



**БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ
ТЕХНОЛОГИИ**

Борис Атанасов Стайков

**МЕТОДИ, АЛГОРИТМИ И СОФТУЕРНИ СИСТЕМИ ЗА
ПОДПОМАГАНЕ ВЗЕМАНЕТО НА РЕШЕНИЯ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

НА ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен „доктор“

по докторска програма „Информатика“

професионално направление „4.6. Информатика и компютърни
науки“

Научен ръководител:

проф. д-р Васил Василев

Научен консултант:

доц. д-р Татяна Атанасова

София, 2020 г.

Дисертацията е обсъдена и допусната до защита на разширено заседание на секция „Моделиране и оптимизация“ на ИИКТ-БАН, състояло се на

Дисертацията съдържа 174 стр., в които 43 фигури, 16 таблици и 20 страници библиография, включваща 181 заглавия.

Защитата на дисертацията ще се състои на от часа в зала на блок 2 на ИИКТ-БАН на открито заседание на научно жури в състав:

Материалите за защитата са на разположение на интересуващите се в стая на ИИКТ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 2.

Автор: *Борис Атанасов Стайков*

Заглавие: **МЕТОДИ, АЛГОРИТМИ И СОФТУЕРНИ СИСТЕМИ ЗА ПОДПОМАГАНЕ ВЗЕМАНЕТО НА РЕШЕНИЯ**

УВОД

1. Актуалност на темата

Различните задачи за планиране, контрол и анализ в производството [Kirilov, Gulishaki и др. (2016)], транспорта, екологията [Jaszkiewicz, Slowinski, (1997)], образованието и други области могат да бъдат определени като многокритериални задачи за вземане на решения [White, (1990)]. В зависимост от тяхната формална постановка, тези задачи могат да бъдат разделени на два отделни класа [Vincke, (1992)]. При първия клас задачи краен брой алтернативи са представени явно в таблична форма. Те се наричат многокритериални задачи за вземане на решение с дискретни алтернативи или задачи на многокритериалния анализ (МА) [Dyer, (2004)]. При втория клас задачи, краен брой от явно зададени ограничения във вид на функции определят безкраен брой допустими алтернативи [Sawaragi, Nakayama и др., (1985)]. Те се наричат задачи на многокритериалната оптимизация (МО). Именно този клас задачи е предмет на по-задълбочено разглеждане в настоящата дисертация.

В задачите за многокритериална оптимизация и многокритериален анализ няколко на брой критерии се оптимизират едновременно в дадено множество от допустими алтернативи. В общия случай не съществува алтернатива, която е оптимална за всички критерии, но съществува множество от алтернативи, които притежават следното общо свойство: всяко подобрение в стойността на някой от критериите води до влошаване в стойността на поне един от останалите критерии. Това свойство е открито за първи път през 1896 г. от италианския математик-икономист Vilfredo Pareto и поради това, през 1951 г. множеството е наречено на негово име - множество на недоминираните (Парето-оптимални) алтернативи (решения) [Collette, Siarry, (2013)]. От чисто математическа гледна точка всяка алтернатива от множеството на Парето може да бъде решение на многокритериалната задача. В крайна сметка за да бъде избрана една алтернатива е необходима допълнителна информация, която се определя от т.нар. “лице, вземащо решение (ЛВР)”. Информацията, предоставена от ЛВР е отражение на неговите лични предпочитания с оглед на качествата на търсената най-предпочитана алтернатива.

Математически, решаването на такъв вид задачи е дълъг интерактивен процес, свързан със сложни и големи по обем изчисления. Това автоматично налага в практиката

да бъдат използвани помощни софтуерни системи, разработвани специално за асистиране при решаването на такъв вид задачи [Sierksma, (2001)].

2. Задачи за многокритериален анализ

При задачите на многокритериалния анализ явно се задават краен брой алтернативи в таблична форма. Многокритериалният анализ се нарича още многоатрибутен анализ или многокритериално вземане на решение при зададени дискретни алтернативи. В общия случай идеалната алтернатива не съществува. Целта на задачата е да се получи пълна или частична наредба на алтернативите от най-добрата към най-лошата.

3. Задачи за многокритериална оптимизация

3.1. Формална постановка на задачите за многокритериална оптимизация

Задачите за многокритериална оптимизация могат да бъдат както линейни, така и нелинейни. Съществуват подходи и методи за решаване и на двата вида задачи [Miettinen, Kirilov (2005)], но фокуса на настоящата дисертация е върху линейните задачи за многокритериална оптимизация.

В най-общия случай се използват два типа статични математически модели.

Първият модел има следният вид:

$$\max z = f(x)$$

(I) при ограниченията:

$$g_j(x) \leq b_j, j=1, \dots, m,$$

където:

– символът “max” означава, че трябва да се максимизират едновременно всички критерии (целеви функции);

– $f(x)$ е целевата функция (критерий);

– $x = (x_1, \dots, x_n)^T$ е вектор на променливите (на решенията);

– $g_j(x), j=1, \dots, m$, са функции на ограниченията на задачата;

Функциите $g_j(x), j=1, \dots, m$, и целевата функция $f(x)$ са реални функции: $g_j: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$, $j=1, \dots, m$, и $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$, където \mathbb{R} е множеството на реалните числа, а \mathbb{R}^n е n -мерното евклидово пространство.

Тези функции определят така нареченото множество на допустимите решения. Означаваме това множество с $S, S \subset \mathbb{R}^n$.

Другият тип математически модел, който често пъти е по-адекватен на съответния приложен проблем и който ще бъде обект на разглеждане, е следният:

$$\text{“max” } \{z_1 = f_1(x), z_2 = f_2(x), \dots, z_k = f_k(x)\}$$

(II) при ограниченията:

$$g_j(x) \leq b_j, j=1, \dots, m,$$

където:

– “max” означава, че целевите функции се максимизират едновременно;

– $f_i(x), i=1, \dots, k$, са целевите функции (критериите). Те са реални функции: $f_i: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}, i=1, \dots, k$. Особеното за тях е, че те обикновено са противоречиви и несъизмерими.

– $f(x) = (f_1(x), \dots, f_k(x))$ или $z = (z_1, \dots, z_k)$, е вектор на целевите функции;

– $k \geq 2$;

– $g_j(x)$, $j=1, \dots, m$, са функции на ограниченията на задачата и те са реални функции:

$$g_j: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}, \quad j=1, \dots, m$$

Тези функции определят допустимото множество на решенията (променливите). Ще го означаваме със S и $S \subset \mathbb{R}^n$.

– Означаваме с $f(S) = Z$ образа на множеството S в критериалното пространство \mathbb{R}^k , $Z \subset \mathbb{R}^k$. Z се нарича допустимо множество в критериалното пространство.

– Означаваме със $z=(z_1, \dots, z_k)^T$, където $z_i=f_i(x)$, $i=1, \dots, k$. z се нарича критериален вектор и $z \in Z$.

3.2. Методи за решаване на задачите за многокритериална оптимизация.

Съществуват два основни подхода при решаването на задачи на многокритериалната оптимизация: скаларизационен подход [Miettinen (1999)] и апроксимационен подход [Ehrgott и Wiecek (2004)]. Основните представители на скаларизационният подход са интерактивните алгоритми. В тези алгоритми задачите на многокритериалната оптимизация се разглеждат като задачи за вземане на решение, а ударението е поставено върху реалното участие на ЛВР в процеса на решаването на задачата.

Интерактивните алгоритми са най-усъвършенствани и широко разпространени. Те притежават следните основни характеристики:

- малка част от Парето-оптималните решения трябва да бъдат генерирани и оценени от ЛВР.
- в процеса на решаване на многокритериалната задача ЛВР може да се обучава в спецификата на задачата.
- ЛВР се чувства по-уверен в крайния резултат.

Под *крайно решение на задачата (II)* ще разбирате Парето-оптимално решение, което удовлетворява в най-голяма степен предпочитанията и изискванията на ЛВР. Това решение се нарича още и най-предпочитано решение на задачата.

3.3. Скаларизиращ подход за трансформация на задачите за многокритериална в задачи за еднокритериална оптимизация

Скаларизацията означава трансформация на многокритериалната оптимизационна задача в една или множество от еднокритериални оптимизационни задачи с реална целева функция, зависеща обикновено от един или няколко параметъра. Тази трансформация позволява да се използват теорията и резултатите на еднокритериалната оптимизация. Всеки от интерактивните алгоритми за решаването на различни класове от задачи на многокритериалната оптимизация, разработени досега, има своите предимства и недостатъци, свързани най-вече с типа информация, предоставена от ЛВР и отразяваща глобалните и локалните му предпочитания, както и начина, по който тя се извлича от него; типа и начина на решаване на скаларизиращата задача. Интерактивните алгоритми са особено подходящи за решаването на линейни и изпъкнали нелинейни задачи на многокритериалната оптимизация, в които времето за решаване на скаларизиращата задача (времето за генериране на ново решение) не е от голямо значение.

ГЛАВА I. КЛАСИФИКАЦИОННО-ОРИЕНТИРАНИ СКАЛАРИЗИРАЩИ ЗАДАЧИ И АЛГОРИТМИ

В главата се описват скаларизиращи задачи и алгоритми за решаване на задачи за многокритериална оптимизация, разработени съвместно с екип от учени в БАН. В резултат е разработен и програмно реализиран интерактивен алгоритъм, базиран на метода GENS-IM, който служи за основа на изчислителните модули в разработваните приложни системи за многокритериална оптимизация МКО-2.1. и WebOptim. Част от резултатите са представени в публикация номер 5.

2.1. Класификационно-ориентирани скаларизиращи задачи DAL

Името на скаларизиращите задачи *DAL* [Vassileva (2004)] (още наречени задачи на желаните и приемливите нива), произлиза от първите букви на английските думи: *Desired* (Желан), *Acceptable* (Приемлив) и *Level* (Ниво).

2.2. Класификационно-ориентирани скаларизиращи задачи DALDI

Името на скаларизиращата задача *DALDI-1* [Vassilev, Genova и др.(2004)] произлиза от първите букви на английските думи: *Desired* (Желан), *Acceptable* (Приемлив), *Level* (Ниво), *Direction* (Посока) и *Interval* (Интервал)..

2.3. Обобщени скаларизиращи задачи

За получаване на слабо Парето-оптимално решение, стартирайки директно или индиректно от текущото слабо Парето-оптимално решение е разработена скаларизираща задача GENWS.

Чрез промяна на нейните параметри могат да се получат голяма част от придобилите известност скаларизиращи задачи.

2.4. Обобщен интерактивен алгоритъм, базиран на метода GENS-IM за решаване на линейни и линейни целочислени задачи на многокритериалната оптимизация

В тази точка е описан разработения на основата на скаларизиращите задачи GENWS и GENS обобщен интерактивен алгоритъм с променлива скаларизация и параметризация, който се отличава със следните характеристики:

- ЛВР може да задава своите предпочитания с помощта на тегла на критериите, на ε – ограничения, на желани и приемливи нива на промяна на стойностите на критериите, на желани и приемливи направления на промяна на стойностите на критериите, на желани и приемливи нива, посоки и интервали на промяна на стойностите на критериите и т.н.;
- В процеса на решаване на многокритериалните задачи ЛВР може да променя начина на задаване на своите предпочитания;

Алгоритъмът служи за основа на проектираните две софтуерни системи за решаване на задачи за многокритериална оптимизация – МКО-2.1 и WebOptim.

ГЛАВА II. ПРОГРАМНА СИСТЕМА МКО-2.1

В главата са описани разработките, направени за целите на приложната СПВР МКО-2.1. Това включва: синтаксис за дефиниране на задачи за многокритериална оптимизация; управляващ модул; оптимизационен модул. Направено е и подробно описание на работата със системата. Резултатите са представени в публикации номер 7 и 8.

2.1 Предназначение на системата МКО-2.1.

Програмната система МКО-2.1 е предназначена за подпомагане решаването на линейни и линейни целочислени задачи на многокритериалната оптимизация. В системата на основата на обобщена скаларизираща задача се генерират 12 известни скаларизиращи задачи от различен тип и съответстващите им 12 интерактивни алгоритми.

2.2. Синтаксис за дефиниране на задачи за многокритериална оптимизация.

За представяне на данните в електронен вид на изчислителните модули в системата МКО-2.1., е необходимо те да бъдат транслирани от подходящ, четим за хора синтаксис за описание на такъв вид задачи. За целта е разработена граматика със съответния парсер, който приема описанието на задачата в текстов вид. Граматиката се състои от набор от компоненти и правила за тяхната подредба.

2.3. Основни модули в системата МКО-2.1.

Системата МКО-2.1 се състои от три основни групи модули: управляващ модул, оптимизационни модули и интерфейсни модули.

Управляващият модул е интегрирана софтуерна среда за създаване, обработка и съхранение на асоциирани със системата файлове (с разширение “*.mlp”), както и за свързване и изпълнение на различни типове програмни модули.

Интерфейсните модули осигуряват диалога между ЛВР и системата при въвеждането и корекцията на входните данни на решаваната задача, по време на интерактивния процес на решаването ѝ и за динамична числова и графична визуализация на основните параметри на този процес.

Оптимизационните модули реализират 12 интерактивни алгоритъма на многокритериалната оптимизация, както и два алгоритъма на линейната и линейната целочислена еднокритериална оптимизация.

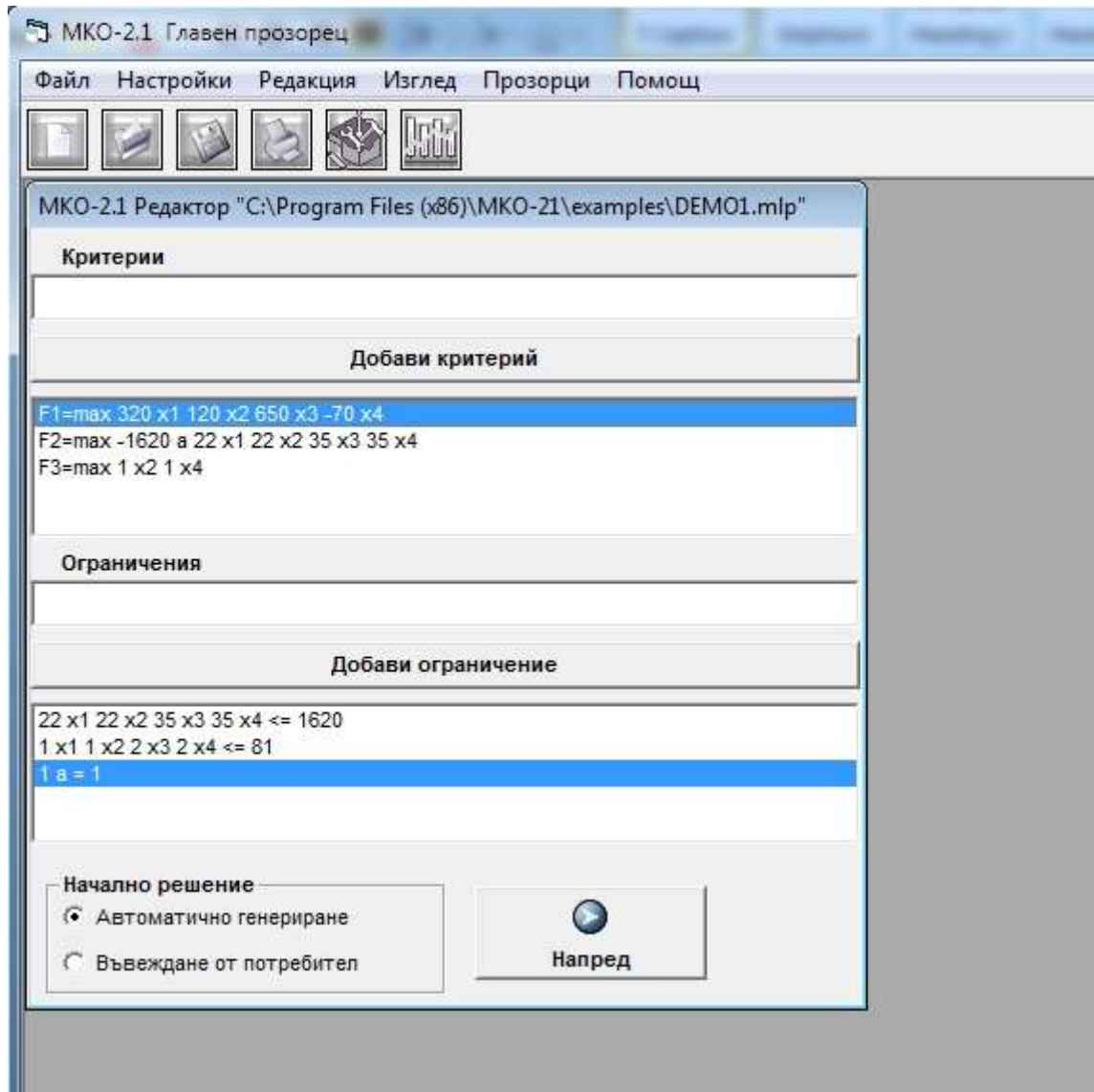
2.4. Работа със системата МКО-2.1.

Системата МКО-2.1 работи под операционна система MS Windows. При стартирането се отваря прозорец “МКО-2.1 Главен прозорец”, съдържащ лента с шест главни менюта – Файл, Настройки, Редакция, Изглед, Прозорци и Помощ и втора лента с икони за бърз достъп – Нов, Отваряне, Съхраняване, Печат, Настройки и Графика.

С помощта на команда “Нов” се отваря прозорец за въвеждане на нова задача, данните за която се записват от системата във файл с разширение “*.mlp”. Записът се осъществява с командите “Съхраняване” или “Съхраняване като”. Ако данните за задачата, която този файл съдържа, не са изцяло въведени или не е стартиран процесът за решаване на тази задача, с помощта на команда “Отваряне” се отваря прозорецът “МКО-2.1 Редактор”. В противен случай се отваря прозорец “МКО-2.1 Решаване”.

2.4.1. Въвеждане на задача

Въвеждането и корекцията на критериите и ограниченията на задачата се извършва в две отделни полета на прозореца “МКО-2.1 Редактор” (фиг. 2).



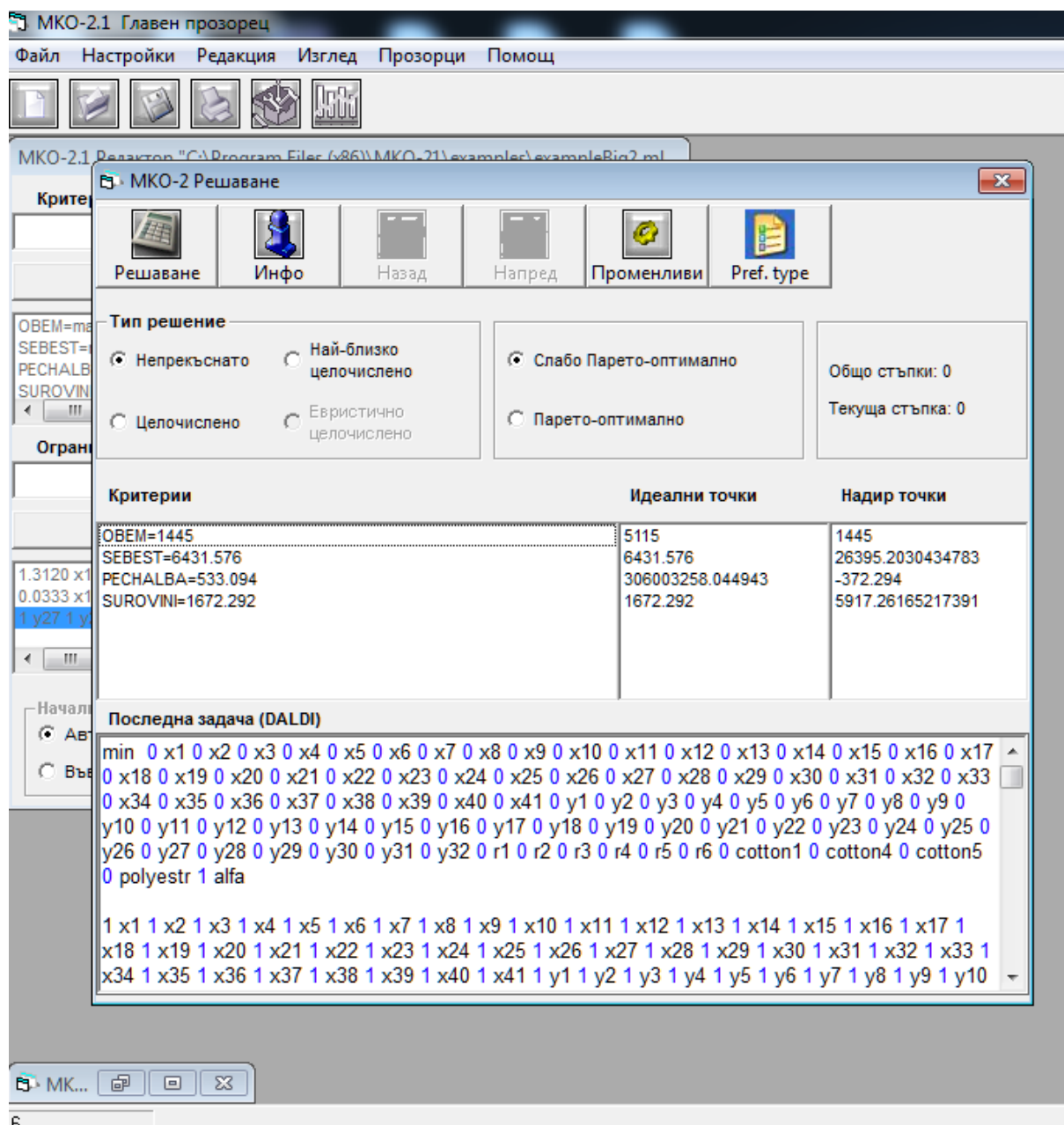
Фигура 2. МКО-2.1. - Редактор.

Чрез бутона „Напред“ се отваря прозорец “Информация за променливи”, в който се задава информация за типа и границите на изменение на променливите.

Следва интерфейс за указване как ще бъдат задавани предпочитанията на ЛВР в процеса на решаване на задачата. Начините на задаване на предпочитания са разделени на две основни групи – „Избор само на предпочитания“ и „Избор на предпочитания и метод“. При избиране на опцията „Избор на предпочитания и метод“, освен начина на задаване на предпочитания, вече може да се избира и конкретен метод, което прави опцията подходяща за използване от потребители на вече по-високо експертно ниво.

2.4.2. Решаване на задачата за многокритериална оптимизация

Решаването на линейни и линейни целочислени многокритериални задачи се осъществява чрез 12 помощни прозореца в интерфейсия модул “МКО-2.1 Решаване” (фиг. 7). Всеки от тях е ориентиран за работа с един от 12-те интерактивни алгоритъма.



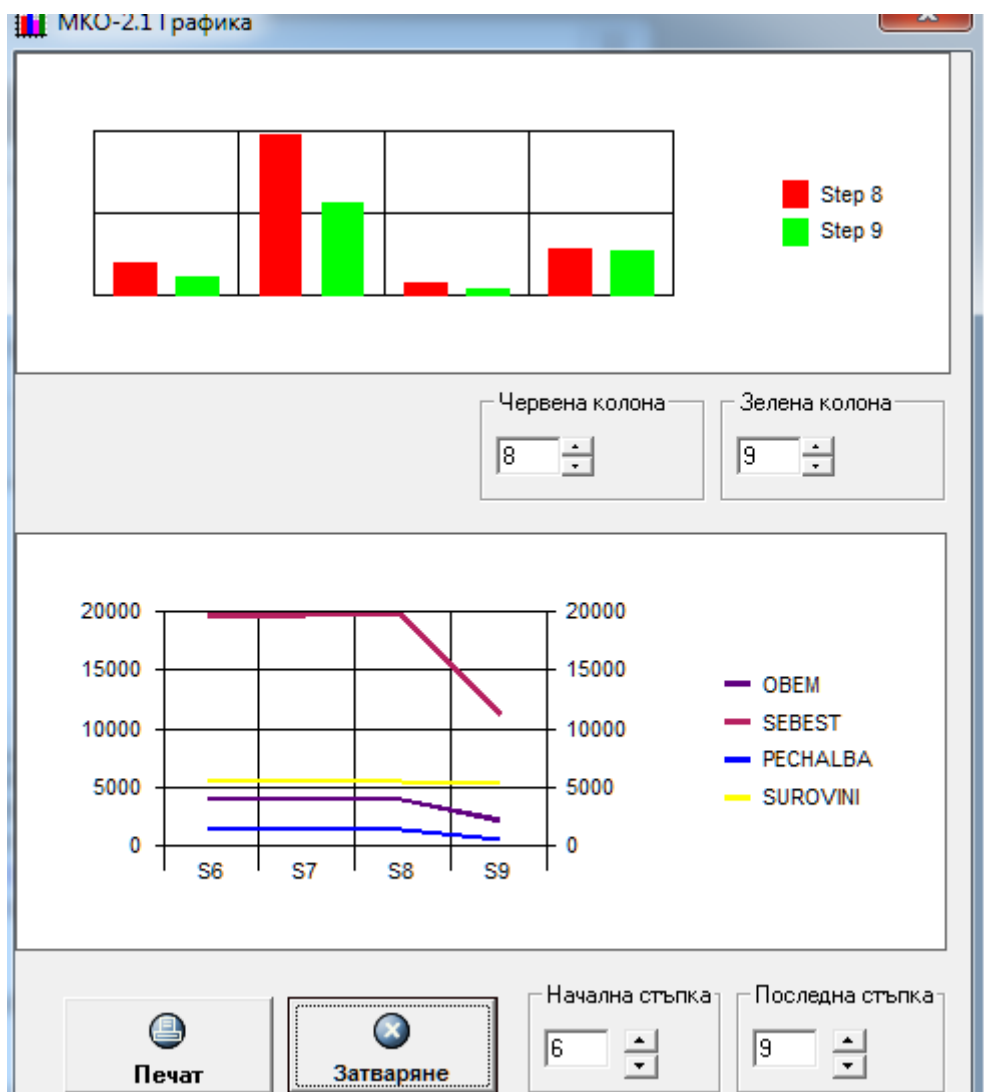
Фигура 7. МКО-2.1. – Решаване на задачата.

В горната част на основния прозорец за решаване е разположена лентата с бутоните, с които се реализират основните функции на процеса на интерактивно решаване на линейни и линейни целочислени задачи на многокритериалната оптимизация.

2.4.3. Настройки

Системните настройки на системата МКО-2.1. могат да бъдат променени с помощта на меню “Настройки”, съдържащо три команди – , “Език”, “Глобални променливи” и “Файлови асоциации”.

Графика: избирането на команда “Графика” позволява да се визуализират два типа графична информация за процеса на решаването на задачата (фиг. 10). Чрез горната бар – графика може да се направи визуално сравнение на решенията, намерени на две итерации, избрани чрез полетата под нея за избор на итерации. Чрез долната графика може визуално да се проследи промяната на стойностите на отделните критерии на различни итерации от интерактивния процес на търсене на по-добро решение.



Фигура 10. МКО-2.1. – Графика за визуализация на процеса на решаване.

ГЛАВА III. ПРОГРАМНА СИСТЕМА WEBOPTIM

В главата са описани разработките направени за целите на уеб базираната СПВР WebOptim. Това включва: цялостната софтуерна архитектура на системата; архитектура на базата данни; интерфейсни модули; управляващ модул; модул сигурност и управление на потребителите; модул за управление и поддръжка на изчислителните подмодули (решатели); междинна система за вътрешномодулна комуникация; публичен API модул за връзка и обмен на данни с външни системи. Направено е и подробно описание на работата със системата. Резултатите са представени в публикации с номера 2, 4 и 6.3.1. **Предназначение на системата WebOptim**

Програмната система WebOptim е естествен наследник на системата МКО-2.1 и е създадена с идеята да бъде съвременна, изцяло уеб базирана и по този начин да предостави лесен и свободен достъп до възможно най-голям брой потребители. Другите две основни цели при проектирането на системата са да може лесно да се добавят нови изчислителни модули, имплементиращи различни алгоритми и осигуряване на връзка за обмен на данни с други независими външни системи.

3.2. Структура на системата WebOptim Системата WebOptim е изградена на модулен принцип и съдържа следните основни модули:

- База данни
- Интерфейсни модули
- Модул сигурност и управление на потребителите
- Изчислителни подмодули (решатели)
- Модул за управление и поддръжка на изчислителни подмодули (решатели)
- Междинна система за вътрешно-модулна комуникация.
- Публичен API модул за външна връзка с други независими софтуерни системи.

Системата е разработена чрез използване изцяло на Майкрософт технологии:

- MS SQL Server

- MS.NET framework
- MS Visual Studio version 10

За съхранението на цялата информация относно потребителите, решаваните задачи, метаданните касаещи различните методи и решатели се използва релационна база данни, базирана на MS SQL Server.

3.3. Основни компоненти в WebOptim

- Модул управление на потребители и сигурност
- Модул за управление и поддръжка на решаващи подмодули (решатели)
- Междинна система за вътрешно-модулна комуникация
- Публичен API модул за външна връзка с други независими софтуерни системи

3.4. Работа със системата WebOptim

Тъй като системата е изцяло уеб-базирана, от потребителска гледна точка не се изисква нищо друго, освен свързаност с Интернет и уеб браузер

Първата стъпка е да бъде регистриран персонален профил на потребителя. Това става чрез стандартна уеб форма и въвеждане на идентификационни данни за потребителя – адрес за електронна поща, потребителско име и парола. След като тази стъпка е изпълнена, вече може да се пристъпи към работа със системата. След успешен вход в системата, потребителят попада в интерфейс, съдържащ списък със задачи, чийто собственици са избрали те да бъдат публично достъпни (фиг.15).

Home Members area Browse public problems Solvers Syntaxes Public API About							
My Problems My MC Problems		LIST OF PUBLIC PROBLEMS.					
	Title	Created on	Status	Sent to solver on	Syntax	Use solver	
Preview	LP test big	6/6/2011 4:42:06 PM	Solution obtained	3/23/2012 8:26:23 PM	lp	LP Solve	
Preview	MPS Test	6/9/2011 9:41:24 AM	Solution obtained	3/23/2012 8:26:21 PM	mps	LP Solve	
Preview	CPLEX test	6/11/2011 1:21:11 AM	Solution obtained	3/23/2012 8:26:19 PM	lpt	LP Solve	
Preview	Планиране производството на играчки	8/24/2011 2:50:53 PM	Solution obtained	8/26/2011 1:22:26 PM	lp	LP Solve	
Preview	Задача за работен график	8/25/2011 4:07:37 PM	Solution obtained	8/26/2011 1:38:30 PM	lp	LP Solve	
Preview	Задача за работен график	8/25/2011 4:12:00 PM	New		lp	LP Solve	
Preview	Краткосрочно финансово планиране	8/26/2011 2:18:14 PM	Solution obtained	4/3/2012 2:41:36 PM	lp	LP Solve	
Preview	Задача за смеси	8/30/2011 11:18:32 AM	Solution obtained	8/31/2011 11:51:47 AM	lp	LP Solve	
Preview	Задача за тримесечно планиране	8/31/2011 2:46:02 PM	Solution obtained	5/7/2012 11:51:19 AM	lp	LP Solve	
Preview	Задача за инвестиционна стратегия	9/2/2011 4:00:36 PM	Solution obtained	9/2/2011 4:26:59 PM	lp	LP Solve	

Фигура 15. WebOptim – Списък с общодостъпни задачи.

Тук се дава възможност да бъдат прегледани и изследвани тези задачи, което се оказва от огромна помощ за новите потребители на системата и такива, които все още нямат достатъчно опит в работата със системата или решаването на оптимизационни задачи.

Потребителската част на системата се състои от два основни интерфейса – за решаване съответно на задачи за еднокритериална или многокритериална оптимизация.

3.4.1. Решаване на задачи за еднокритериална оптимизация

Решаването на задачи за еднокритериална оптимизация в системата WebOptim се извършва в секцията „My problems“. Основния екран, който се зарежда първоначално представлява списък със дефинираните задачи на потребителя и някои от по-важните им атрибути като дата на създаване, статус на задачата (нова, в процес на решаване, решена, грешка) и т.н.(фиг. 16).

MY LP PROBLEMS

	ID	Title	Created on	Status	Sent to solver on	Syntax	Use solver	
Select Send to solver	113	Test MO 3 Predachen cech	4/13/2016 1:22:15 PM	Solution obtained	4/13/2016 1:22:29 PM	lp	GENS-IM	Delete
Select Send to solver	92	Test MO 3 Predachen cech	7/13/2015 7:11:27 PM	Solution obtained	7/13/2015 7:13:12 PM	lp	GENS-IM	Delete
Select Send to solver	41	cplex	9/12/2011 5:32:19 PM	Solution obtained	11/22/2012 3:49:11 PM	lpt	GENS-IM	Delete
Select Send to solver	19	CPLEX test	6/12/2011 2:29:02 PM	Solution obtained	3/23/2012 8:26:15 PM	lpt	GENS-IM	Delete
Select Send to solver	18	CPLEX test	6/12/2011 2:23:58 PM	Solution obtained	3/23/2012 8:26:17 PM	lpt	GENS-IM	Delete
Select Send to solver	16	CPLEX test	6/11/2011 1:21:11 AM	Solution obtained	3/23/2012 8:26:19 PM	lpt	GENS-IM	Delete

Фигура 16. WebOptim – Списък със задачи за еднокритериална оптимизация

Създаването на нова задача или редактиране на съществуваща такава се извършва чрез интерфейс за дефиниране на задачи за еднокритериална оптимизация (фиг. 17).

problem_id	19
Title	CPLEX test
created_on	6/12/2011 2:29:02 PM
Status	Solution obtained
Sent to solver on	3/23/2012 8:26:15 PM
Description	CPLEX test problem
Public problem	<input type="checkbox"/>
Syntax	LP - CPLEX
Solver	GENS-IM
Definition	<pre> Maximize obj: x1 + 2 x2 + 3 x3 + x4 Subject To c1: - x1 + x2 + x3 + 10 x4 <= 20 c2: x1 - 3 x2 + x3 <= 30 c3: x2 - 3.5 x4 = 0 Bounds 0 <= x1 <= 40 2 <= x4 <= 3 General x4 </pre>

Фигура 17. WebOptim – Създаване и редакция на задачи за еднокритериална оптимизация.

След като задачата е дефинирана и записана, следва изпращане към модула за решаване. На следваща стъпка се получава решението. Информацията за него е представена в две части – основна и разширена. Основната част съдържа стойностите на променливите и целевата функция, а разширената съдържа подробна информация, отнасяща се до самия процес на решаване – използвания метод, брой итерации, междинни решения и др. (фиг. 19).

Solution	<pre>Objective value:122.5 c1: 20 c2: 28 c3: 0 c1: 40 x1: 40 x2: 10.5 x3: 19.5 x4: 3</pre>
Debug info	<pre>OPTIMAL Model name: '' - run #1 Objective: Maximize(obj) SUBMITTED Model size: 3 constraints, 4 variables, 9 non-zeros. Sets: 0 GUB, 0 SOS. CONSTRAINT CLASSES General REAL 1 General MIP 2 Using DUAL simplex for phase 1 and PRIMAL simplex for phase 2. The primal and dual simplex pricing strategy set to 'Devex'. Found feasibility by dual simplex after 3 iter. Relaxed solution 125.208333333 after 6 iter is B&B base. Feasible solution 122.5 after 7 iter, 1 nodes (gap 2.1%) get_ptr_sensitivity_objex: Sensitivity unknown Primal objective: Column_name Value Objective Min Max</pre>

Фигура 19. WebOptim – Получаване на решение на задача за еднокритериална оптимизация.

3.4.2. Решаване на задачи за многокритериална оптимизация

Решаването на задачи за многокритериална оптимизация в системата WebOptim се извършва в секцията „My MCP problems“. Основния екран, който се зарежда е много подобен на този за решаване на задачи за еднокритериална оптимизация и съдържа същите атрибути. Интерфейсът за описание и дефиниране на задачата също е много подобен на този за еднокритериалната оптимизация (фиг. 21).

Select 1 test 1		6/19/2013 5:18:16 PM		New		lp		GENS-IM		Delete	
		Update		Cancel							
problem_id	19										
Title	Производство на фотоапарати										
created_on	7/15/2016 4:11:04 PM										
Status	New										
Sent to solver on											
Description	<p>Фабрика за фотоапарати произвежда 2 модела фотоапарати - стандартен и луксозен. Продукцията им е предназначена както за вътрешния, така и за международния пазар. Производствения процес определя съответни зависимости между човешката работната сила и машинното време за даден период.</p> <p>Целта е да се оптимизира производствения процес, имайки предвид, че марката стартира промоционална компания с цел да наложи името си на международния пазар.</p>										
Problem Definition	<pre> max Z1 = 320 x1 120 x2 650 x3 70 x4 min Z2 = 1620 a 22 x1 22 x2 35 x3 + 35 x4 max Z3 = x2 x4 22 x1 + 22 x2 + 35 x3 + 35 x4 <= 1620 x1 + x2 + 2 x3 + 2 x4 <= 81 a = 1 x1 >= 1 x2 >= 1 x3 >= 1 x4 >= 1 </pre>										
Public problem	<input checked="" type="checkbox"/>										
Syntax	LP - LPSolve										
Solver	GENS-IM										

Фигура 21. WebOptim – Създаване и редакция на задачи за многокритериална оптимизация

Подобно на системата МКО-2.1., в WebOptim са имплементирани общо 10 „aposteriori“ методи за решаване на задачи за многокритериална оптимизация. Процесът продължава докато ЛВР приеме едно от всичките решения за крайно.

По този начин и в тази част на системата се извършва целия интерактивен процес на търсене на решение стъпка след стъпка (фиг. 34).

Select preference type

WS - scalarising problem of weighted sum
 Input parameters: The DM sets weights for each objective function
 Output parameters: one supported Pareto optimal solution.

Help

Requirements

Step: 4/4

Min/Max	x1	x2	x3	x4	a	Ideal	Nadir	Step1	Preference	Step2	Preference	Step3	Preference	Step4	Preference
Z1 = Max:	320	120	650	70	0	25535	1160	25535	Improve	25530	Improve	25530	Worse	22930	undefined
Z2 = Min:	22	22	35	35	1620	114	1619.999	1426.5	Worse with 5.0000	1431	Worse with 4.0000	1431	Interval -1.0000,1,300.0000	1291	undefined
Z3 = Max:	0	1	0	1	0	70.4545	2	2	Worse to 1.0000	2	Worse with 3.0000	2		2	undefined
a = Max:	0	0	0	0	0	0	0	0	Worse to 1.0000	0	Worse with 3.0000	0	Worse	0	undefined

Last Error:

Result

```
An optimal solution was obtained.
x1=2.0000 x2=1.0000 x3=34.0000 x4=1.0000 a=0.0000
Scalarized problem: (DALDI/Pure Integer)
Min: Alfa
320 x1 +120 x2 +650 x3 +70 x4 +25530 Alfa >= 25530
22 x1 +22 x2 +35 x3 +35 x4 +1620 a >= -1
22 x1 +22 x2 +35 x3 +35 x4 +1620 a <= 1300
0.01 Alfa >= 0
22 x1 +22 x2 +35 x3 +35 x4 <= 1620
x1 + x2 +2 x3 +2 x4 <= 81
x1 >= 1
x2 >= 1
x3 >= 1
x4 >= 1
a >= 0
```

Фигура 34. WebOptim – Основен интерфейс за търсене на Парето-оптимални решения.

3.4.3. Интерфейс за връзка с външни системи

WebOptim дава възможност за работа с външни системи чрез т.нар. уеб услуги.

По този начин процесът на работа вече не е обвързан с локалния потребителски интерфейс на системата. Чрез технологията на уеб услугите (web services) се предоставя машинен достъп до всички функционалности на системата. Всичката необходима информация за осъществяване на комуникацията със системата е дадена в раздела „Public API“ на главното меню на WebOptim.

ГЛАВА IV. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ – РЕШАВАНЕ НА ЗАДАЧА ЗА ОПЕРАТИВНО ПЛАНИРАНЕ ЧРЕЗ МНОГОКРИТЕРИАЛНА ОПТИМИЗАЦИЯ

В тази глава основната цел е да се тестват и валидират разработените системи и имплементираните в тях алгоритми за многокритериална оптимизация. Работоспособността на системите е доказана чрез решаване на реален пример за многокритериална оптимизация и съпоставяне на резултатите с тези, получени чрез решаване на същата задача с друга независима подобна система. Резултатите от експерименталната постановка са описани в публикация номер 3.

4.1. Описание на задачата

Фабрика за фотоапарати произвежда 2 модела фотоапарати - стандартен и луксозен. Продукцията им е предназначена както за вътрешния, така и за международния пазар.

Производствения процес определя съответни зависимости между човешката работната сила и машинното време за даден период. Тези зависимости са описани в таблица 2.

<i>Параметър</i>	<i>Часове човешки ресурс</i>	<i>Часове машинен ресурс</i>	<i>Продажна цена на вътрешен пазар</i>	<i>Продажна цена на международния пазар</i>
<i>Стандартен модел</i>	22	1	1000	800
<i>Луксозен модел</i>	35	0.5	1710	1130
<i>Ресурси на разположение</i>	1620	81		
<i>Цена на ресурса</i>	30	20		

Таблица 2. Параметри на задачата

Цел: Да се оптимизира производствения процес, имайки предвид, че марката стартира промоционална компания с цел да наложи името си на международния пазар.

Задачата е решена с помощта на софтуерната система МКО-2.1 и методът DALDI.

4.2. Построяване на математически модел на задачата

Параметри (променливи):

- x_1 : брой стандартни модели, произведени за вътрешния пазар
- x_2 : брой стандартни модели, произведени за износ
- x_3 : брой луксозни модели, произведени за вътрешния пазар
- x_4 : брой луксозни модели, произведени за износ

Целеви функции (критерии):

Да се максимизира печалбата (производствена цена - разходи):

$$\text{Max } Z_1 = 320 \cdot x_1 + 120 \cdot x_2 + 650 \cdot x_3 + 70 \cdot x_4$$

Където коефициентите пред всяко x , представляват разликата между продажната цена и производствените разходи и за получени чрез следната формула:

$$x_1: 1000 - (30 \cdot 22 + 20 \cdot 1) = 320$$

$$x_2: 800 - (30 \cdot 22 + 20 \cdot 1) = 120$$

$$x_3: 1710 - (30 \cdot 35 + 20 \cdot 0.5) = 650$$

$$x_4: 1130 - (30 \cdot 35 + 20 \cdot 0.5) = 70$$

Да се минимизират неоползотворените човечески часове или времето, през което персонала на фабриката ще стои незаем. Представлява минимизиране на разликата между наличния ресурс в човечески часове и сбора от необходимите човечески часове за производство:

$$\text{Min } Z_2 = 22 \cdot x_1 + 22 \cdot x_2 + 35 \cdot x_3 + 35 \cdot x_4 - 1620$$

Тъй като в тази функция съществува един свободен коефициент (1620), а синтаксисите за въвеждане на задача в МКО-2.1 не позволяват такива коефициенти, се налага добавянето на една допълнителна променлива, която ще бъде равна на 1: $a = 1$.

Максимизиране на бройката произведени фотоапарати за износ от двата модела:

$$\text{Max } Z3 = x2 + x4$$

Ограничения:

Ограничение на ресурса от часовете за човешка работна сила:

$$22*x1 + 22*x2 + 35*x3 + 35*x4 \leq 1620$$

Ограничение на ресурса за машинно време:

$$x1 + x2 + 2*x3 + 2*x4 \leq 81$$

Изискване за смисъл и целочисленост на променливите:

$$x1, x2, x3, x4: \text{ цели числа, } \geq 1$$

4.3. Решаване на задачата

Задачата е решена чрез системата МКО-2.1. При стартиране на процеса на решаване получаваме първоначално решение със следните данни за „идеален“ и „надир“ векторите (таблица. 3):

<i>Целева функция</i>	<i>Иделен вектор</i>	<i>Надир вектор</i>
Z1 (max)	25535	1160
Z2 (min)	-1506	-4.547
Z3 (max)	70.4545	2

Таблица 3. Стойности на идеалния и надир векторите

Системата генерира автоматично първоначално недоминирано решение и след като изберем най-близкото му целочислено решение, получаваме следните стойности на критериите и променливите (табл. 4 и табл. 5):

Z1	Z2	Z3
8960	-76	67

Таблица 4. Стойности на критериите

x1	x2	x3	x4
1	66	1	1

Таблица 5. Стойности на променливите

Това първоначално решение е наша отправна точка, а интерпретацията му е, че трябва да се произведат 66 бройки стандартни фотоапарати за износ и по 1 бройка от всички останали. Чисто икономически, това не ни задоволява като решение, тъй като дава прекалено голям приоритет само стандартния модел от апаратите за износ. Затова продължаваме да търсим ново Парето-оптимално решение, като решаваме да подобрим свободно критерия за печалба ($Z1$) за сметка на критерия, който максимизира износа ($Z3$). Вземайки предвид идеалната точка (70.4545) и надир точката (2) на критерия, който ще влошаваме, решаваме да позволим той да се влошава максимум до ниво 30. Критерият $Z2$, който се отнася до уплътняване на заетостта на работниците на тази стъпка ще го оставим да се променя свободно

Стартираме решаването на задачата с така зададените предпочитания и получаваме следните нови резултати (табл. 6 и табл. 7):

$Z1$	$Z2$	$Z3$
19790	-63	30

Таблица 6. Стойности на критериите

$x1$	$x2$	$x3$	$x4$
2	29	24	1

Таблица 7. Стойности на променливите

След още две стъпки решаваме окончателно, че в контекста на задачата реално за нас най-смислено изглежда решението на стъпка 2, а именно:

- 2 броя от стандартния модел за вътрешния пазар
- 29 броя от стандартния модел за износ
- 24 броя от луксозния модел за вътрешния пазар
- 1 брой от луксозния модел за износ

При това разпределение на производството, решението на нашата задача гарантира математически една балансирана стратегия по отношение на печалба,

уплътняване на работното време и изпълнение на условието за засилено производство за износ.

4.4. Сравнителен анализ на резултатите

За целта на сравнителния анализ, задачата е решена и с добилата голяма популярност уеб базирана система на университета в Яваскула, Финландия – WWW NIMBUS (wwwnimbus.it.jyu.fi).

Резултатите от решаването на задачата с двете софтуерни системи са представени обобщено в табличен вид (табл. 16):

Стъпка	Система	X1	X2	X3	X4	Z1	Z2	Z3	Избрано крайно решение
1	МКО-2.1	1	66	1	1	8960	-76	67	
1	Nimbus	1	27	11	1	10780	-584	28	*
2	МКО-2.1	2	29	24	1	19790	-63	30	*
2	Nimbus	2	1	38	1	25530	-189	2	
3	МКО-2.1	2	19	26	1	19890	-213	20	
3	Nimbus	51	19	1	1	19320	-10	2	
4	МКО-2.1	1	23	23	1	18100	-252	24	
4	Nimbus	1	1	38	1	25210	-211	2	

Таблица 16. Сравнение на резултатите получени от МКО-2.1 и NIMBUS

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. B. Staykov, F. Andonov (2019). "Practical decision making". Information Technologies and Control, Vol 4. 2018. ISSN: 1312-2622; Online ISSN: 2367-5357, DOI: 10.1515/itc-2018-0019, pp. 29-38.
2. Kirilov L., Guliashki, V., Staykov B. (2018). "Web-Based Decision Support System for Solving Multiple-Objective Decision-Making Problems", Technological Innovations in Knowledge Management and Decision Support, Chapter 7, ISBN13: 9781522561644, DOI: 10.4018/978-1-5225-6164-4.ch007, pp. 150-175.
3. Staykov, B. (2015). "Solving Multicriteria Optimization Problems with WebOptim Software System", Cybernetics and Information Technologies, Vol. 15, Issue 3, ISSN: 1311-9702, DOI: 10.1515/cait-2015-0049, pp. 165-177.
4. Kirilov, L., Guliashki, V., Genova, K., Zhivkov, P., Staykov, B., Vatov, D. (2015), "Interactive environment WebOptim for solving multiple-objective problems using scalarizing and evolutionary approaches", International Journal of Reasoning-based Intelligent Systems, Vol.7, Issue 1/2, ISSN 1755-0556, pp.4-15., SJR:0.21.
5. Kirilov, L., Guliashki, V., Genova, K., Vassileva, M., Staykov, B. (2013). "Generalized scalarizing model GENS in DSS WebOptim", International Journal of Decision Support System Technology, Vol. 5, Issue 3, ISSN: 1941-6296, DOI: 10.4018/jdsst.2013070101, pp. 1-11.
6. Genova, K., Kirilov, L., Gulisahski, V., Staykov, B., Vatov, D. (2011). "A prototype of a web-based decision support system for building models and solving optimization and decision making problems". CompSysTech '11 Proceedings of the 12th International

Conference on Computer Systems and Technologies, Vienna, Austria - June 16 - 17, 2011,
ISBN: 978-1-4503-0917-2, pp. 167-172.

7. Vassileva, M., Vassilev, V., Staykov, B., Dochev, D. (2007). "Generalized
Multicriteria Optimization Software System MKO-2.", Proceedings of the Ninth International
Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2007), Vol. AIDSS, ISBN 978-972-
8865-89-4, DOI: 10.5220/0002388402830288, pp. 283-288.

8. Stajkov, B. (2006). "Multiobjective Optimization Software System". Problems of
Engineering Cybernetics and Robotics, Vol.57, ISSN: 0204-9848, pp.21-30.

СПИСЪК НА ЗАБЕЛЯЗАНИ ЦИТИРАНИЯ НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

Забелязани са следните цитирания на статия номер 3:

1. Feyzioğlu, A., Kar, A. K. (2017). “Axiomatic Design Approach for Nonlinear Multiple Objective Optimizatон Problem and Robustness in Spring Design”, *Cybernetics and Information Technologies*, Vol. 17, Issue 1, ISSN: 1311-9702, DOI: 10.1515/cait-2017-0005, pp. 63-71. Цитирана под номер 2.
2. T. Tashev, V. Monov, R. Tasheva (2017). “Computer Simulations for Stability Analysis of a Numerical Procedure for Crossbar Packet Switch”, *Information Technologies and Control*, Vol. 15, Issue 3, ISSN: 1312-2622, pp. 7-11. Цитирана под номер 5.
3. T. Tashev, A. Bakanov, R. Tasheva (2016). “Верхняя граница пропускной способности коммутатора с матричным переключателем для входящего трафика типа модифицированной модели чанг-а”. Conference: University Annual Science Conference of National Military University 2016At: Veliko Turnovo, BulgariaV, ISSN 1314-1937, pp.107-116. Цитирана под номер 11.

Забелязани са следните цитирания на статия номер 6:

1. Sgurev V., Drangajov S. (2018). "Network Flows and Risks". In: Sgurev V., Jotsov V., Kacprzyk J. (eds) Practical Issues of Intelligent Innovations. Studies in Systems, Decision and Control, Vol 140. Springer, Cham, ISBN: 978-3-319-78437-3, pp. 53-88. Цитирана под номер 5.
2. Sgurev, V., Drangajov, S. (2016). "Decision making in intelligent resource networks under risk", Proceedings of IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems (IS), ISBN: 978-1-5090-1354-8, pp. 27-35. Цитирана под номер 10.
3. Sgurev, V., Drangajov, S. (2016). "Optimal Control of the Flow of Risk on Networks". Information Technologies and Control, Vol. 13, Issue 3-4, ISSN: 1312-2622, pp. 29-33. Цитирана под номер 10.
4. Sgurev V., Drangajov S. (2015). "Intelligent Control of Flows with Risks on a Network. In: Filev D. et al. (eds) Intelligent Systems'2014. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 323. Springer, Cham, ISBN: 978-3-319-11309-8, pp. 27-35. Цитирана под номер 9.
5. Sgurev V., Drangajov S. (2014). "A method for finding optimal network cycles under constraints at a tour of points under surveillance". Proceedings of "Advanced control and optimization: step ahead '2014", Bankya, Bulgaria, ISSN 1314-4634, pp. 34-39. Цитирана на 7-мо място.
6. Sgurev V., Drangajov S., Doukovska, L. (2014). "Maximum Message Flow and Capacity in Sensor Networks". In Proceedings of the Third International Conference on

Telecommunications and Remote Sensing (ICTRS 2014), ISBN: 978-989-758-033-8, pp. 74-

80. Цитирана на 7-мо място.

7. Sgurev V., Drangajov S. (2014). “Optimal Control of Mobile Agents for Monitoring of Points on a Network”. Information Technologies and Control, Vol. 11, Issue 2, ISSN:

1312-2622, pp. 2-6. Цитирана под номер 6.

Забелязани са следните цитирания на статия номер 8:

1. Branke, J., Deb, K., Miettinen, K., Slowinski, R. (2006). “Multiobjective optimization: Interactive and Evolutionary Approaches”. ISBN: 3-540-88907-8 Springer Berlin Heidelberg

NewYork. Цитирана в глава 12 на 18-то място.

РЕЗЮМЕ НА ПОСТИГНАТИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Получените резултати, описани в настоящия дисертационен труд, могат да се обобщят в следните научно-приложни приноси:

1. Систематизирани са множество методи за решаване на задачи за многокритериална оптимизация и са избрани конкретни от тях за алгоритмична и софтуерна реализация.
2. Разработени са синтаксис за дефиниране на линейни и линейно-целочислени задачи за многокритериална оптимизация със съответния програмен парсер за целите на реализираните СПВР.
3. Проектирани и разработени за управляващите и изчислителните модули на системата МКО-21 за работа под операционна система WINDOWS.
4. Проектирана и реализирана е общата архитектура, функционалните възможности и потребителския интерфейс на уеб базираната СПВР WebOptim.
5. За целите на системата WebOptim са разработени комуникационни модули за обмен на информация с външни системи.
6. Проведени са експериментални изследвания с които е доказана работоспособността на разработените системи.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Kirilov L., Guliashki, V., Genova, K. (2016). "Multicriteria Decision Making in Manufacturing Scheduling", Publusher Obrazovanie/Education/ Ltd, Sofia, 281 pgs., ISBN 978-954-552-074-7.
2. Jaskiewicz A., Slowinski R. (1997). "The LBS-Discrete Interactive Procedure for Multiple Criteria Analysis of Decision Problems", Multicriteria Analysis (J. Climaco, Ed.), Springer-Verlag, Berlin, ISBN: 978-3-642-64500-6, pp. 320-330.
3. White D. (1990) "A Bibliography of the Applications of Mathematical Programming Multiple Objective Methods", Journal of the Operational Research Society, Vol. 41, Issue 8, ISSN: 0160-5682, pp. 669-691.
4. Vincke P. (1992). "Multicriteria Decision-Aid", John Wiley & Sons, New York, ISBN: 978-0-471-93184-3, pp. 112-137.
5. Dyer J. (2004). "MAUT: Multiattribute Utility Theory", In: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. (J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, Eds), Springer Verlag, London, ISBN 978-0-387-23081-8, pp. 265-285.
6. Sawaragi Y., Nakayama H., Tanino T. (1985). "Theory of Multiobjective Optimization. Elsevier", ISBN: 0080958664, pp. 72-84.
7. Collette Y., Siarry P. (2013). "Multiobjective Optimization: Principles and Case Studies", Springer Science & Business Media. ISBN: 3662088835, pp. 77-98.
8. Sierksma G. (2001). "Linear and Integer Programming: Theory and Practice", ISBN-0-8241-0673-0, pp. 189-216.

9. Vassileva M. (2004). "A Learning-Oriented Method of Linear Mixed Integer Multicriteria Optimization. Cybernetics and Information Technologies, Vol 4. Issue 1, ISSN: 1311-9702, pp. 13-25.
10. Vassilev V., Genova K., Vassileva M., Narula S. (2004). "An Interactive Method of Linear Mixed Integer Multicriteria Optimization", International Journal on Information Theories and Applications, Vol. 11, Issue 1, Online ISSN: 1097-007X, pp. 73-78.
11. Miettinen, K., Kirilov, L. (2005). "Interactive Reference Direction Approach Using Implicit Parametrization for Nonlinear Multiobjective Optimization", Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, Vol.13, ISSN:1099-1360, pp. 115-123.
12. Miettinen K. (1999). "Nonlinear Multiobjective Optimization", Kluwer Academic Publishers, Boston. ISBN 978-1-4615-5563-6, pp. 146-158.
13. Ehrgott M., Wiecek M. (2004). "Multiobjective Programming", In: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, (J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, Eds), Springer Verlag. London, ISBN 978-0-387-23081-8, pp. 667-722.