квалиметрии включает следующие этапы: разбиение множества параметров на группы близких по смыслу параметров, ранжирование внутри группы, нормировка, вычисление величины K .

¹ Когда говорят об одном объекте, используют термин «квалиметрия»; когда речь идет о множестве объектов – используются термины «многокритериальное сравнение», «многокритериальная оптимизация». При квалиметрии производится сравнение с гипотетическим вариантом, значения параметров которого наилучшие.



Рис. 1. Входная и выходная информация программы квалиметрии

Предлагаемый метод квалиметрии был разработан в 2000 г. в НИИ точных приборов Роскосмоса в связи с задачей повышения объективности конкурсного отбора инвестиционных проектов по УЗМДУ [2]. Затем метод был использован для выбора элементной базы для построения перспективных УЗМДУ и для определения рейтинга кандидатов поступления в аспирантуру МЭИ (НИУ) [3]. В работе [4] были изложены основы метода; в настоящей же статье акцент сделан на вопросах принципов построения и реализации программы поддержки решений экспертов. В работе [5] были выбраны критерии для квалиметрии НИИ и КБ радиоэлектронного профиля. Многокритериальное сравнение организаций – исполнителей проектов так же важна, как и квалиметрия самих проектов.

Вопросы количественной квалиметрии очень мало освещены в литературе. Теория же многокритериального сравнения альтернатив продолжает исследования по теории игр [6], теории исследования операций [7] и пр., т. е. имеет длинную и очень солидную научную предысторию. Как выяснилось уже при работе над настоящей статьей, предлагаемый нами метод многокритериального сравнения альтернатив оказался близок к методу АНР (Analytic Hierarchy Process), предложенному Саати Т. и Керис К. [8] и подробно рассматриваемому также в [9]. Требуется обстоятельное сравнение этих методов.

Одним из родоначальников многокритериального сравнения инвестиционных проектов как науки следует считать акад. А.Н. Крылова [10], который был помощником военно-морского Министра царской России легендарного адмирала С.О. Макарова и председателем комиссии по отбору инвестиционных проектов кораблей в его Министерстве. При выполнении экспертизы все критерии (параметры) А.Н. Крылов разбивал на две группы: те, увеличение которых улучшает проект, и те, уменьшение которых улучшает проект. К первой группе относились, например, дальность плавания без дозаправки, толщина брони, дальность стрельбы. Ко второй группе относилась, например, стоимость проекта, стоимость изготовления корабля. Затем проблемой многокритериального сравнения занимались многие математики, экономисты, специалисты по проектированию сложных инженерных систем [11–15]. Широко известна работа [16], содержащая большую библиографию по многокритериальному сравнению вариантов. Наличие нескольких критериев и разнородность параметров отличают рассматриваемые здесь методы многокритериальной оптимизации от аналогичных по названию методов многокритериальной оптимизации в классическом математическом анализе [17 и др.].

Некоторые общие требования к программе поддержки экспертных решений.

1. Открытость, т. е. возможность модернизировать и дополнять программу.
2. Мобильность, т. е. возможность использования программы на различных аппаратных платформах.

3. Дружественный интерфейс с Пользователем.
4. Модульность, удобство настройки программы на новое семейство проектов.
5. Наличие инструкции по эксплуатации.
6. Информационная безопасность, т. е. запрет доступа к конфиденциальной информации.

2. Основы программной реализации. Для автоматизации многокритериального сравнения и квалиметрии нами была разработана компьютерная программа Квалиметрия, демонстрационную версию которой мы поместили в Интернете в свободном доступе. В Глобальной сети ее можно найти по адресу <http://theproximo.com/Квалиметрия.exe>.

Программа Квалиметрия была написана на языке C++. Разработанная в интегрированной среде разработки приложений MS Visual C++ 2010, она предназначена как для решения проблемы измерения и оценки качества конкретного варианта, так и для сравнения различных вариантов между собой и выбора наилучшей альтернативы.

Входными данными программы являются критерии оценки. Они разбиваются на группы и подгруппы со своими весовыми коэффициентами. Также необходимо указать оценку в диапазоне от 0 до 1 для каждого элемента множества оцениваемых параметров каждой альтернативы. По указанным данным программа производит расчет и выдает численную оценку качества объекта экспертизы. Если же мы проводим экспертизу и сравнение нескольких объектов, то программа производит выбор наилучшей альтернативы. Наилучшей признается та альтернатива, численная оценка которой наиболее близка к единице.

Программа состоит из нескольких модулей. В нее входят:

- модуль ввода коэффициентов парциальной значимости критериев оценки. Коэффициенты парциальной значимости разбиты на группы и подгруппы. Их значения выбираются таким образом, чтобы сумма коэффициентов в каждой подгруппе равнялась единице;

- модуль ввода данных оцениваемых объектов (альтернатив). Число элементов множества оцениваемых параметров каждой альтернативы совпадает с суммарным количеством элементов всех подгрупп низшего уровня модуля ввода коэффициентов парциальной значимости критериев оценки. Данные представляют собой значение в диапазоне от 0 до 1, получаемое в результате оценки каждого элемента;

- модуль расчета и вывода результатов многокритериального сравнения и квалиметрии. Выдает численное значение оценки качества конкретного объекта или их группы с указанием наилучшей альтернативы.

Для того чтобы познакомиться с демонстрационной версией программы, необходимо переписать на свой компьютер файл Квалиметрия.exe – это исполняемый файл программы. Инсталляция не требуется, сразу после копирования файла на жесткий диск приложение готово к работе. Для корректной работы программы требуется операционная система Windows XP SP3, Windows 7 или Vista и наличие программной платформы Microsoft.NET Framework 4.0. Минимальные аппаратные требования: процессор Pentium с тактовой частотой 1 ГГц или выше, 512 МБ оперативной памяти или больше. На диске демонстрационная версия программы Квалиметрия занимает 120 КБ.

3. Описание примера. Рассмотрим работу программы Квалиметрия подробнее, используя для иллюстрации конкретный пример решения задачи квалиметрии кандидатов на поступление в аспирантуру НИУ «МЭИ» на кафедру основ радиотехники (ОРТ).

Предположим, что Ваша фамилия Иванов и Вы поступаете в аспирантуру. На кафедре ОРТ в этом году назревает жесткая интеллектуальная конкуренция за бюджетные места. Минвуз выделил два бюджетных места, а претендентов трое. Кандидаты изначально находятся в неравных условиях. Вы, например, отлично учились, а ваши конкуренты могут иметь публикации в реферируемых изданиях, участвовать в научных конференциях, уже выбрать темы будущих диссертаций и накопить по ним «задел», сдать кандидатские экзамены. Ваша карьера зависит исключительно от Вас и Вашей подготовки. Параметров много. «На глазок» выбрать двух лучших соискателей трудно.

Таблица 1

Входная и выходная информация программы Квалиметрия

	Группы и подгруппы	Коэф. 1	Коэф. 2	Коэф. 3	Иванов Д.В.	Петров М.Г.	Сидоров Р.П.
1	Значимость темы	0,371					
	1. Научная		0,213		0,8	1,0	1,0
	2. Социальная		0,213		0,9	0,7	0,5
	3. Для кафедры ОРТ		0,213		0,9	1,0	1,0
	4. Коммерческая		0,191		1,0	0,4	0,6
	5. Учебная		<u>0,170</u>		0,7	0,9	1,0
			1,0				
2	Личность соискателя	0,333					
	1. Ср. балл по учебе		0,192				
	3,75 – 3,99			0,081	1,0	1,0	1,0
	4,00 – 4,24			0,189	1,0	1,0	1,0
	4,25 - 4,49			0,216	1,0	1,0	1,0
	4,5 - 4,79			0,244	1,0	1,0	1,0
	4,8 – 5,00			<u>0,270</u>	1,0	1,0	0
				1,0			
	2. Опыт научных исследований		0,173		0,9	0,8	0,5
	3. Владение программированием на языке С		0,173		0,4	0,6	0,9
	4. Владение языком VHDL		0,154		0,6	0,9	0,9
	5. Владение ПКМ MATLAB		0,154		0,9	0,8	0,9
	6. Владение английским языком		<u>0,154</u>		0,9	0,8	0,4
			1,0				
3	Задел	0,296					
	1. Стаж работы по теме канд. дисс.(КД), лет:		0,264				
	0,5			0,1	1,0	1,0	1,0
	1,0			0,267	1,0	1,0	1,0
	1,5			0,3	1,0	1,0	1,0
	2,5			<u>0,333</u>	1,0	1,0	0,0
				1,0			
	2.Количество статей:		0,236				
	1			0,15	1,0	1,0	1,0
	2			0,175	1,0	1,0	1,0
	3			0,2	0,0	1,0	1,0
	4			0,225	0,0	1,0	0,0
	5			<u>0,25</u>	0,0	1,0	0,0
				1,0			
	3. Количество патентов:		0,294				
	1			0,333	1,0	0,0	0,0
	2			<u>0,667</u>	1,0	0,0	0,0
				1,0			
	4. Количество тезисов:		0,206				
	1			0,181	1,0	1,0	1,0
	2			0,242	0,0	1,0	1,0
	3			0,274	0,0	1,0	0,0
	4			<u>0,303</u>	0,0	1,0	0,0
				1,0			

Структура решаемой задачи может быть представлена в виде, показанном на рис. 2.

Один из ваших конкурентов уже имеет большое количество публикаций в научных журналах и опыт выступлений на конференциях, а другой неплохо разбирается в программировании. На Вашей же стороне два патента и хорошее владение иностранным языком. В программу введены коэффициенты парциальной значимости критериев и данные конкурсантов (табл. 1).

Для указанных данных произведен расчет. На рис. 3 мы видим численные значения оценок качества предложенных альтернатив.

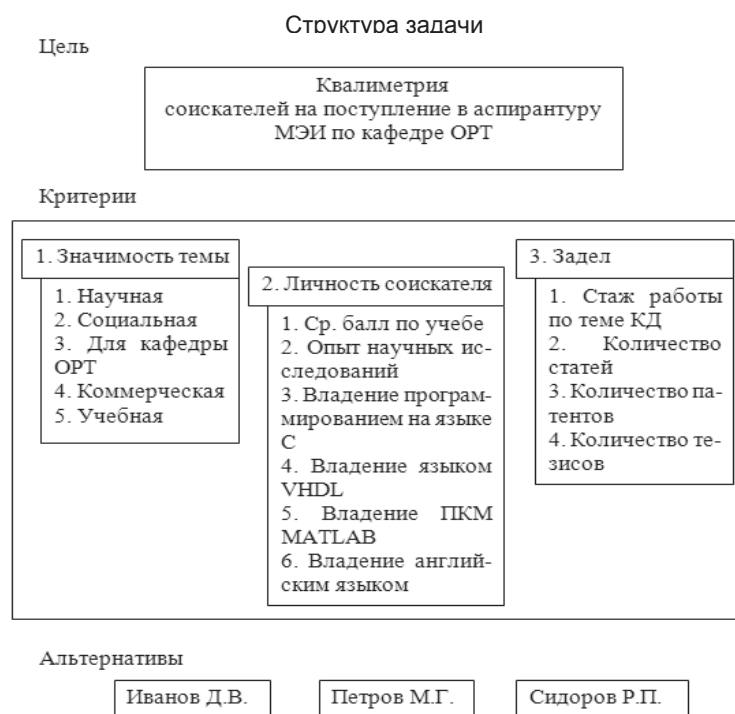


Рис. 2. Иерархическая схема задачи выбора кандидатов на поступление в аспирантуру

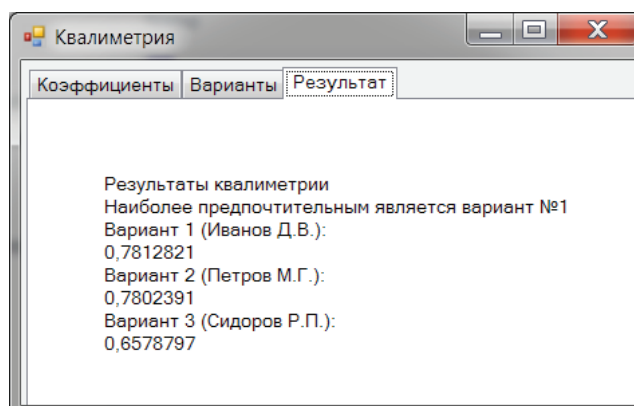


Рис. 3. Результат расчета по программе Квалиметрия

Заключение. Существуют ограничения возможностей человека в широком круге интеллектуальных задач [9]. Эти ограничения объективны и определяются особенностями человеческой системы переработки информации. Для их преодоления сейчас успешно внедряются различные виды систем поддержки принятия решений. Они позволяют минимизировать человеческий фактор, повысить объективность оценки. Разрабатываемый нами метод и реализующая его компьютерная программа позволят создавать такие системы, специализированные для конкретных инвестиционных и рейтинговых проектов. А преимущества и индивидуальные особенности нашего метода позволят избежать недостатков существующих систем.

Выводы

1. Разработан метод квалиметрии и многокритериального сравнения сложных объектов.
2. Метод близок методу АНР (Analytic Hierarchy Process), но отличается от последнего большей простотой выполнения ранжирования коэффициентов парциальной значимости.
3. Разработана демоверсия программы предлагаемого метода.
4. Повышение объективности и качества экспертизы инновационных проектов послужит ускорению научно-технического прогресса, даст большой экономический эффект.
5. Ближайшими направлениями дальнейшей работы являются:
 - обкатка метода на нескольких сложных инвестиционных проектах;
 - проработка некоторых вопросов общей теории экспертизы;
 - сравнительный анализ предлагаемого и известного способов ранжирования;
 - завершение работ по рейтингу вузов и факультетов радиотехнического профиля;
 - оформление работ по квалиметрии УЗМДУ;
 - преобразование демоверсии программы в коммерческий программный продукт;
 - подготовка конкурсной документации для заявки на получение господдержки на выполнение теоретических и практических работ по методике экспертизы;
 - внедрение метода в экспертную практику.

Список литературы

1. Фомин В.Н. Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация. Учебное пособие. М.: Изд-во «Ось-89», 2002.
2. Фин В.А. Квалиметрия УЗ медицинских диагностических устройств. Отчет по НИР. НИИТП, 2000.
3. Леонов Д.В. «Основные принципы построения ультразвуковых медицинских диагностических устройств экспертного класса нового поколения». Диссертация на соискание ученой степени магистра. МЭИ (НИУ). Кафедра ОРТ, 2013.
4. Гукасов В.М., Пирский Г.В., Фин В.А. Метод многокритериальной экспертной оценки сложных инвестиционных проектов // Медицина и современные технологии. 2013, № 3.
5. Гукасов В.М., Пирский Г.В., Фин В.А. Параметры квалиметрии НИИ радиоэлектронного профиля. Инноватика и экспертиза. Научные труды. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. Вып. 2, 2012.
6. Нейман Д., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970.
7. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1980.
8. Саати Т., Керис К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: «Радио и связь», 1991.
9. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2002.
10. Крылов А.Н. Мои воспоминания. М.: АН СССР, 1963.
11. Емельянов С.В., Ларичев О.И. Многокритериальные методы принятия решений. М.: Знание, 1985.
12. Березовский Б.А., Барышников В.И., Борзенко В.И. Многокритериальная оптимизация. Математические аспекты. М.: Наука, 1989.

13. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Дрофа, 2006.
14. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. М.: Советское радио, 1975.
15. Кандырин Ю.В. Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР. Изд-во МЭИ. 2004.
16. Кини Р.П., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и Связь. 1981.
17. Трифонов А.Г. Многокритериальная оптимизация. Optimization Tool Box. MATLAB. Руководство пользователя: [Электронный ресурс]. Available at: http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_1/.

References

1. Fomin V.N. (2002) *Kvalimetriya. Upravlenie kachestvom. Sertifikatsiya* [Qualimetry. Quality management. Certification. The tutorial], *Izd-vo «Os'-89»* [Publishing house «Axis-89»], Moscow.
2. Fin V.A. (2000) *Kvalimetriya UZ meditsinskikh diagnosticheskikh ustroystv* [Qualimetry of ULTRASONIC medical diagnostic devices]. *Otchet po NIR. NIITP* [Report on scientific research. NIITP].
3. Leonov D.V. (2013) «*Osnovnye printsipy postroeniya ul'trazvukovykh meditsinskikh diagnosticheskikh ustroystv ekspertnogo klassa novogo pokoleniya*» [«Basic principles of ultrasonic medical diagnostic devices expert class new generation»]. *Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni magistra. MEI(NIU). Kafedra ORT* [Thesis for the degree of master. MPEI(NRU). Department of ORT].
4. Gukasov V.M., Pirski G.V., Fin V.A. (2013) *Metod mnogokriterial'noy ekspertnoy otsenki slozhnykh investitsionnykh proektov* [The method of multi-criteria expert evaluation of complex investment projects], *Meditsina i sovremennye tekhnologii* [Medicine and modern technologies], no. 3.
5. Gukasov V.M., Pirski G.V., Fin V.A. (2012) *Parametry kvalimetrii NII radioelektronnogo profilya* [Settings qualimetry Institute of electronic profile], *Innovatika i ekspertiza. Nauchnye trudy. FGBNU* [Innovation and expert examination. Scientific works. FSBI], vol. 2.
6. Neumann D., Morgenstern O. (1970) *Teoriya igr i ekonomicheskoe povedenie* [Theory of Games and Economic Behavior], *Nauka* [Nauka], Moscow.
7. Wentzel E.S. (1980) *Issledovanie operatsii: zadachi, printsipy, metodologiya* [Operations research: objectives, principles, methodology], *Nauka* [Nauka], Moscow.
8. Saaty T., Caris K. (1991) *Analiticheskoe planirovanie. Organizatsiya sistem* [Analytical planning. Organization systems], *Radio i svyaz* ' [Radio and Communications], Moscow.
9. Larichev O.I. (2002) *Teoriya i metody prinyatiya reshenii* [Theory and methods of decision-making], *Logos* [Logos], Moscow.
10. Krylov A.N. (1963) *Moi vospominaniya* [My memories], *AN SSSR* [USSR Academy of Sciences], Moscow.
11. Emelyanov S.V., Larichev O.I. (1985) *Mnogokriterial'nye metody prinyatiya reshenii* [Multicriteria decision-making methods], *Znanie* [Knowledge], Moscow.
12. Berezovsky B.A., Baryshnikov V.I., Borzenko V.I. (1989) *Mnogokriterial'naya optimizatsiya. Matematicheskie aspekty* [Multiobjective optimization. Mathematical aspects], *Nauka* [Nauka], Moscow.
13. Sobol I.M. (2006) *Vybor optimal'nykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriyami* [Choice of optimal parameters in problems with many criteria], *Drofa* [Drofa], Moscow.
14. Gutkin L.S. (1975) *Optimizatsiya radioelektronnnykh ustroystv po sovokupnosti pokazatelei kachestva* [Optimization of electronic devices on set of quality indicators], *Sovetskoe radio* [Soviet Radio], Moscow.
15. Kandyrin Y.V. (2004) *Metody i modeli mnogokriterial'nogo vybora variantov v SAPR* [Methods and models of multi-choices in CAD], *Izd-vo MEI* [Publ MEI].
16. Keene R.P., Rife H. (1981) *Prinyatie reshenii pri mnogikh kriteriyakh: predpochteniya i zameshcheniya* [Decisions with multiple criteria: preferences and substitution], *Radio i Svyaz* ' [Radio and Communication], Moscow.
17. Trifonov A.G. *Mnogokriterial'naya optimizatsiya* [Multiobjective optimization], Optimization Tool Box. MATLAB. Manual: [electronic resource]. Available at: http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_1/.