

Abstracts of Dissertations

Institute of Information and
Communication Technologies

BULGARIAN ACADEMY OF
SCIENCES



4 / 2015



SINGLE- AND MULTICRITERIA
MODELS AND ALGORITHMS
FOR OPTIMAL DESIGN,
PLANNING AND MANAGEMENT
OF ENGINEERING SYSTEMS

Daniela Borissova

ЕДНО- И МНОГОКРИТЕРИАЛНИ
МОДЕЛИ И АЛГОРИТМИ ЗА
ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ,
ПЛАНИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА
ИНЖЕНЕРНИ СИСТЕМИ

Даниела Борисова

Автореферати на дисертации

Институт по информационни и
комуникационни технологии

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ISSN: 1314-6351

Поредицата „Автори-реферати на дисертации на Института по информационни и комуникационни технологии при Българската академия на науките“ представя в електронен формат автори-реферати на дисертации за получаване на научната степен „Доктор на науките“ или на образователната и научната степен „Доктор“, защитени в Института по информационни и комуникационни технологии при Българската академия на науките. Представените трудове отразяват нови научни и научно-приложни приноси в редица области на информационните и комуникационните технологии като Компютърни мрежи и архитектури, Паралелни алгоритми, Научни пресмятания, Лингвистично моделиране, Математически методи за обработка на сензорна информация, Информационни технологии в сигурността, Технологии за управление и обработка на знания, Грид-технологии и приложения, Оптимизация и вземане на решения, Обработка на сигнали и разпознаване на образи, Интелигентни системи, Информационни процеси и системи, Вградени интелигентни технологии, Йерархични системи, Комуникационни системи и услуги и др.

Редактори

Генадий Агре

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: agre@iinf.bas.bg

Райна Георгиева

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: rayna@parallel.bas.bg

Даниела Борисова

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: dborissova@iit.bas.bg

The series *Abstracts of Dissertations of the Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences* presents in an electronic format the abstracts of Doctor of Sciences and PhD dissertations defended in the Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences. The studies provide new original results in such areas of Information and Communication Technologies as Computer Networks and Architectures, Parallel Algorithms, Scientific Computations, Linguistic Modelling, Mathematical Methods for Sensor Data Processing, Information Technologies for Security, Technologies for Knowledge management and processing, Grid Technologies and Applications, Optimization and Decision Making, Signal Processing and Pattern Recognition, Information Processing and Systems, Intelligent Systems, Embedded Intelligent Technologies, Hierarchical Systems, Communication Systems and Services, etc.

Editors

Gennady Agre

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: agre@iinf.bas.bg

Rayna Georgieva

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: rayna@parallel.bas.bg

Daniela Borissova

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: dborissova@iit.bas.bg

Настоящото издание е обект на авторско право. Всички права са запазени при превод, разпечатване, използване на илюстрации, цитирания, разпространение, възпроизвеждане на микрофилми или по други начини, както и съхранение в бази от данни на всички или част от материалите в настоящето издание. Копирането на изданието или на част от съдържанието му е разрешено само със съгласието на авторите и/или редакторите

This work is subjected to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the materials is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, re-use of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in other ways, and storage in data banks. Duplication of this work or part thereof is only permitted under the provisions of the authors and/or editor.



BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

Abstract of DSci Thesis

SINGLE- AND MULTICRITERIA MODELS AND ALGORITHMS FOR OPTIMAL DESIGN, PLANNING AND MANAGEMENT OF ENGINEERING SYSTEMS

Daniela Ivanova Borissova

Approved by Supervising Committee:

Prof. Ivan Dimov

Prof. Todor Stoilov

Acad. Ivan Popchev

Acad. Vassil Sgurev

Corr. Memb. Krassimir Atanassov

Prof. Ivan Garvanov

Assoc. Prof. Svetla Vasileva



**Institute of Information and Communication
Technologies**

**Department of Information Processes & Decision
Support Systems**

The results included in the dissertation were presented and discussed at an extended session of the Department of Information Processes & Decision Support Systems, IICT-BAS, on June 16, 2015. It was decided that dissertation defense should take place.

The full volume of the dissertation is 254 pages. It consists of an introduction and eight chapters. The list of references contains 236 titles. The text of the dissertation includes 61 tables and 86 figures.

The dissertation is based on 33 scientific publications, of which there are over 89 independent citations.

Author:

Daniela Ivanova Borissova

Title:

Single- and Multicriteria Models and Algorithms for Optimal Design, Planning and Management of Engineering Systems

Keywords: *Single and multicriteria models, algorithms, optimal design of modular systems, optimal resource planning and management, engineering systems taking into account the existing relationships between modules, external operating conditions and economic effectiveness, decision support, web based applications*

Introduction

The object of research in the dissertation are the engineering systems, considered as systems of technical structures (machinery and equipment) and related manufacturing processes and operational conditions. During the design, planning and maintenance of any engineering system, it is necessary to make various technological and managerial decisions corresponding to the ultimate goal for maximizing the benefits. The actuality of the problem is due to the current trends in the design of highly efficient engineering systems that are to be competitive on the market and to meet different user requirements. Today, the modeling has great importance under conditions of rapid scientific and technical progress and necessity of high efficiency achievement with limited financial, material, labor, energy and time resources. Optimization applied to solving various engineering problems in the broadest sense, can be summarized in several directions as - optimal design, optimal planning and optimal control. The terms optimal design, optimal planning and optimal control are used in the sense of formulating and solving single and/or multicriteria optimization tasks in respect of specific criterion/s and subject to certain technical, technological, structural and others limitations.

Aim of the dissertation is to propose generalized single and multicriteria models, methods and algorithms supporting the optimal design, planning and management of engineering systems. To realize this goal it is necessary to perform the following tasks:

- to propose models, methods and algorithms for the optimal design of modular systems engineering, taking into account the existing relationships between modules, external operating conditions and economic efficiency,
- to propose models and algorithms for optimum utilization of resources,
- to propose models, methods and algorithms for optimal management of predictive maintenance,
- to propose methods and algorithms for reasonable choice of alternatives.

The dissertation is structured into eight chapters. **Chapter 1** provides an overview analysis of the mathematical apparatus necessary for solving of formulated single- and multicriteria optimization problems.

Chapter 2: Optimal design of modular engineering systems, taking into account the existing relationships between the modules

In this chapter is described a method for optimal design of modular engineering systems, taking into account the existing dependencies between modules. It is proposed generalized mathematical model to determine the optimal choice of modules for system design in compliance with all requirements for interoperability between modules. It can be used for design of modular engineering systems of such classes. The model is tested on a real life example, which is adequately representative for design of this class of systems - namely the configuration of personal computers (PC). The proposed method is used to formulate single objective optimization tasks reflecting different user requirements for the PC configuration of the (Mustakerov & Borissova, 2013). The results of numerical testing are shown in Table 2.4.

Table 2.4. Optimal PC configurations

#	User requirements				Optimal configurations			
	RAM	CPU clock	CPU core	RAID	MB	CPU	RAM	Cost BGL
1	≥ 2 GB	--	--	--	MB5	CPU1	RAM1: 2 x 1 GB	205.5
2	≥ 3 GB	≥ 2.5 GHz	≥ 2	--	MB2	CPU2	RAM2: 1 GB RAM5: 2 GB	297.0
3	≥ 4 GB	≥ 3 GHz	≥ 2	1 (yes)	MB1	CPU3	RAM5: 2 x 2 GB	584.5

The proposed model is also used to formulate some multicriteria optimization tasks for three different preferences of decision makers (DM) and the corresponding solution results are illustrated on Fig. 2.3 (Mustakerov & Borissova, 2013).

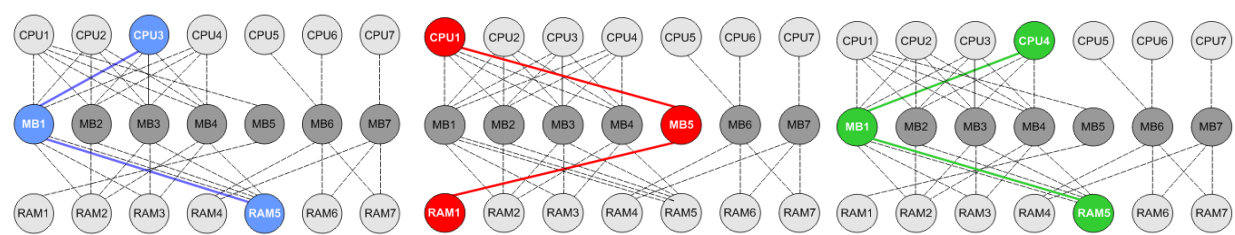


Fig. 2.3. Multicriteria solution results for 3 different user preferences:
a) DM-1; b) DM-2; c) DM-3

On the example of PC configuration an algorithm (Fig. 2.4) for engineering modular systems design taking into account interoperability relations of modules is described. It realizes various scenarios of modules choice to start designing and can be used for iterative and rational design approaches. The iterative design is based on presenting to the DM compatible modules sets to choose from. The rational design approach allows imposing of some DM requirements for modules parameters and presents to DM compatible modules sets complying with these requirements. The corresponding programming algorithms are described by pseudo codes (Mustakerov & Borissova, 2013).

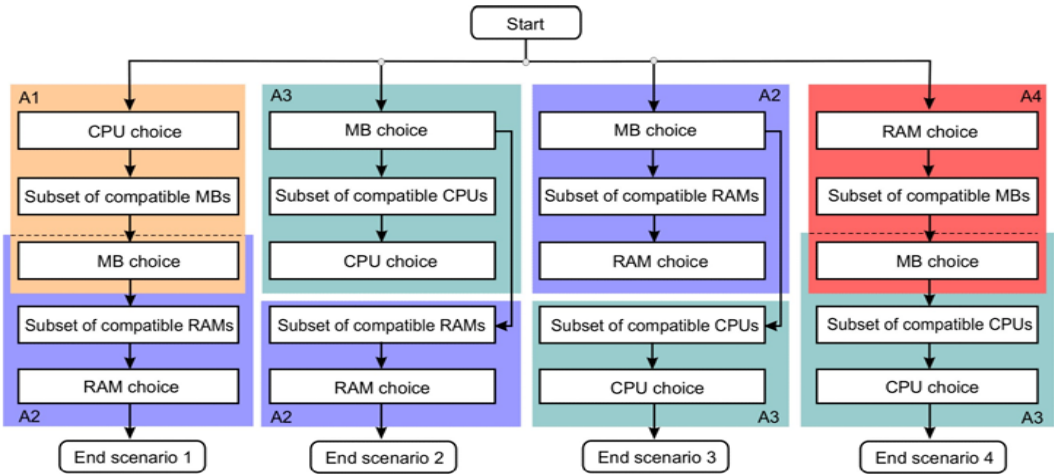


Fig. 2.4. Generalized algorithm for PC configuration design

The described models, methods and algorithms for iterative, rational and optimal design can be used for other modular engineering systems provided that the specifics of the particular system has been taken into account. Having in mind the advances in today computing, the formulated single and multicriteria tasks are capable to get optimal or Pareto-optimal solutions in sufficient reasonable time.

Chapter 3: Optimal design of modular engineering systems, taking into account the existing relationships between modules and external operating conditions

In this chapter are described results for optimal design of modular systems, taking into accounts both existing interconnections between modules and external operating conditions. To describe and test the proposed models, methods and algorithms for design of this class of modular systems night vision devices (NVD) are considered. Four basic types of investigations results are described: 1) deterministic, stochastic and generalized mathematical models for design of modular engineering systems, while taking into account the existing relationships between modules and external operating conditions, 2) models for defining the external operating conditions, that provide the same value of given functional parameter of the system, 3) iterative, rational and optimal methods for design of systems of this class, 4) a general algorithm for preliminary estimation of the designed systems parameters.

The proposed model for optimal design of NVD aims to select the best combination of modules to meet the specified requirements about the designed device (Mustakerov & Borissova, 2007) for two general cases of external surveillance conditions – deterministic or stochastic (Borissova & Mustakerov, 2009).

It is described multicriteria model for determining of external operating conditions (EOC) values providing the given value of some system parameter – working range for the example of NVD (Borissova et al., 2014). The numerical results for night vision goggles (NVG) and for night vision sight (NVS) are presented as graphs that can be used to determine compatible values of EOC for given working range value (Fig. 3.4, Fig. 3.5).

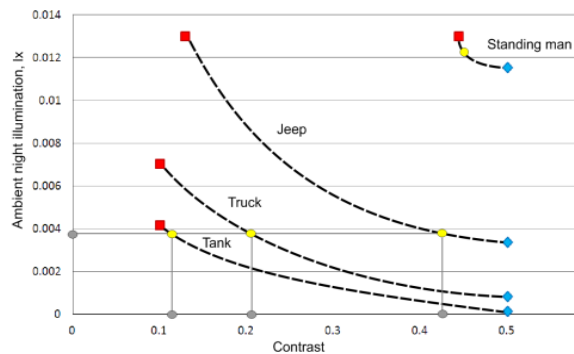


Fig. 3.4. Ranges of ambient night illumination and contrast for NVG with working range of 300 m

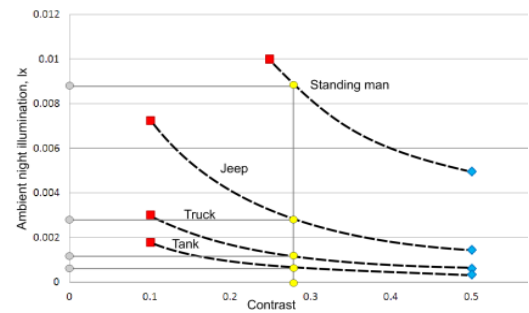


Fig. 3.5. Ranges of ambient night illumination and contrast for NVS with working range of 425 m

Minimal values of ambient light illumination, contrast and atmosphere transmittance under which some given NVD working range is provided are determined by another proposed multicriteria model (Borissova & Mustakerov, 2009). The combinations of light illumination and contrast under different atmosphere transmittance providing the working range of 325 m are shown in Fig. 3.6.

Three methods for design of that class of modular system – iterative, rational and optimal design are described. The method of iterative design allows DM to choose of compatible modules and to get preliminary estimations of the designed device parameters. If the DM is not satisfied other DM choice iteration can be performed. The rational choice method allows the DM to set some limits for the values of the designed device parameters.

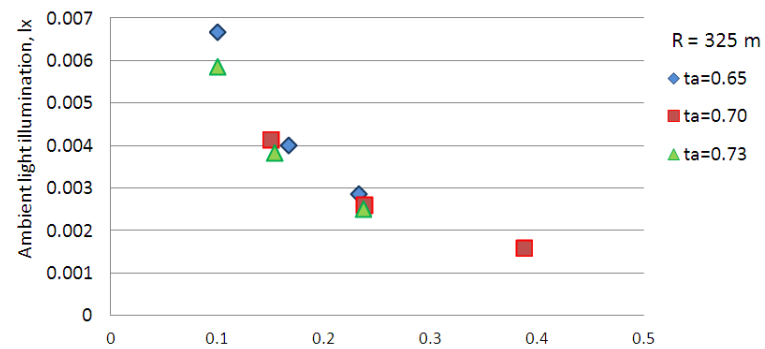


Fig. 3.6. Combinations of light illumination and contrast for different atmosphere transmittance providing working range of 325 m

These limits are satisfied by calculation of parameters for compatible modules combinations and search in sorted arrays of results (Mustakerov & Borissova, 2007). The method of optimal design differs from other methods by formulating and solving of proper optimization tasks. A generalized algorithm that implements the iterative and rational design aiming to assess the designed NVD parameters is proposed as shown in Fig. 3.13 (Borissova et al., 2013).

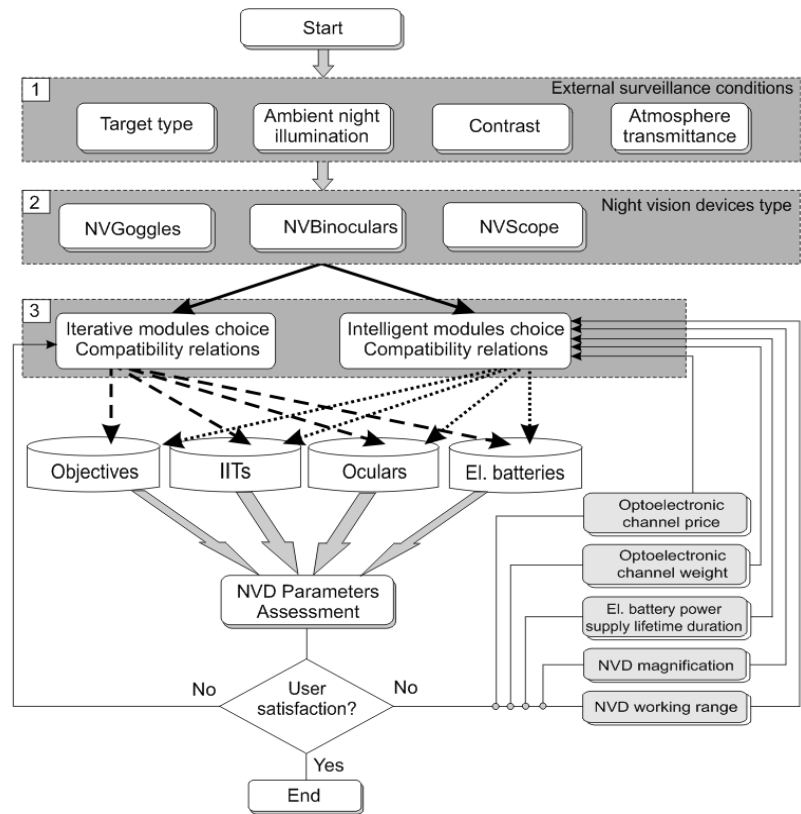


Fig. 3.13. Flowchart of algorithm for assessment of NVD design parameters

Chapter 4: Optimal design of complex engineering systems, taking into account existing relationships, external operating conditions and economic efficiency

In this chapter are described generalized methods and models for design of engineering systems considering not only the existing relationships between modules and external operating conditions but also providing of a sufficient economic efficiency. An adequate representative

example of such systems is the design of wind power plants. It is described optimization model used to formulate single and multicriteria optimization tasks for optimal design of wind power plants. The developed single criterion optimization model is approbated for design of wind power plants by determining of wind turbines type and number choice, and their placement considering the given wind conditions and wind park area (Mustakerov & Borissova, 2010; Mustakerov & Borissova, 2011). The numerical example results for different wind direction and area of 4 km² are illustrated on Fig. 4.8, Fig. 4.9 and Fig. 4.10.

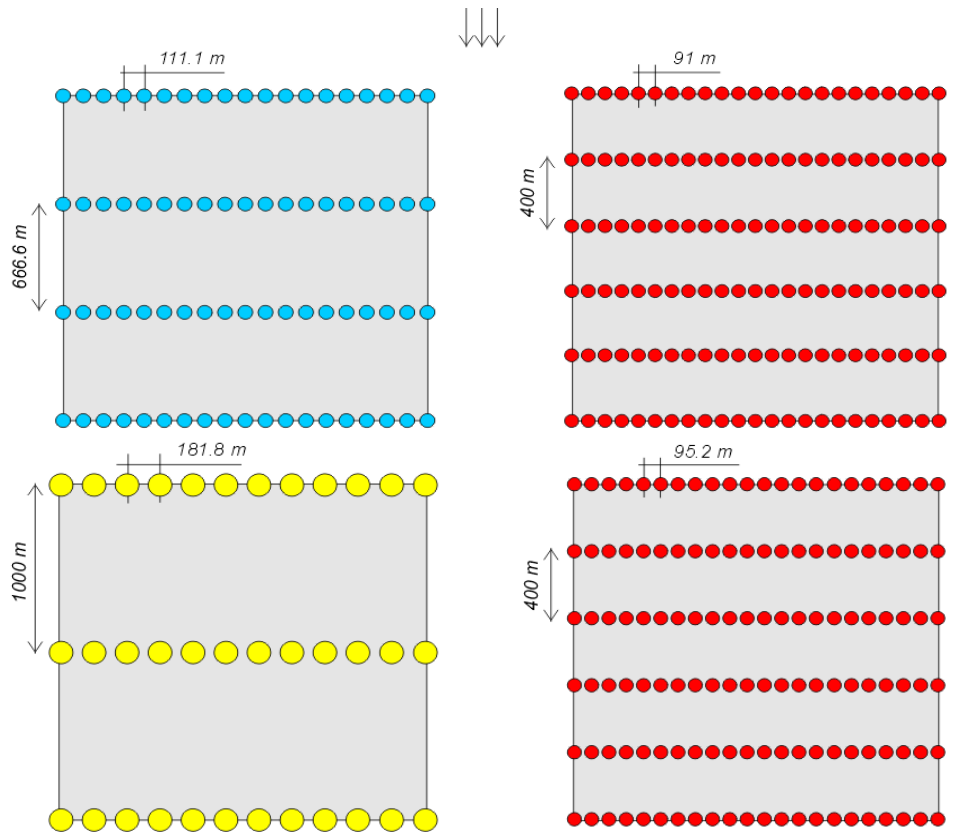


Fig. 4.9. Wind turbines locations for prevailing wind direction and square wind park area with dimensions $L_x = 4\text{ km}$, $L_y = 1\text{ km}$

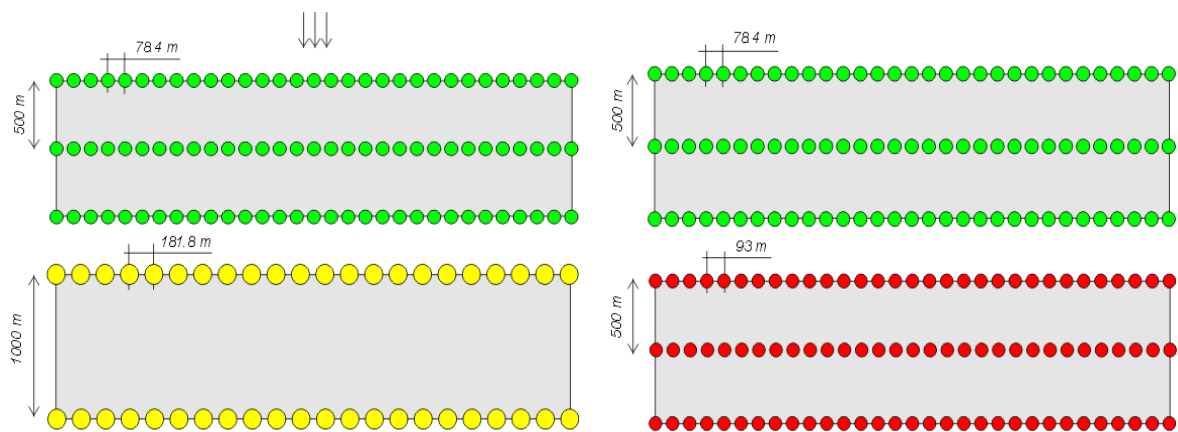


Fig. 4.8. Wind turbines locations for prevailing wind direction and rectangular wind park area with dimensions $L_x = 4\text{ km}$, $L_y = 1\text{ km}$

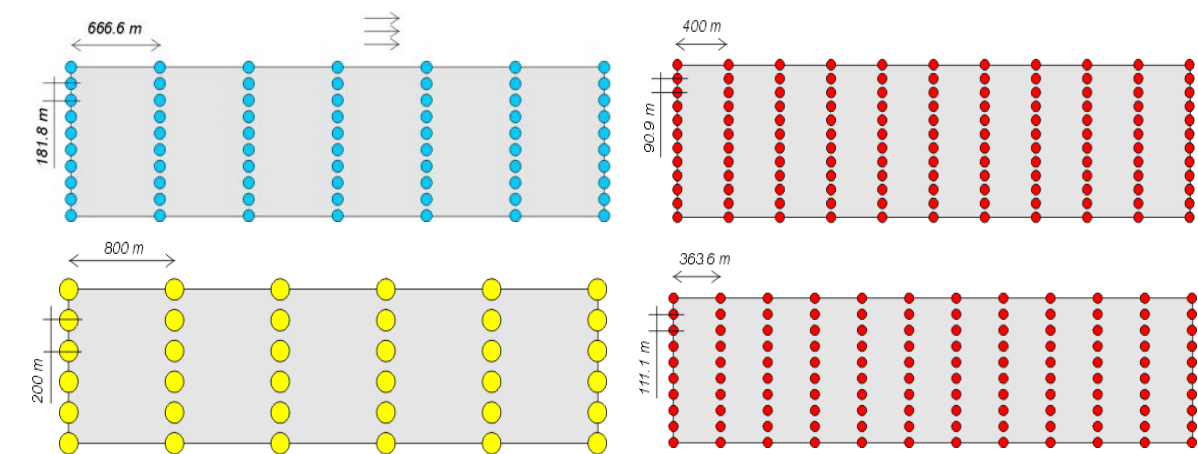


Fig. 4.10. Wind turbines locations for other prevailing wind direction and $L_x = L_y = 2\text{ km}$

The proposed multicriteria model is numerically tested by using of weighed sum method and lexicographical method and the corresponding results are shown in Fig. 4.18.

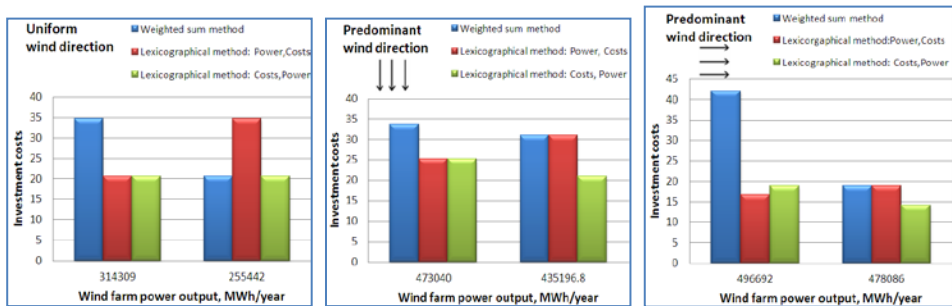


Fig. 4.18. Investment costs and expected power at different solution methods

The proposed multicriteria approach in designing of these type systems is implemented in a corresponding functional algorithm (Fig. 4.20).

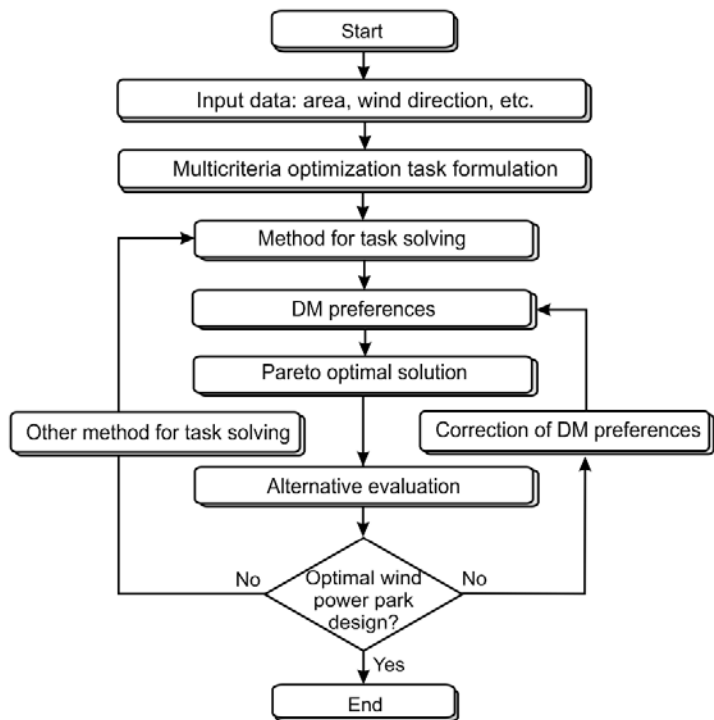


Fig. 4.20. Algorithm for multicriteria approach application

Chapter 5: Models and algorithms for optimal work schedules

In this chapter are described proposed models and algorithms for optimal planning of limited resources concerning: 1) determination of optimal work schedules for dependent details processing on multiple machines, 2) determination of optimal work schedules for mixed details processing (independent and dependent) on multiple machines, 3) one dimensional cutting stock problems 4) staffing problems in open shop environment.

The aim of the generalized model for determination of optimal work schedules for dependent processing of details on multiple machines is to minimize the overall processing time of details (Mustakerov & Borissova, 2008). The practical applicability of this model is tested on a real problem of Metalworking Company as shown in Fig. 5.1.

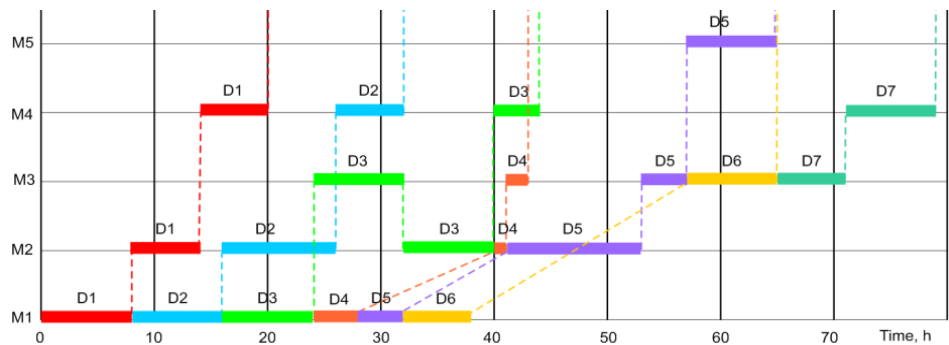


Fig. 5.1 Schedule for dependent details processing

Mixed details processing means that there exist a certain sequence processing only for some details, while for the other details the processing sequence is not fixed. A parallel algorithm for mixed details processing on multiple machines is proposed – Fig. 5.2 (Borissova & Mustakerov, 2014).

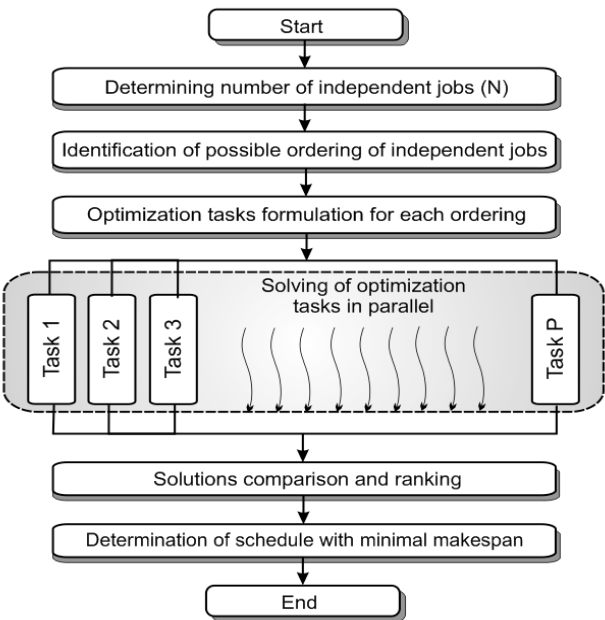


Fig. 5.2. Parallel algorithm for job shop scheduling

In contrast to the classical cutting stock problem (Kantorovich, 1960; Gilmore & Gomory, 1961; Gilmore & Gomory, 1963), the proposed generalized optimization model determines not only the optimal patterns for cutting of each blank according to the demand, but also determines the optimal length of blanks (Mustakerov & Borissova, 2014). Its applicability is tested for real problem where optimal cutting patterns for each of the blanks is shown in Fig. 5.5.

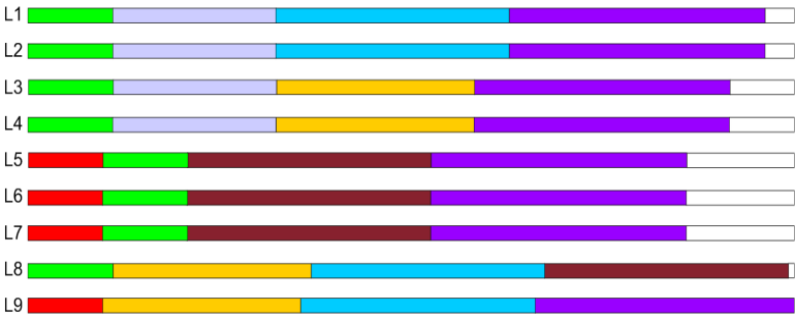


Fig. 5.5. Optimal cutting patterns for blanks with $L_{opt} = 6550$ mm and $\min$ waste = 4110 mm

The proposed generalized optimal staffing model is implemented in an algorithm (Fig. 5.7) that is numerically tested for a real manufacturing problem (Borissova & Mustakerov, 2013). The solutions results are shown in Table 5.8.

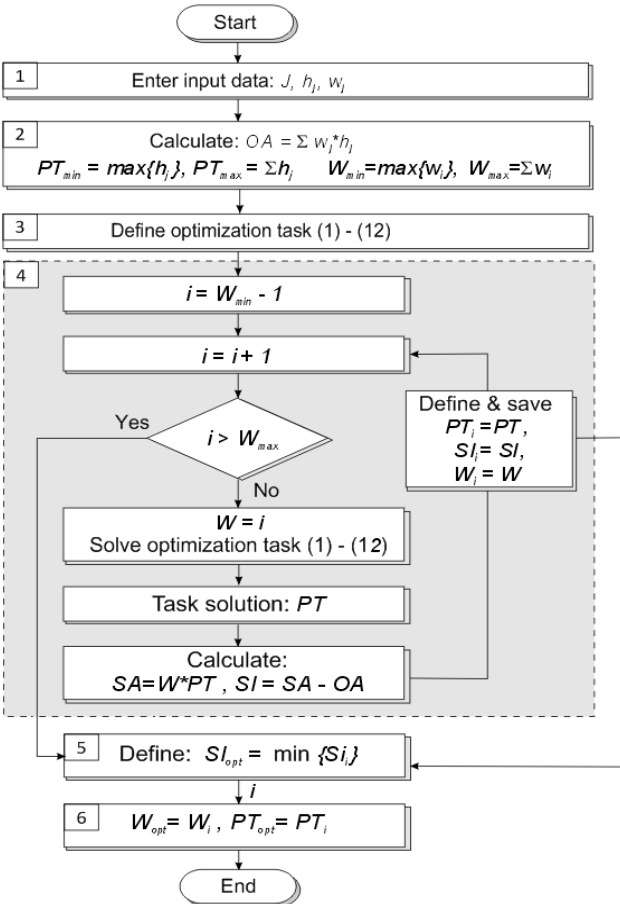


Fig. 5.7. Algorithm for determination of the optimum number of operators

Table 5.8. Numerical results of algorithm implementation

Solution #	Operators, number	Job processing time, hours	Staff idle, man-hours
4	4	45	46
5	5	35	41
6 (best)	6	25	16
7	7	25	41
8	8	25	66
9	9	20	46
10	10	20	66

Chapter 6: Models and algorithms for predictive maintenance

In this chapter are described proposed mathematical models and algorithms for predictive maintenance of engineering systems concerning: 1) determination of optimal strategy based on costs and benefits estimation for determination the best alternative for repair or replacement of the machine or its components; 2) determination of optimal strategy under uncertain conditions; 3) determination of optimal locations of given number of sensors; 4) determination of optimal number of sensors and their locations for given deviation of the data accuracy.

Two types of costs-benefits estimations are proposed and used to determine the proper maintenance strategy (Mustakerov & Borissova, 2013) realized in algorithm shown in Fig. 6.3.

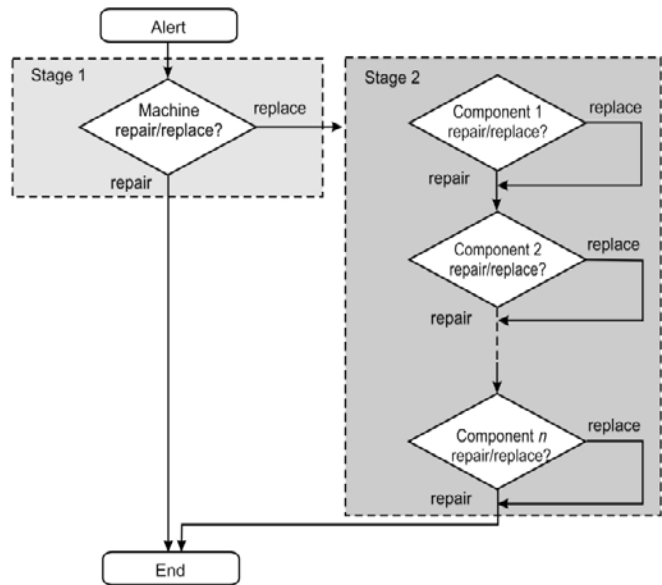


Fig. 6.3. Predictive maintenance decision making algorithm

On the first stage of algorithm a solution for best alternative (to repair the machine or to replace the machine) is taken as a result of proper optimization problem solving (Mustakerov & Borissova, 2013). If the alternative for repairing of machine is chosen on the 1st stage, on the second algorithm stage the strategy for repair or replacement of each component is determined by another optimization problem solving (Mustakerov & Borissova, 2013).

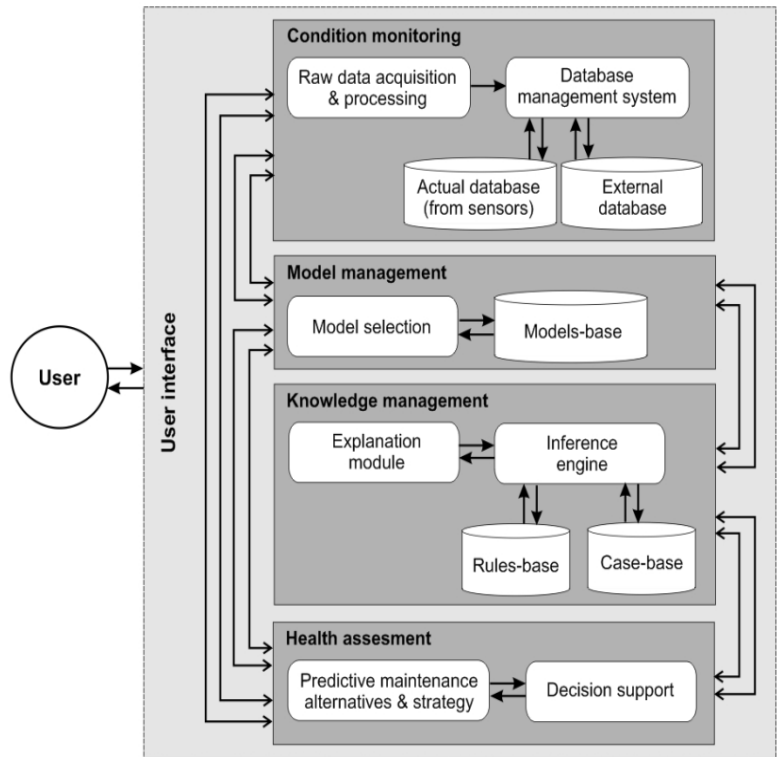


Fig. 6.4. Architecture of decision support system for predictive maintenance

A structure of decision support system for the purposes of predictive maintenance based on four main layers – condition monitoring, management models and the knowledge and assessment of the state is shown in Fig. 6.4 (Borissova & Mustakerov, 2013).

Combining the information of all layers with optimization approaches would assist the DM in his/her decision making for engineering systems maintenance under uncertainty or incomplete information conditions.

To conduct the system condition monitoring a number of sensors are to be properly located. A generalized single objective optimization model is proposed for the goal (Borissova et al., 2012) and the results for optimal placement of 9, 8, 7 and 6 sensors are shown in Fig. 6.8.

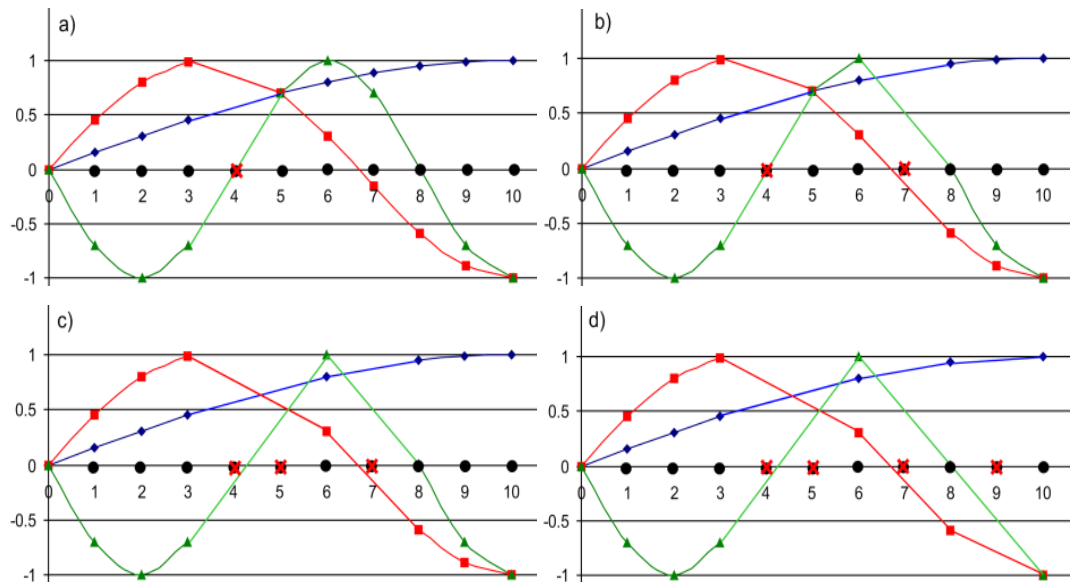


Fig. 6.8. Dynamic response functions for: a) 9 sensors, b) 8 sensors, c) 7 sensors, d) 6 sensors

The problem for optimal number and sensors locations is tackled by multicriteria optimization model (Mustakerov & Borissova, 2014). The results of Pareto optimal solutions by lexicographical method and given data accuracy are shown in Fig. 6.9.

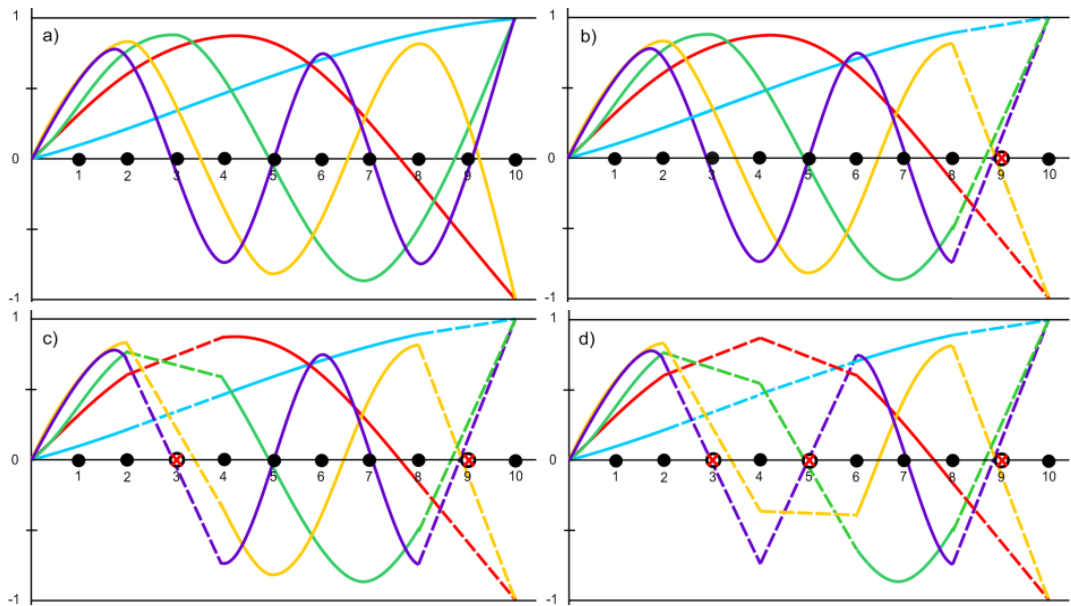


Fig. 6.9. Dynamic response functions for sensors data accuracy: a) $\alpha = 100\%$ (10 sensors); b) $\alpha = 98\%$ (9 sensors); c) $\alpha = 97\%$ (8 sensors); d) $\alpha = 95\%$ (7 sensors)

Chapter 7: Models and algorithms for reasonable choice of alternatives

In this chapter are described models and algorithms for reasonable choice of alternatives via: 1) ranking of alternatives, 2) determination of k-best alternatives, 3) choice of alternative considering the impact of the environment, 4) choice of alternative by group decision making.

The idea of the proposed alternatives ranking approach is to simulate the behavior of DM in terms of multicriteria selection by sequentially solving multiple multi-objective problems.

This is in contrast to the published *scoring models* (Nelson, 1986), *AHP* (Garcia-Cascales & Lamata, 2009), *ANP* (Saaty, 2005), *ELECTRE* (Wang & Triantaphyllou, 2008), *PROMETHEE* (Behzadian et al., 2010), *utility models* (Kalouptsidis et al., 2007), *TOPSIS* (Behzadian et al., 2012) and *axiomatic design* (Kulak et al., 2010). A general ranking algorithm based on multicriteria optimization (Fig. 7.1) is tested numerically for real life problems as: a) choice among 15 alternative cell phones using 8 criteria and 3 different DM preferences (Mustakerov & Borissova, 2013) with results illustrated in Fig. 7.2; b) ranking of countries economics by different indicators for business investments possibility (Mustakerov & Borissova, 2013) – Fig. 7.3.

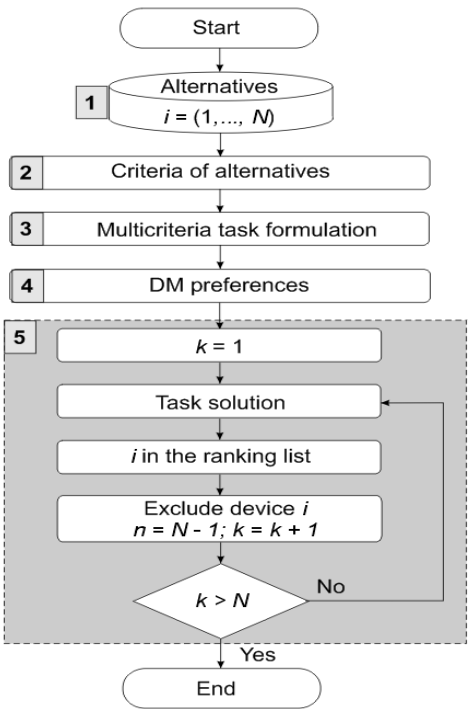


Fig. 7.1. Generalized algorithm for alternatives ranking

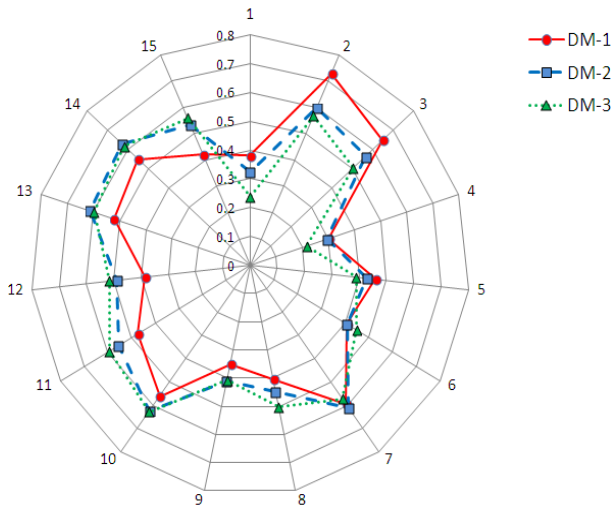


Fig. 7.2. Radar diagram for devices ranking

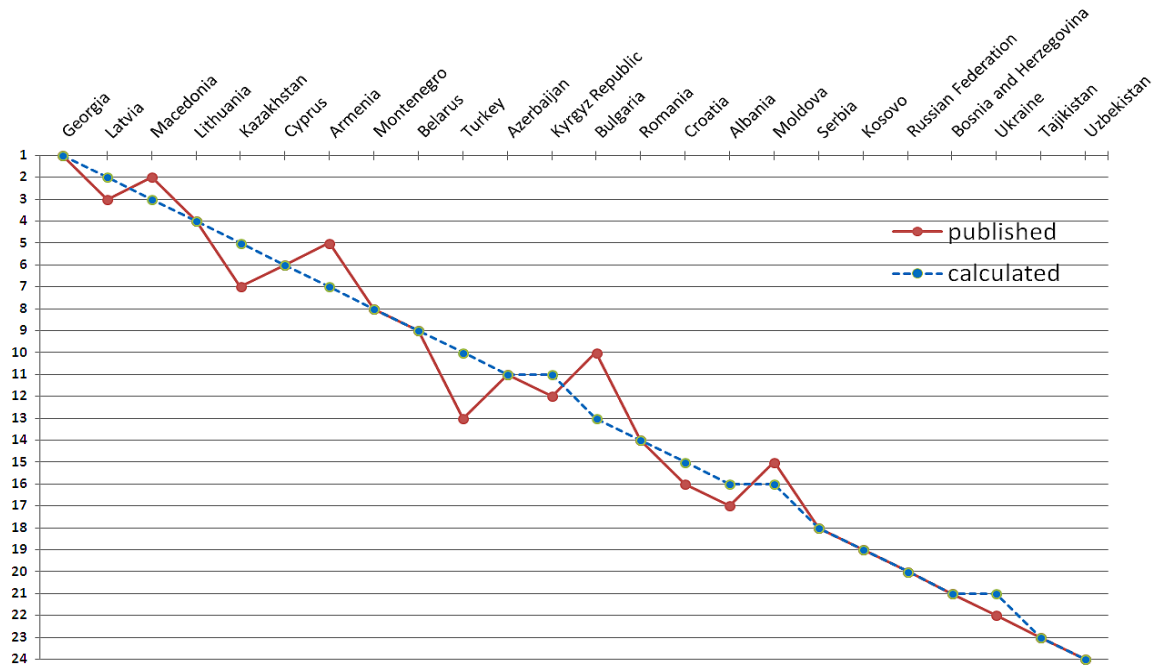


Fig. 7.3. Comparison of countries ranking by proposed approach with published by the World Bank results

The results for countries ranking are compared with results published by World Bank for 2012 year. The existing differences are due to the using by the World Bank statistical approach giving equal weight to each used topic for easiness of doing business while the proposed multicriteria optimization approach provides ranking based on Pareto optimal solution. The proposed approach allows looking for rankings when weights for topics are not equal. This allows adjusting the ranking solution to preferences of different investors.

The proposed in this chapter approach for determination of k-best devices is based on solution of a single multicriteria optimization task (Borissova & Mustakerov, 2013). This is in contrast to the known ranking methods where multiple pairwise comparisons and deviation between the evaluations of two alternatives on a particular criterion is considered. To support the DM in the final decision a procedure for evaluating each of these k-best alternatives toward an “ideal” device (when all criteria have reached their optimums) is proposed. The results for the example of determination of 5 best NVD accordingly 4 different DMs preferences are shown in Fig. 7.5.

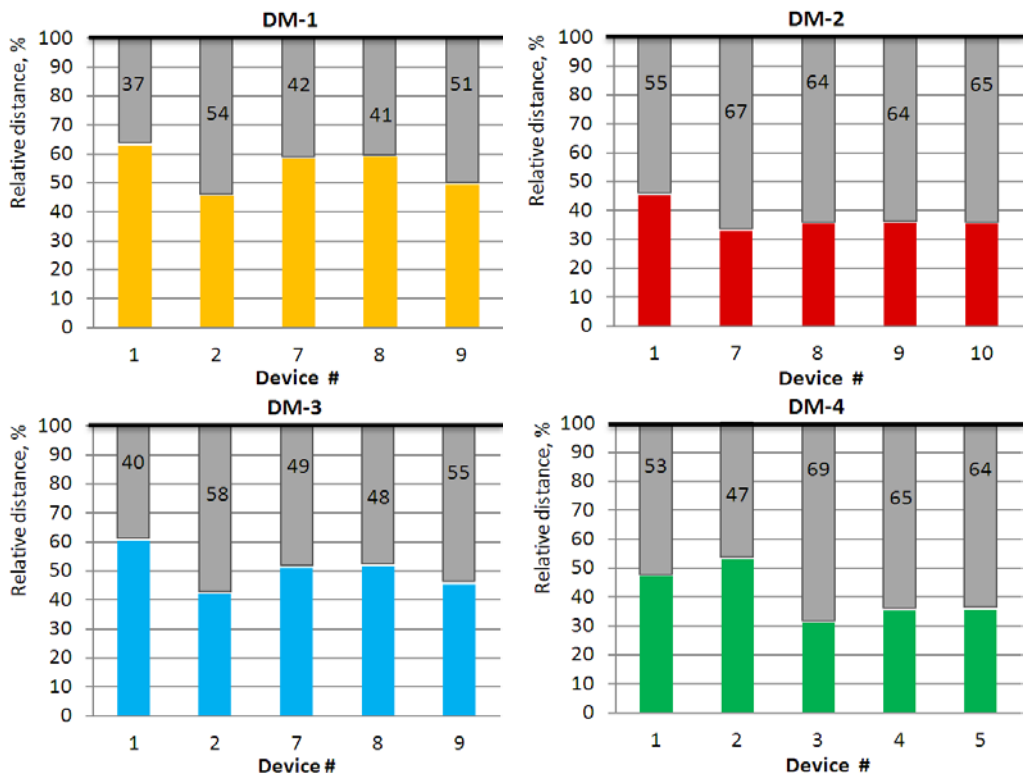


Fig. 7.5. 5-best NVD compared to “ideal” device for a) DM1 b) DM2 c)DM3 d)DM4

The choice of alternative considering the impact of the environment is based on multicriteria optimization model described by example of NVD choice considering: a) catalogue data and supposed external conditions; b) catalogue data and supposed external conditions plus some requirements of DM for device parameters (Borissova, 2008; Borissova & Mustakerov, 2008).

A generalized group decision making model is formulated taking into account both DMs preferences about the importance of criteria and evaluation scores of DMs for alternatives toward the criteria (Mustakerov & Borissova, 2014). It is proposed an algorithm for group decision making based on developed optimization approach shown in Fig. 7.7.

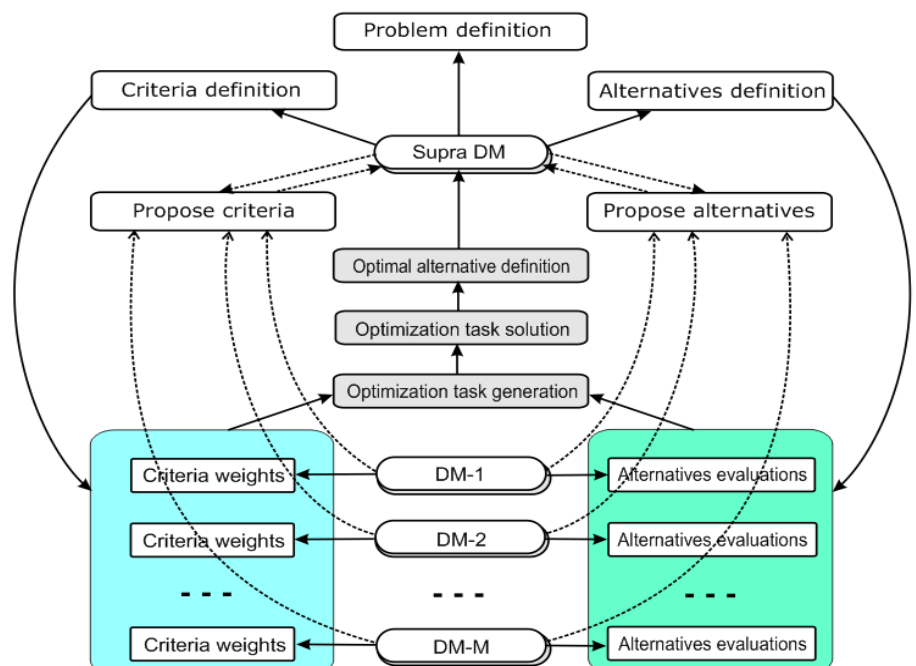


Fig. 7.7. Algorithm for group decision making

The described algorithm is numerically tested on the basis of real life example for choice among 3 alternatives estimated by 6 DMs toward 19 criteria. The testing results define as best choice the second alternative.

Criteria	Criteria weighting coefficients						Evaluation scores for Alternative 1						Evaluation scores for Alternative 2						Evaluation scores for Alternative 3					
	DM 1	DM 2	DM 3	DM 4	DM 5	DM 6	DM 1	DM 2	DM 3	DM 4	DM 5	DM 6	DM 1	DM 2	DM 3	DM 4	DM 5	DM 6	DM 1	DM 2	DM 3	DM 4	DM 5	DM 6
C ₁	2	4	8	8	6	10	2	4	6	1	1	1	10	5	8	9	9	9	8	4	6	8	9	2
C ₂	10	8	8	8	8	4	9	8	7	7	6	7	9	8	7	1	2	10	3	1	5	1	2	10
C ₃	10	10	8	4	8	10	9	2	8	7	6	7	10	4	7	10	9	10	6	5	7	8	8	10
C ₄	6	2	6	6	6	6	10	6	4	4	4	3	10	2	8	7	8	8	8	8	8	6	7	2
C ₅	10	4	10	10	10	8	3	1	9	1	2	1	5	10	7	3	2	7	3	7	2	8	9	9
C ₆	10	2	8	6	6	8	4	5	3	1	2	1	10	5	7	8	7	7	5	9	2	7	7	3
C ₇	6	6	6	8	8	6	8	9	4	2	2	8	9	6	10	7	5	10	7	4	6	7	8	8
C ₈	10	8	10	8	8	10	6	4	6	2	2	2	8	7	8	7	5	10	5	10	6	7	8	3
C ₉	6	10	8	10	10	8	5	6	8	2	2	8	6	10	6	2	1	5	6	5	6	5	7	9
C ₁₀	4	2	8	6	6	6	2	10	8	1	1	1	4	8	8	7	6	9	10	10	6	9	9	9
C ₁₁	8	8	10	10	10	10	6	5	6	1	1	1	8	9	8	8	9	7	7	4	2	7	8	2
C ₁₂	10	4	10	6	8	10	2	8	2	1	1	1	10	1	7	6	6	8	6	6	5	6	6	5
C ₁₃	10	2	10	6	8	10	1	1	2	1	1	1	8	2	8	7	6	9	5	10	5	7	6	5
C ₁₄	8	6	8	10	10	8	3	6	2	1	1	1	9	5	8	7	8	10	4	4	2	6	6	7
C ₁₅	4	8	6	8	10	10	5	4	2	1	1	1	8	10	6	8	8	10	4	8	2	8	7	8
C ₁₆	4	4	8	10	10	10	7	8	1	1	1	1	7	9	9	8	7	9	7	10	1	7	8	7
C ₁₇	6	6	10	10	10	6	10	9	10	7	5	10	3	8	4	5	4	5	5	9	2	8	8	7
C ₁₈	6	8	8	10	10	6	4	4	1	1	1	1	2	6	1	1	1	1	1	10	1	1	2	1
C ₁₉	4	2	6	10	10	4	4	2	1	1	2	1	8	8	6	7	6	8	3	8	2	6	5	6

Chapter 8: Software tools for engineering systems

In this chapter, various software tools that implement some of the described in previous chapters models, methods and algorithms are described. A part of these tools have been developed as functional Web-based applications, while others are implemented as research prototypes of software tools for approbation of the proposed methods. The developed web-based systems are intended for design of personal computers; design of night vision devices, and design of wind farms and for group decision making. The developed research prototypes of specialized software tools using optimization models are intended for definition of optimal work schedules; design of wind farms and for one dimensional cutting stock problems.

Contributions

The scientific and applied contributions in this dissertation are associated with the processing of information through the formalization of problems related to engineering systems. Using this formalization it is possible to create adequate mathematical models that involve the optimization methods and algorithms. Part of the proposed methods and algorithms are implemented in software tools supporting the decision making. The main results can be grouped as follows:

1. Generalized models and methods for optimal design of modular engineering systems of the following classes:
 - systems with existing functional relationships between modules,
 - systems with relationships between modules and with parameters depending of external operating conditions,
 - systems with relationships between modules and dependence of external operating conditions that are to be designed for economic efficiency.
2. Generalized models and algorithms for optimal resources planning in areas of:
 - dependent and mixed details processing,
 - one dimensional cutting stock, that simultaneously determine both of optimum length of blanks and optimal cutting patterns for each blank providing the minimal waste,
 - determination of optimal staff number and the corresponding work schedule providing minimum staff idle.
3. Models and algorithms for optimal management in predictive maintenance via:
 - determination of optimal strategy for maintenance justifying the repair or replacement of the machine or its components,
 - determination of optimal placement of a given number of sensors and determination of the number and placement of sensors satisfying some preferences about the data integrity.
4. Generalized models and algorithms for reasonable choice of alternatives by:
 - ranking of alternatives,
 - determination of k-best alternatives,
 - considering the impact of environment,
 - group decision making.
5. Developed software tools for engineering systems applications:
 - web-based systems for design of personal computers, night vision devices, wind farms and for group decision making,
 - software tools using optimization models for work schedules determination, for design of wind farms and for one dimensional cutting stock problems.

References

1. Behzadian M., S. K. Otaghsara, M. Yazdani, J. Ignatius. A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39, 2012, pp. 13051-13069.
2. Behzadian, M., R. B. Kazemzadeh, A. Albadvi, M. Aghdasi. PROMETHEE: A com-prehensive literature review on methodologies and applications. *EJOR*, 200, 2010, 198-215
3. Borissova, D., I. Mustakerov. A parallel algorithm for optimal job shop scheduling of semi-constrained details processing on multiple machines. In *Proc. Circuits, Systems, Communications and Computers 2014*, 145-150.
4. Borissova, D., I. Mustakerov, E. Bantutov. Methodology for determining of surveillance conditions in relation to night vision devices performance. *Advanced Modeling and Optimization*, 16(1), 2014, 51-59
5. Borissova, D., I. Mustakerov, E. Bantutov. Web-based architecture of a system for design assessment of night vision devices. *Information Science and Engineering*, 7(7), 2013, 62-67.

6. Borissova, D., I. Mustakerov. A concept of intelligent e-maintenance decision making system. *IEEE Int. Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, 2013, DOI: 10.1109/INISTA.2013.6577668.
7. Borissova, D., I. Mustakerov. An algorithm for an optimal staffing problem in open shop environment. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 76, 2013, 46-50.
8. Borissova, D., I. Mustakerov. K-best night vision devices by multi-criteria mixed-integer optimization modeling. *Information Science and Engineering*, 7(10), 2013, 205-210.
9. Borissova, D., I. Mustakerov, L. Doukovska. Predictive maintenance sensors placement by combinatorial optimization. *Electronics and Telecommunications*, 58(2), 2012, 153-158.
10. Borissova, D., I. Mustakerov. A generalized optimization method for night vision devices design considering stochastic external surveillance conditions. *Applied Mathematical Modelling*, 33, 2009, 4078-4085.
11. Borissova, D. Night Vision Devices Choice Taking into Account the External Surveillance Conditions. *Advanced Modeling and Optimization*, 10(2), 2008, 213-220.
12. Borissova D., I. Mustakerov. Multicriteria choice of night vision devices considering the impact of their performance parameters. *Advanced Modeling and Optimization*, 10(1), 2008, 81-93.
13. Garcia-Cascales, M. S., M. T. Lamata. Selection of a cleaning system for engine maintenance based on the analytic hierarchy process. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 2009, 1442-1451.
14. Gilmore, P. and R. Gomory. A linear programming approach to the cutting stock problem. *Operations Research*, 9(6), 1961, 848-859.
15. Gilmore, P. and R. Gomory. A linear programming approach to the cutting stock problem, part II. *Operations Research*, 11, 1963, 863-88.
16. Kalouptsidis, N., K. Koutroumbas, V. Psaraki. Classification methods for random utility models with i.i.d. disturbances under the most probable alternative rule. *European Journal of Operational Research*, 176, 1778-1794, 2007.
17. Kantorovich, L. V. Mathematical methods of organizing and planning production. *Management Science*, 6, 1960, 366-422.
18. Kulak, O., S. Cebi, C. Kahraman. Applications of axiomatic design principles: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 37, 2010, 6705-6717.
19. Mustakerov, I., D. Borissova. Multi-criteria model for optimal number and placement of sensors for structural health monitoring: Lexicographic method implementation. *Advanced Modeling and Optimization*, 16(1), 2014, 103-112.
20. Mustakerov, I., D. Borissova. One-dimensional cutting stock model for joinery manufacturing. In Proc. *Circuits, Systems, Communications and Computers 2014*, 51-55.
21. Mustakerov, I., D. Borissova. A Web application for group decision-making based on combinatorial optimization. In Proc. *Information Systems and Technologies 2014*, 46-56.
22. Mustakerov, I., D. Borissova. A combinatorial optimization ranking algorithm for reasonable decision making. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, 66(1) 2013, 101-110.
23. Mustakerov, I., D. Borissova. A discrete choice modeling approach to modular systems design. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 76, 2013, 133-139.
24. Mustakerov, I., D. Borissova. An intelligent approach for optimum maintenance strategy defining. *IEEE Int. Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications* 2013, DOI: 10.1109/INISTA.2013.6577666.
25. Mustakerov, I., D. Borissova. Data structures and algorithms of intelligent Web-based system for modular design. *Computer Science and Engineering*, 7(7), 2013, 87-92.
26. Mustakerov, I., D. Borissova. Investments attractiveness via combinatorial optimization ranking. *Management Science and Engineering*, 7(10), 2013, 230-235.
27. Mustakerov, I., D. Borissova. Modular systems design via multi-objective optimization. *Advanced Modeling and Optimization*, 15(2), 2013, 421-430.
28. Mustakerov, I., D. Borissova. Wind park layout design using combinatorial optimization. *Wind Turbines*, Ed. Ibrahim Al-Bahadly, InTech, 2011, 403-424.
29. Mustakerov, I., D. Borissova. Wind turbines type and number choice using combinatorial optimization. *Renewable Energy*, 35(9), 2010, 1887-1894.
30. Mustakerov, I., D. Borissova. Optimal manufacturing scheduling for dependent details processing. *Computer and Information Engineering*, 2(8) 2008, 493-497.
31. Mustakerov, I., D. Borissova. Technical systems design by combinatorial optimization choice of elements on the example of night vision devices design. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, 60(4), 2007, 373-380.
32. Nelson, C. A. A scoring model for flexible manufacturing system project selection. *European Journal of Operational Research*, 24, 1986, 346-359.
33. Saaty, T. L. Making and validating complex decisions with the AHP/ANP. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 14, 2005, 1-36.
34. Wang, X., E. Triantaphyllou. Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. *Omega*, 36, 2008, 45-63.



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

АВТОРЕФЕРАТ НА ДИСЕРТАЦИЯ

**за присъждане на научна степен “Доктор на науките”
по научна специалност 01.01.12 “Информатика”**

**Едно- и многокритериални модели и алгоритми
за оптимално проектиране, планиране и
управление на инженерни системи**

Даниела Иванова Борисова

Научно жури:

**проф. д.т.н. Иван Димов
проф. д.т.н. Тодор Стоилов
акад. Иван Попчев
акад. Васил Сгурев
чл.-кор. Красимир Атанасов
проф. д.н. Иван Гарванов
доц. д-р Светла Василева**



**Институт по информационни и комуникационни
технологии**

**Секция “Информационни процеси и системи
за вземане на решения”**

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширено заседание на секция „Информационни процеси и системи за вземане на решения“ при ИИКТ-БАН, състояло се на 16.06.2015 г. 2015 г.

Дисертационният труд е в обем от 254 страници, включително 86 фигури, 61 таблици и 236 цитирани източника.

Дисертационният труд е базиран на 33 научни публикации, за които са известни над 89 независими цитирания

Защитата на дисертацията ще се състои на2015 г. от часа в зала 507 на ИИКТ – ул. "Акад. Г. Бончев", бл. 2.

Материалите за защитата са на разположение на интересуващите се в ИИКТ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 25А, стая 215.

Автор:

Даниела Иванова Борисова

Заглавие:

Едно- и многокритериални модели и алгоритми за оптимално проектиране, планиране и управление на инженерни системи

Увод

Обект на изследвания в дисертационния труд са инженерните системи, разглеждани като системи от технически структури (машини, апарати и устройства) и свързаните с тях производствени процеси и експлоатационни условия. В проектирането, планирането и поддръжката на всяка инженерна система, е необходимо вземането на различни технологични и управленски решения, крайната цел на които е да се увеличат ползите. Актуалността на проблема се обуславя от съвременните тенденции в проектирането на високоефективни инженерни системи, които от една страна да бъдат конкурентни на пазара и от друга страна да удовлетворяват различни потребителски изисквания. Особено значение има моделирането в съвременните условия на ускорен научно-технически прогрес, при нуждата от постигането на висока ефективност с ограничени финансови, материални, трудови, енергетични и времеви ресурси. Оптимизацията, прилагана за решаване на различни инженерни проблеми, в най-широк смисъл, може да бъде обобщена в няколко направления като – оптимално проектиране, оптимално планиране и оптимално управление. Термините оптимално проектиране, оптимално планиране и оптимално управление се използват в смисъла на формулиране и решаване на едно- и/или многокритериални оптимизационни задачи спрямо зададен критерий/и и спазване на определени технически, технологични, конструктивни и др. ограничения.

Цел на дисертационния труд е да се предложат едно- и многокритериални модели, методи и алгоритми, подпомагащи оптимално проектиране, планиране и управление на инженерните системи. За реализиране на тази цел е необходимо да се изпълнят следните задачи:

- да се предложат модели, методи и алгоритми за оптимално проектиране на модулни инженерни системи, вземащи предвид съществуващите взаимовръзки между модулите, външните експлоатационни условия и икономическата ефективност,
- да се предложат модели и алгоритми за оптимално планиране на използването на ресурси,
- да се предложат модели, методи и алгоритми за оптимално управление на предсказващо поддържане,
- да се предложат методи и алгоритми за обоснован избор на алтернативи.

Методологията на изследванията включва освен разработването на адекватни математически модели, методи и алгоритми, и тестване на тяхната ефективност и практическа приложимост на базата на данни за реални инженерни системи.

Дисертационният труд е структуриран в осем глави. В **Глава 1** е представен обзорен анализ на математическия апарат, необходим за решаването на формулираните едно- и многокритериални оптимизационни задачи.

Глава 2: Оптимално проектиране на модулни инженерни системи, вземащи предвид съществуващите взаимовръзки между модулите

В тази глава е описан метод за оптимално проектиране на модулни инженерни системи, вземащ предвид съществуващите зависимости между модулите. Предложен е обобщен математически модел за определяне на оптимален избор на модули за проектираната система при спазване на всички изисквания за съвместимост между модулите, който може да бъде използван за проектиране на подобни класове модулни системи. Моделът е

тестван за реален пример, достатъчно добре илюстриращ особеностите на проектирането на системи от този клас, а именно конфигуриране на персонални компютри (ПК). Предложен е обобщен алгоритъм за итеративно и рационално конфигуриране, включващ различни сценарии, като за всеки сценарий е представена съответна алгоритмична реализация.

Общата формулировка на обобщения модел за оптимално проектиране на инженерни системи, вземащи предвид съществуващите зависимости между модулите има вида:

$$\min/\max f_i(\mathbf{x}), i = 1, 2, \dots, k \quad (2.1)$$

при ограничения:

$$g_j(\mathbf{x}) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m \quad (2.2)$$

$$l_q(\mathbf{x}) \geq 0, q = 1, 2, \dots, t \quad (2.2)$$

$$h_l(\mathbf{x}) = 0, l = 1, 2, \dots, e \quad (2.4)$$

където: $f_i(\mathbf{x})$ – критерии (целева функции), k – брой критерии, m, t – брой ограничения, представени като неравенства, e – брой ограничения като равенства, $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ – вектор на променливите, n – брой на независимите променливи. Съвместимостта между отделните модули на проектираната система се изразява математически чрез ограниченията (2.2) – (2.4).

Математически модел за оптимално проектиране на персонални компютри

Оптималното проектиране на модулни системи, каквито са ПК може да бъде илюстрирано чрез разглеждане на неговите основни компоненти – дънна платка (МВ), процесор (CPU) и памет (RAM), като модули, които пряко се влияят върху производителността и характеристиките на проектираната система. Предложен е алгоритъм за оптимално конфигуриране на ПК, в който се използват формулиране и решаване на оптимизационни задачи (Mustakherov & Borissova, 2013). Ако $j \in J$ са индексите на различните видове модули, $k \in K^j$ са индексите на параметрите на модул от тип j , $i \in I_j$ са индексите на различните модули от един и същ тип и всеки модул i от тип j , а x_i^j са двоични целечислени променливи, то изборът на модули, изразен чрез избор на неговите параметри се реализира като:

$$\forall j \in J : (\forall k \in K^j : P^{j,k} = \sum_{i \in I_j} P_i^{j,k} x_i^j), x_i^j \in \{0, 1\}, \sum_{i \in I_j} x_i^j = 1 \quad (2.5)$$

Параметърът *цена* при оптималното конфигуриране на ПК се определя като:

$$P^{MB\text{cost}} = \sum_{i \in I_{MB}} P_i^{MB\text{cost}} x_i^{MB}, x_i^{MB} \in \{0, 1\} \text{ и } \sum_{i \in I_{MB}} x_i^{MB} = 1 \quad (2.6)$$

$$P^{CPU\text{cost}} = \sum_{j \in I_{CPU}} P_j^{CPU\text{cost}} x_j^{CPU}, x_j^{CPU} \in \{0, 1\} \text{ и } \sum_{i \in I_{CPU}} x_i^{CPU} = 1 \quad (2.7)$$

По същия начин и други параметри на модулите могат да бъдат определяни чрез подходящ избор:

$$P^{CPU\text{clock}} = \sum_{i \in I_{CPU}} P_i^{CPU\text{clock}} x_i^{CPU} \quad (2.8)$$

$$P^{CPU\text{core}} = \sum_{i \in I_{CPU}} P_i^{CPU\text{core}} x_i^{CPU} \quad (2.9)$$

Изборът на RAM включва както типа, така и броя модули. Зависимостите за параметрите на RAM по отношение *цена* и *капацитет*, използвайки променливите x_i^{ram} се изразяват като:

$$P^{RAM\ cost} = \sum_{i \in I_{RAM}} P_i^{RAM\ cost} x_i^{RAM}, x_i^{RAM} \in \mathbb{N} \quad (2.10)$$

$$P^{RAMsize} = \sum_{i \in I_{RAM}} P_i^{RAMsize} x_i^{RAM}, x_i^{RAM} \in \mathbb{N} \quad (2.11)$$

където N е множество на неотрицателните числа.

Отношенията на съвместимост между модулите се представят чрез съвместими подмножества на множествата модули. Например, ако подмножеството на процесорите, съвместими с определен вид дънна платка MB_i е означено като I_{CPU}^i , то ограниченията за съвместимост на променливите, присвоени към MB и процесорите се изразява като:

$$\forall i \in I_{MB}: x_i^{MB} \leq \sum_{j \in I_{CPU}^i} x_j^{CPU} \quad (2.12)$$

където $I_{CPU}^i \subseteq I_{CPU}$ са индексите на процесорите съвместими с дънни платки от тип i .

Поради спецификата на избора на RAM са необходими ограничения за съвместимост на RAM и MB или ограничения за несъвместимост на RAM и MB :

$$\forall i \in I_{MB}: x_i^{MB} \sum_{k \in I_{RAM}^{i+}} x_k^{RAM} \geq 0 \quad (2.13)$$

$$\forall i \in I_{MB}: x_i^{MB} \sum_{k \in I_{RAM}^{i-}} x_k^{RAM} \leq 0 \quad (2.14)$$

където $I_{RAM}^{i+} \subseteq I_{RAM}$ и $I_{RAM}^{i-} \subseteq I_{RAM}$ са подмножества на съвместимите и несъвместими RAM с MB_i съответно.

Използват се и ограничения за изразяване съвместимостта между RAM и MB по отношение размера на паметта $P^{RAMsize}$, която се поддържа от съответния тип MB_i :

$$P^{RAMsize} \leq \sum_{i \in I_{MB}} P_i^{MBram\ max} x_i^{MB} \quad (2.15)$$

Броят на слотове $P_i^{MB, RAMslots}$ за MB_i се изразява чрез:

$$\sum_{i \in I_{RAM}} x_k^{RAM} \leq P_i^{MBramslots} \quad (2.16)$$

Необходим е поне един RAM модул за конфигурацията на ПК:

$$\sum_{i \in I_{RAM}} x_k^{RAM} \geq 1 \quad (2.17)$$

Лесно могат да се въвеждат различни потребителски изисквания за размера на RAM , за честота на CPU и за броя ядра на CPU :

$$P^{RAMsize} \geq P^{RAM\ min} \quad (2.18)$$

$$P^{CPUclock} \geq P^{CPUclock\ min} \quad (2.19)$$

$$P^{CPUcore} \geq P^{CPUcore\ min} \quad (2.20)$$

Описаният модел е използван за формулиране на еднокритериални оптимизационни задачи, използващи като оптимизационен критерий цената на конфигурацията: (Mustakerov & Borissova, 2013):

$$\min (MB^{cost} + CPU^{cost} + RAM^{cost}) \quad (2.21)$$

Формулирани са три еднокритериални оптимизационни задачи, отразяващи различни потребителски изисквания към конфигурацията на ПК, а получените оптимални резултати са показани в Таблица 2.4.

Таблица 2.4. Получени оптимални конфигурации

#	Потребителски изисквания				Получени конфигурации			
	RAM	CPU clock	CPU core	RAID	MB	CPU	RAM	Cost BGL
1	≥ 2 GB	--	--	--	MB5	CPU1	RAM1: 2 x 1 GB	205.5
2	≥ 3 GB	≥2.5GHz	≥ 2	--	MB2	CPU2	RAM2: 1 GB RAM5: 2 GB	297.0
3	≥ 4 GB	≥3 GHz	≥ 2	1 (yes)	MB1	CPU3	RAM5: 2 x 2 GB	584.5

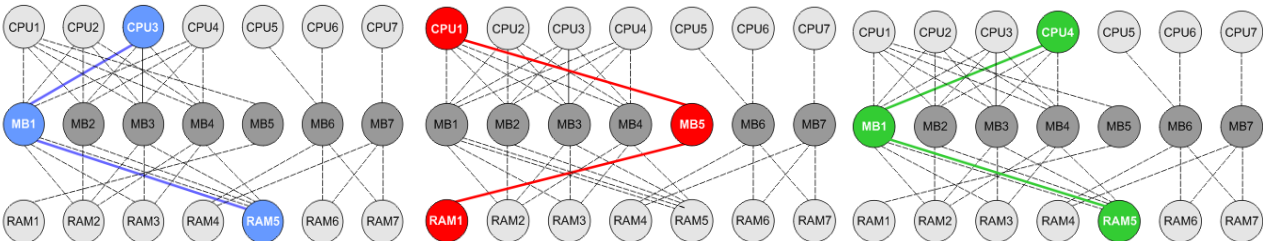
Използването на многокритериална оптимизация при проектирането на конфигурацията на ПК дава възможност за използване на повече критерии като *минимална цена* за модулите, *максимална изчислителна мощност* на процесора и *максимален размер* на RAM. Тези изисквания се изразяват чрез следната многокритериална оптимизационна задача (Mustakerov & Borissova, 2013):

$$\begin{aligned} &\min (P^{MB, cost} + P^{CPU, cost} + P^{RAM, cost}) \\ &\max P^{CPU, core} \\ &\max P^{CPU, clock} \\ &\max P^{RAM, size} \end{aligned}$$

(2.39)

при същите ограничения, както в еднокритериалния случай.

Тази задача е решавана за три различни предпочитания на ЛВР, резултатите от които са илюстрирани на Фиг. 2.3.



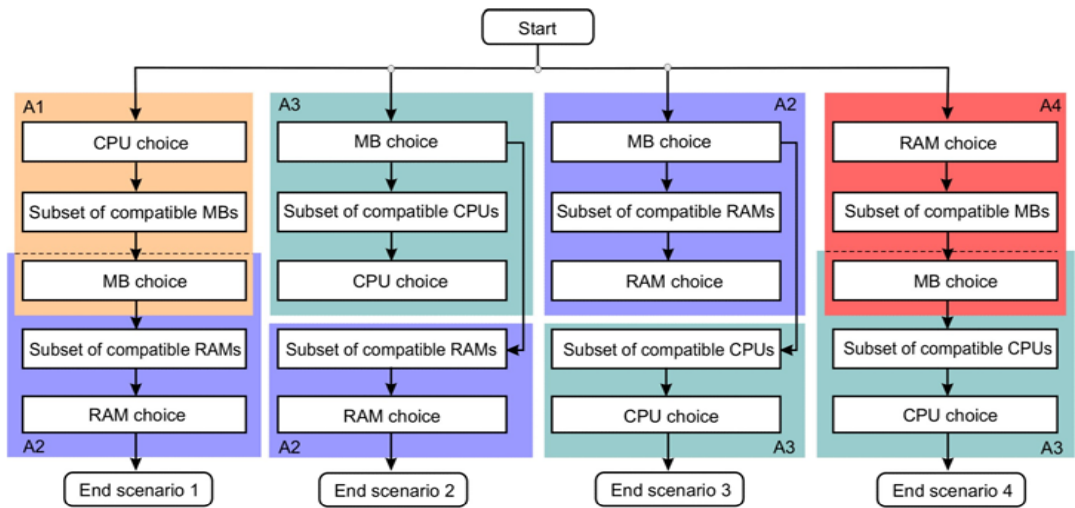
Фиг. 2.3. Избрани модули в резултат на решената многокритериална задачата:
а) ЛВР-1; б) ЛВР-2; в) ЛВР-3

С пунктирна линия са показани съществуващите съвместимости между модулите, а с непрекъсната линия са свързани избраните модули, в резултат на полученото решение. Резултатите от решаването на оптимизационните задачи потвърждават приложимостта на предложения многокритериален оптимизационен подход за конфигуриране на подобен клас модулни системи. Чрез използване на многокритериалната оптимизация, могат да бъдат взети предвид различни потребителски предпочитания и да се направи предварителна оценка на параметрите на проектираните системи, вземащи предвид съществуващите зависимости между модулите.

Обобщен алгоритъм за итеративно и рационално проектиране на конфигурацията на персонални компютри

При разработването на CAD системи за модулно проектиране не винаги е желано (или възможно) заместването на човешката експертиза, поради това са разработени различни сценарии. Предложен обобщен алгоритъм за итеративно и рационално проектиране конфигурацията на компютърна система – Фиг. 2.4 (Mustakerov & Borissova, 2013).

За реализиране на обобщения алгоритъм са предложени подходящи алгоритмични реализации, представени чрез псевдо-кодове (Mustakerov & Borissova, 2013).



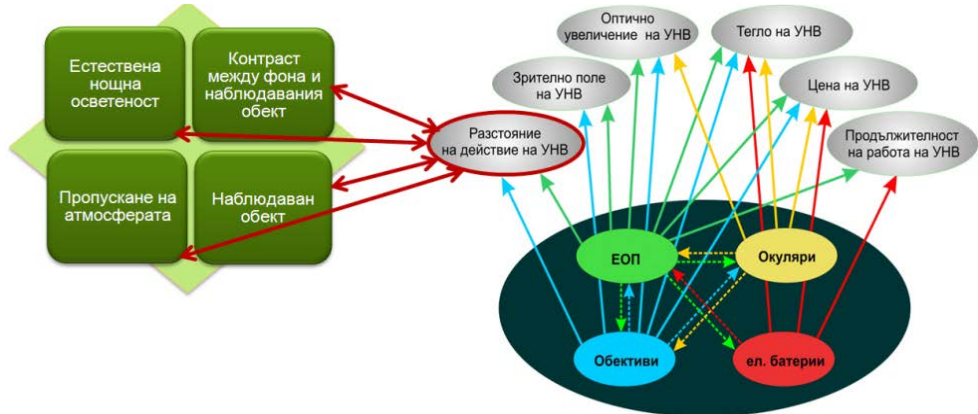
Фиг. 2.4. Обобщен алгоритъм за проектиране конфигурацията на ПК

Глава 3: Оптимално проектиране на модулни инженерни системи, вземащи предвид съществуващите взаимовръзки между модулите и външните експлоатационни условия

В тази глава са описани получените резултати при оптимално проектиране на модулни инженерни системи, вземащи предвид както съществуващите взаимовръзки между модулите, така и външните експлоатационни условия. За да се тества практическата приложимост на оптималното проектиране за този клас модулни системи е използван един типичен представител, а именно уредите за нощно виждане (очила, прицели и бинокли), базирани на технологията на усилване на светлината. Описани са: 1) детерминиран, стохастичен и обобщен математически модели за проектиране на модулни инженерни системи, вземащи предвид съществуващите взаимовръзки между модулите и външните експлоатационни условия, 2) математически модели, определящи външните експлоатационни условия, при които се постига една и съща стойност на зададен параметър на системата, 3) методи за проектиране на системи от този клас – итеративно, рационално и оптимално проектиране, 4) обобщен алгоритъм за оценка на параметрите на проектираните системи.

Моделиране на проектирането на уреди за нощно виждане

Един от основните параметри на УНВ, които трябва да бъдат взети предвид при проектирането, е разстояние на действие, което зависи както от параметрите на използваните модули, така и от външните условия на наблюдение (Фиг. 3.2).



Фиг. 3.2 Зависимости между модулите, параметрите на УНВ и външните условия на наблюдение

За разлика от детерминирания оптимизационен модел, в стохастичния модел вместо детерминиранияте стойности на външните условия на наблюдение се използват математическите им очаквания (Borissova & Mustakerov, 2009):

$$T_a^{cm} = \sum_{i=1}^p P_a^i \tau_a^i, \text{ където } \sum_{i=1}^p P_a^i = 1 \quad (3.34)$$

$$K^{cm} = \sum_{j=1}^t P_K^j K^j, \text{ където } \sum_{j=1}^t P_K^j = 1 \quad (3.35)$$

$$E^{cm} = \sum_{k=1}^h P_E^k E^k, \text{ където } \sum_{k=1}^h P_E^k = 1 \quad (3.36)$$

$$A_{об}^{cm} = \sum_{m=1}^l P_{A_{об}}^m A_{об}^m, \text{ където } \sum_{m=1}^l P_{A_{об}}^m = 1 \quad (3.37)$$

Предложен е обобщен модел за оптимално проектиране на УНВ, основната идея на който е да реализира избор на модулите на УНВ, като се определи най-подходящата комбинация от модули, удовлетворяваща зададените изисквания към проектираното устройство. Този модел за проектиране на УНВ има вида (Mustakerov & Borissova, 2007):

$$\max F(P) = (f_1(P), f_2(P), \dots, f_q(P)) \quad (3.74)$$

при ограничения

$$P = \sum_{j_i=1}^{J_i} P_{j_i, k_i}^i x_{j_i}^i \quad (3.75)$$

$$g(P) = (g_1(P), g_2(P), \dots, g_m(P)) \quad (3.76)$$

$$\sum_{j_i} x_{j_i}^i = 1, x \in \{0, 1\} \quad (3.77)$$

$$P_{j_i, k_i}^{Li} \leq P_{j_i, k_i}^i \leq P_{j_i, k_i}^{Ui}, i = 1, n \quad (3.78)$$

В тази формулировка $f_1(P), f_2(P), \dots, f_q(P)$ описват q целеви функции (критерии за изпълнение) на вектора на променливите $P = \{P_{j_i, k_i}^i \mid i=1, \dots, n, j_i \in \{J_i\}, k_i \in \{K_i\}\} \in R^n$, представляващ съвкупността от всички разновидности на модулите, необходими за проектирането на УНВ. R^n е параметричното пространство от модулите за реализиране на избор, j_i изразява разновидностите на модулите от i -ия тип, k_i са параметрите на i -ия модул от тип j_i и P_{j_i, k_i}^i е k_i -ия параметър на i -ия модул от тип j_i . $P' = \{P_{s, r}^t \mid t \in \{i\}, r \in \{k_i\}, s \in \{j_i\}\}$ е векторът на решението с избраните параметри на модулите в резултат на оптималния комбинаторен избор. Оптималният избор се реализира чрез използване на ограниченията (3.75) като се използват някои двоични целочислени променливи $X = \{x_{j_i}^i\}$, при ограничения (3.77). Реалистичното оптимално проектиране включва не само целеви функции, но също така и ограничения, които определят граници в пространството на променливите. Например, с P_{j_i, k_i}^{Li} и P_{j_i, k_i}^{Ui} са означени долната и горната граница на променливите и функциите на ограниченията $(g_1(P), g_2(P), \dots, g_m(P))$, описващи специфичните зависимости, технически и потребителски изисквания на проектираната система. Това са зависимостите, при които изборът на даден модул i от тип j_i ограничава избора на другите типове модули от общото множество на модулите.

Многокритериални модели за определяне на външните условия на наблюдение, съвместими с параметрите на УНВ

След изработване на устройството и определяне на параметрите му, представлява интерес определянето на външните условия на наблюдение, при които това устройство ще има същото разстояние на действие. Такава оценка е интересна и за предлаганите на пазара

УНВ, когато параметрите на УНВ се дават в каталожни спецификации, но не винаги се указва при какви външни условия е определено разстоянието на действие. За целта е предложен многокритериален модел, определящ диапазона на външните условия на наблюдение, съвместими с зададената стойност. Граничните условия, съответстващи на максимална естествена нощна осветеност и минимален контраст между наблюдавания обект и фона се определят чрез (Borissova и др., 2014):

$$\begin{cases} \max E = \left(\frac{R^2 M \Phi_{min,ph}}{0.07 D_{in} f_{ob} \tau_{ob} S_{\Sigma} \delta \tau_a K A_{target}} \right) \\ \min K = \left(\frac{R^2 M \Phi_{min,ph}}{0.07 D_{in} f_{ob} \tau_{ob} S_{\Sigma} \delta \tau_a E A_{target}} \right) \end{cases} \quad (3.80)$$

при ограничения

$$E^l \leq E \leq E^u \quad (3.81)$$

$$K^l \leq K \leq K^u \quad (3.82)$$

$$A^l \leq A_{target} \leq A^u \quad (3.83)$$

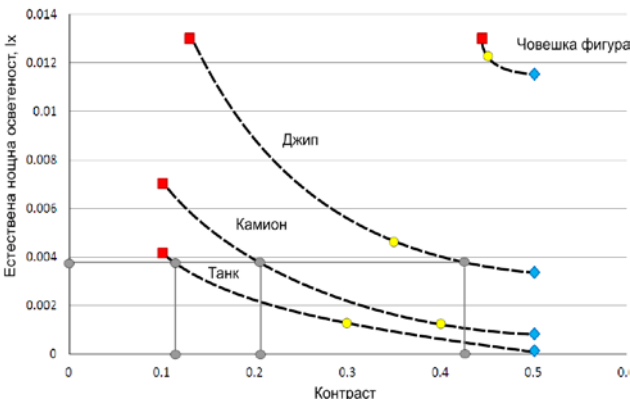
където с E^u , K^u , A^u и E^l , K^l , A^l са означени горните и долните граници на естествена нощна осветеност, контраста и редуцираната площ на наблюдавания обект; R е зададеното разстояние на разглеждания УНВ.

Граничните условия, съответстващи на минимална естествена нощна осветеност и максимален контраст между наблюдавания обект и фона се определят чрез (Borissova и др., 2014):

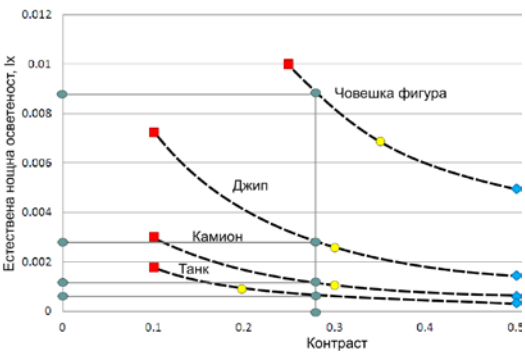
$$\begin{cases} \max K = \left(\frac{R^2 M \Phi_{min,ph}}{0.07 D_{in} f_{ob} \tau_{ob} S_{\Sigma} \delta \tau_a E A_{target}} \right) \\ \min E = \left(\frac{R^2 M \Phi_{min,ph}}{0.07 D_{in} f_{ob} \tau_{ob} S_{\Sigma} \delta \tau_a K A_{target}} \right) \end{cases} \quad (3.84)$$

при ограничения (3.81) – (3.83).

Предложеният модел за определяне на външните условия на наблюдение, съответстващи на определена стойност на разстоянието на действие на УНВ, е тестван на базата на два типа уреди – очила за нощно виждане с $R=300m$ (Фиг. 3.4) и прицел с $R=425m$ (Фиг. 3.5).



Фиг. 3.4. Изменение на външните условия за очила за нощно виждане



Фиг. 3.5. Изменение на външните условия за нощен прицел

Вижда се, че съществува повече от една комбинация на естествената нощна осветеност и контраста за даден тип наблюдаван обект, съответстващ на едно и също разстояние на откриване за дадено устройство. От тези криви е възможно да се оцени

ефективността на конкретното УНВ по отношение на типа на наблюдавания обект и диапазона на изменение на нощната осветеност и контраста.

За да се определят различни комбинации от минимално допустимите стойности на осветеността, контраста и пропускането на атмосферата, удовлетворяващи зададеното разстояние на действие, може да бъде използван следния многокритериален модел (Borissova & Mustakerov, 2009)

$$\min \{E, K, \tau_a\} \quad (3.87)$$

при ограничения:

$$\sqrt{\frac{0.07 D_{in} f_{ob} \tau_a S_{\Sigma} \delta E \tau_a K A'_{ob}}{M \Phi_{\min, ph}}} = R^* \quad (3.88)$$

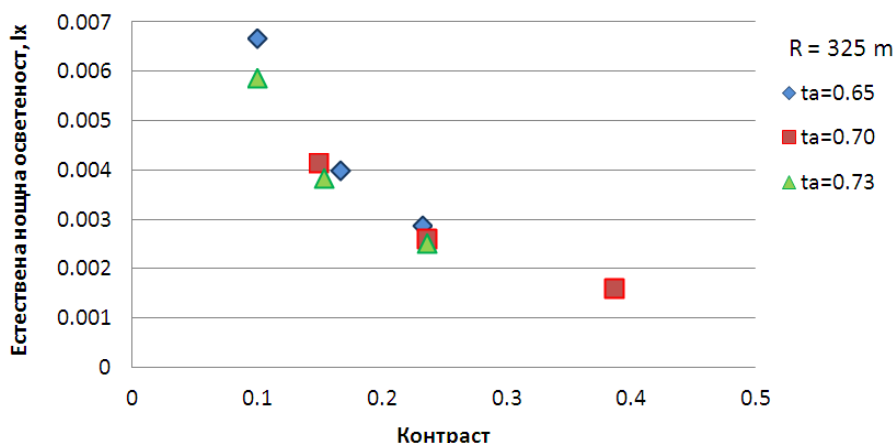
$$E^l \leq E \leq E^u \quad (3.89)$$

$$\tau_a^l \leq \tau_a \leq \tau_a^u \quad (3.90)$$

$$K^l \leq K \leq K^u \quad (3.91)$$

където R^* е зададеното в каталога разстояние на действие в метри, E^u , τ_a^u , K^u са горните и долните E^l , τ_a^l , K^l граници за осветеността, пропускането на атмосферата и контраста между обекта и фона.

На Фиг. 3.6 са показани получените комбинации на различни външни условия на наблюдение, осигуряващи разстояние от 325 m.



Фиг. 3.6. Комбинации на нощната осветеност и контраста при различно пропускане на атмосферата, осигуряващи разстояние на откриване 325 m

Методи за проектиране на УНВ

Формулираните детерминиран и стохастичен модели са използвани за разработване на методи за проектиране на УНВ чрез избор от множества елементи. Формулирани са три метода – метод на итеративно проектиране, метод на рационално проектиране и метод на оптимално проектиране. Методът на итеративно проектиране се реализира чрез последователно изпълнение на процеса на избор и изчисляване параметрите на УНВ. При метода на рационален избор ЛВР задава желани гранични стойности за параметрите на проектираното устройство като горни или долни граници. За определяне удовлетворяването на тези граници се използват сортирани масиви и търсене в тях (Mustakerov & Borissova, 2007). Методът на оптималния избор се отличава от другите методи с формулиране и решаване на съответни оптимизационни задачи. Предложен е и обобщени алгоритъм за оценка на параметрите на проектираните УНВ, в който се използва метода на итеративното и рационалното проектиране.

Глава 4: Оптимално проектиране на комплексни инженерни системи, вземащи предвид съществуващите взаимовръзки, външните експлоатационни условия и икономическата ефективност

В тази глава е описан обобщен метод и модели за проектиране на инженерни системи, вземащи предвид съществуващите взаимовръзки, външните експлоатационни условия и икономическата ефективност. Този клас системи се характеризират не само с избор на съвместими модули и отчитане на външните експлоатационни условия, но и с удовлетворяване на изискване за икономическа ефективност. Един достатъчно представителен пример за проектиране на този клас системи са ветроенергийните паркове (ВЕП). На база на предложения модел са формулирани съответни едно- и многокритериални оптимизационни задачи за оптимално проектиране. Описан е алгоритъм за приложение на многокритериален подход при проектирането на системи от този тип.

Еднокритериален модел на оптимално проектиране на ветроенергийни паркове

Проектирането на ВЕП е итеративен процес, при който е необходимо на ранен етап да се установи, наличеито достатъчен ресурс, за да бъде реализиран проекта за изграждане на ВЕП. Разстоянието между турбините във ВЕП зависи както от терена и от посоката и скоростта на вятъра, така и от размерите на ВТ. Като допустимо разстояние между турбините може да се разглежда интервала от 8 до 12 роторни диаметъра по посока на вятъра и от 1.5 до 3 роторни диаметъра за перпендикулярната посока (Emami & Noghreh 2010).

Предложен е еднокритериален оптимизационен модел за избор на типа, броя и разположението на турбините в проектирания ВЕП (Mustakeroov & Borissova, 2010):

$$\min \left(\frac{\text{costs}}{P} \right) \quad (4.34)$$

при ограничения

$$\text{costs} = N \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \exp(-0.00174 N^2) \right) \quad (4.35)$$

$$P = h_y \eta N P_{wt} \quad (4.36)$$

$$N = N_{row} N_{col}, \text{ integer} \quad (4.37)$$

$$N_{row} = \frac{L_x}{k_{row} D} + 1 \quad (4.38)$$

$$N_{col} = \frac{L_y}{k_{col} D} + 1 \quad (4.39)$$

$$k_{row}^{\min} \leq k_{row} \leq k_{row}^{\max}, k_{row} > 0 \quad (4.40)$$

$$k_{col}^{\min} \leq k_{col} \leq k_{col}^{\max}, k_{col} > 0 \quad (4.41)$$

$$P_{wt} = \sum_i^m x_i P_{wt}^i \quad (4.42)$$

$$D = \sum_i^m x_i D_{wt}^i \quad (4.43)$$

$$H = \sum_i^m x_i H_{wt}^i \quad (4.44)$$

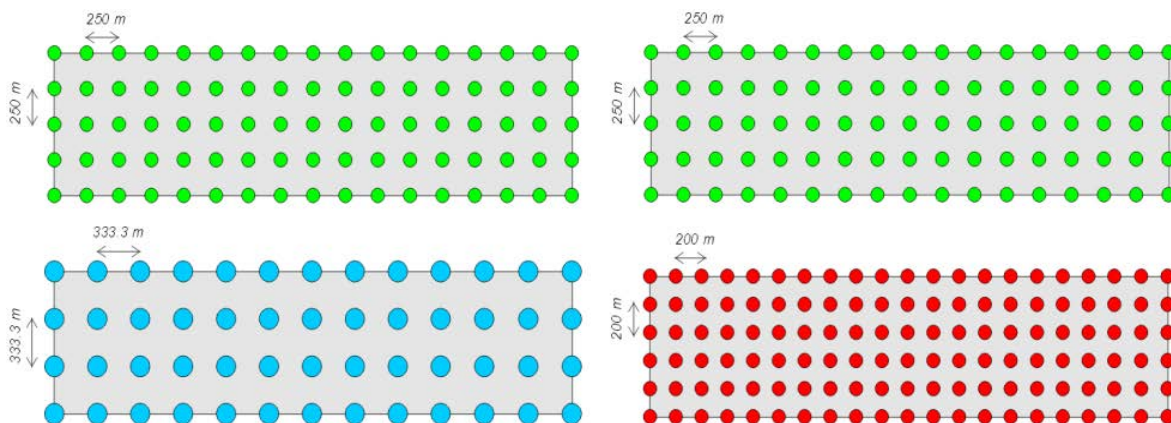
$$\sum_i^m x_i = 1, x \in \{0,1\} \quad (4.45)$$

където: N – общ брой ВТ, N_{row} – брой ВТ в ред, N_{col} – брой ВТ в колона, L_x, L_y – размери на ВЕП, D – диаметър на ротора на ВТ, P_{wt} – номинална мощност на ВТ, η – коефициент на

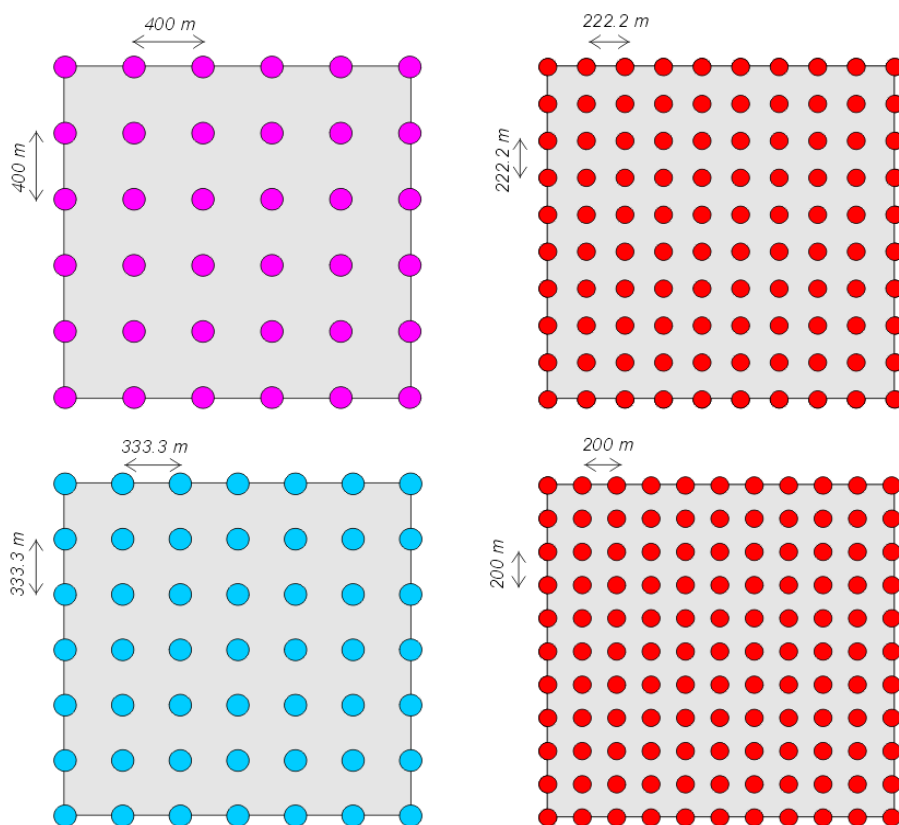
използване, k_{row} , k_{col} – коефициенти, определящи разстояния между ВТ, H – височина на кулата, x_i – двоични целочислени променливи.

А) случай на равностоен вятър от всички посоки:

При зададена площ на ВЕП от 4 km^2 и равностоен вятър от всички посоки, получените резултати са показани на Фиг. 4.6 и Фиг. 4.7. като са използвани следните граници $k_{row}^{\min} = k_{col}^{\min} = 4.8$ и $k_{row}^{\max} = k_{col}^{\max} = 5.2$

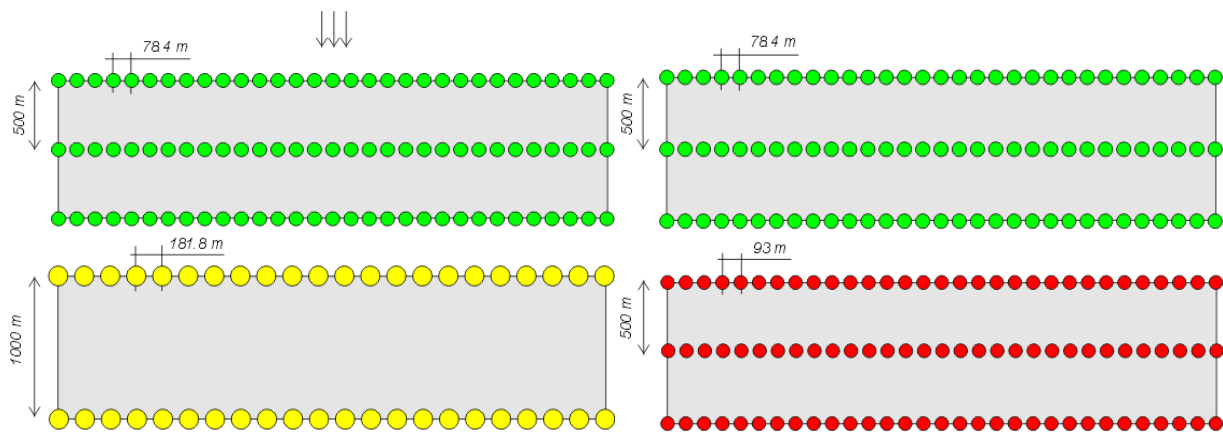


Фиг. 4.7. Разположение на ВТ при наличие на равностоен вятър от всички посоки и правоъгълна форма на ветровото поле $L_x = 4 \text{ km}$, $L_y = 1 \text{ km}$.

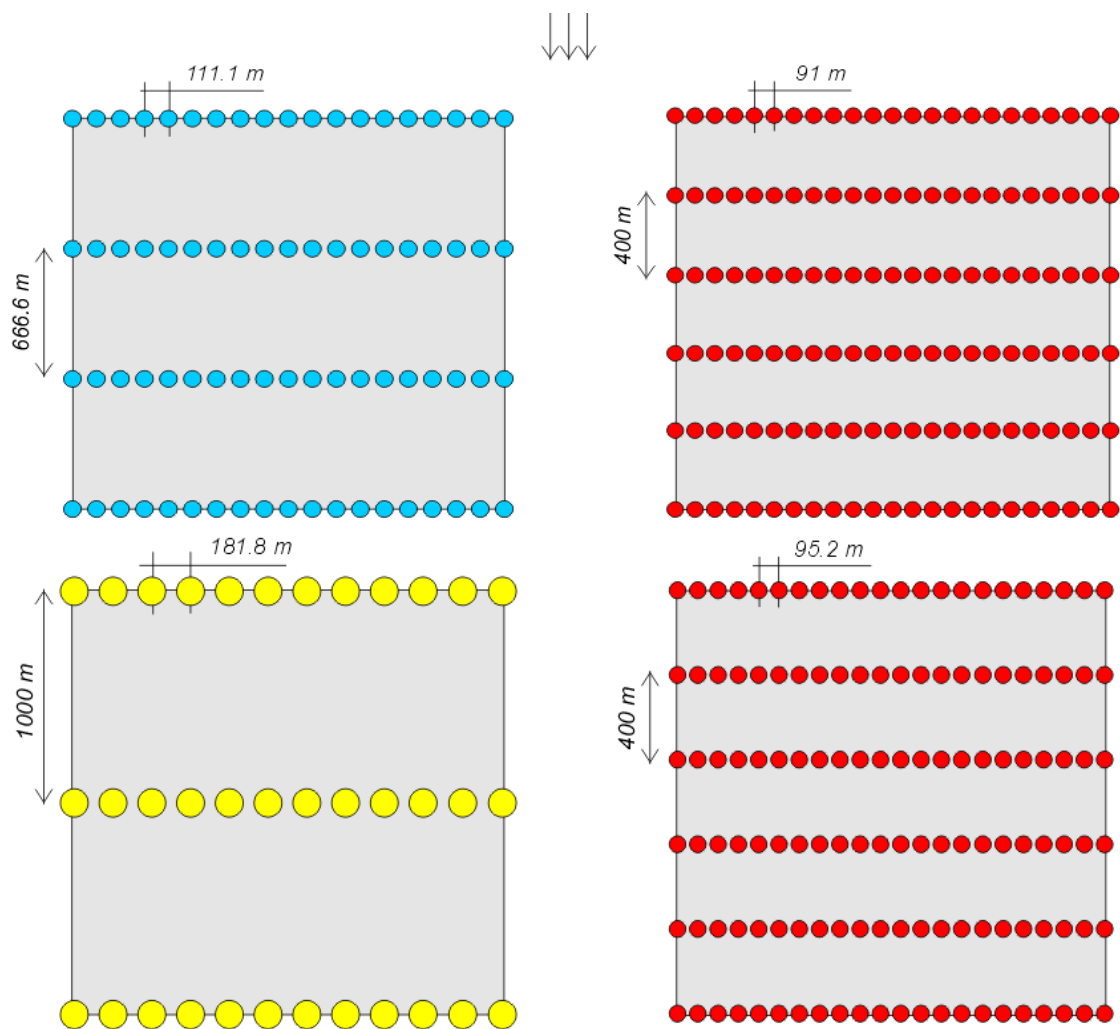


Фиг. 4.6. Разположение на ВТ при наличие на равностоен вятър от всички посоки и квадратна конфигурация на ветровото поле, $L_x = L_y = 2 \text{ km}$.

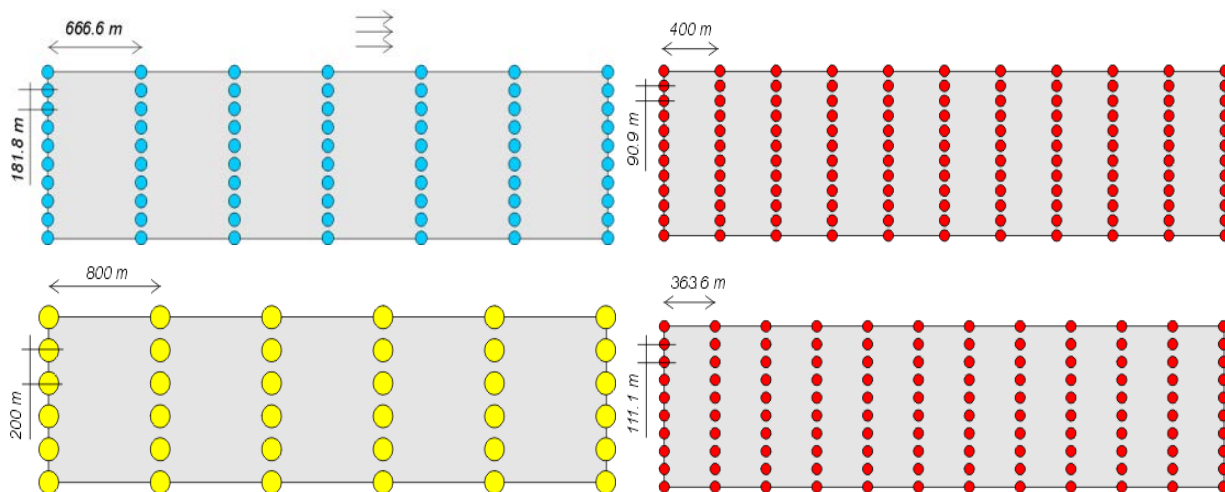
Б) случай на преобладаващ вятър с една посока. За ВЕП с площ също 4 km^2 са използвани: $k_{row}^{\min} = 1.5$, $k_{row}^{\max} = 3$, $k_{col}^{\min} = 9$, $k_{col}^{\max} = 11$ и $k_{row}^{\min} = 2$, $k_{row}^{\max} = 4$, $k_{col}^{\min} = 8$, респективно (Фиг. 4.8, Фиг. 4.9 и Фиг. 4.10)



Фиг. 4.8. Разположение на ВТ при наличие на вятър с преобладаваща посока правоъгълно ветрово поле, $L_x = 4\text{ km}$, $L_y = 1\text{ km}$



Фиг. 4.9. Разположение на ВТ при наличие на вятър с преобладаваща посока и квадратна форма на ветровото поле, $L_x = L_y = 2\text{ km}$.



Фиг. 4.10. Разположение на турбините при наличие на вятър с преобладаваща посока и при друга ориентация на правоъгълното ветрово поле

При наличие на вятър с преобладаваща посока, изборът на ВТ съществено зависи от ориентацията на правоъгълната форма на ВЕП по отношение на посоката на вятъра. Резултатите от изчисленията показват, че формата и ориентацията на ВЕП трябва да бъдат взети под внимание при оптималното проектиране.

Многокритериален оптимизационен модел за проектиране на ВЕП

Предложен е многокритериален оптимизационен модел за проектиране ВЕП, вземащ предвид критериите разходи и мощност (Mustakerov & Borissova, 2010; Mustakerov & Borissova, 2011):

$$\begin{aligned} &\max Power \\ &\min Costs \end{aligned} \quad (4.46)$$

при ограничения

$$Power = h_y \eta N P_{wt} \quad (4.47)$$

$$Costs = N \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3} e^{-0.00174 N^2} \right) \quad (4.48)$$

$$SD_x = k_x D_{wt} \quad (4.49)$$

$$SD_y = k_y D_{wt} \quad (4.50)$$

$$N = N_x N_y \quad (4.51)$$

$$N_x = (L_x / SD_x) + 1, \quad N_x - \text{integer} \quad (4.52)$$

$$N_y = (L_y / SD_y) + 1, \quad N_y - \text{integer} \quad (4.53)$$

$$k_y^{\min} \leq k_y \leq k_y^{\max}, \quad k_y > 0 \quad (4.54)$$

$$k_x^{\min} \leq k_x \leq k_x^{\max}, \quad k_x > 0 \quad (4.55)$$

$$P_{wt} = \sum_i^m x_i P_{wt}^i \quad (4.56)$$

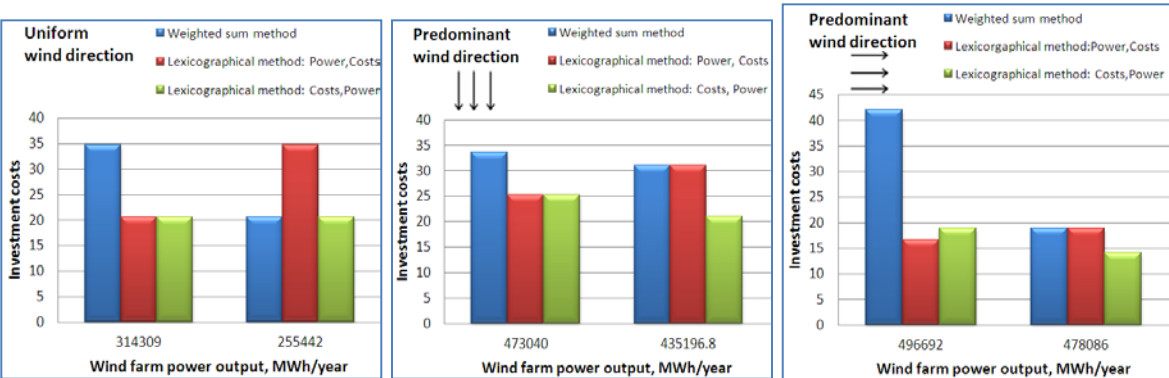
$$D_{wt} = \sum_i^m x_i D_{wt}^i \quad (4.57)$$

$$\sum_i^m x_i = 1, x \in \{0,1\} \quad (4.58)$$

Формулираният модел (4.46) – (4.58) е тестван при реални данни за ВТ, използвайки метода на претеглената сума и лексикографския метод, за да се оценят параметрите от проектирания ВЕП. Използването и на двата метода за решаване осигуряват теоретични

оценки на мощността и разходите при различни посоки на вятъра и различни предпочитания на ЛВР.

На Фиг. 4.18 са показани получените резултати за параметрите на ВЕП – инвестиционни разходи и мощност.



Фиг. 4.18. Инвестиционни разходи и очаквана мощност при различни предпочитания на ЛВР

Описаните едно- и многокритериални оптимизационни модели за проектиране комплексни инженерни системи, вземащи предвид вътрешните взаимовръзки, външните експлоатационни условия и икономическата ефективност са базирани на примера на проектирането на ветроенергийни паркове. Формулираният модел отчита както параметрите на наличния ветрови ресурс, така и параметрите на ВТ. В резултат на формулирането и решаването на съответните оптимизационни задачи се получава оптимален или Парето-оптимален избор на типа на ВТ, броя и съответното им разположение в ВЕП.

Глава 5: Модели и алгоритми за оптимални разписания

В тази глава са описани предложените модели и алгоритми за оптимално планиране при наличие на ограничени ресурси, касаещи формулирането на: 1) модели за определяне на оптимални разписания при зависима обработка на детайли върху множество машини, 2) модели и алгоритми за определяне на оптимални разписания при смесена (независима и зависима) обработка на детайли върху множество машини, 3) обобщен модел и алгоритъм за оптимално линейно разкрояване и 4) обобщен модел и алгоритъм за оптимално планиране на персонала и на графика за неговата работа.

Обобщен математически модел за определяне на оптимално разписание при зависима обработка на детайли върху множество машини

Цел на обобщения модел за определяне на оптимално разписание на зависимата обработка на детайли върху множество машини е минимизиране общото време за обработката на всичките детайли (Mustakerov & Borissova, 2008):

min Σ x_{iE} , i ∈ I, (5.1)

при ограничения

x_{i,(j+1)}} - x_{ij} ≥ T_{ij} , i ∈ I, j ∈ J (5.2)

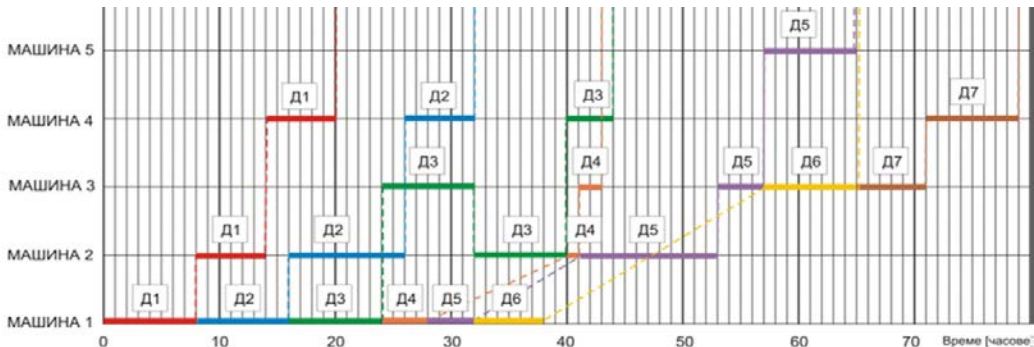
x_{(i+1),j} - x_{ij} ≥ T_{ij} , i ∈ I, j ∈ J (5.3)

x_{ij} ≥ 0, за ∀ i ∈ I, ∀ j ∈ J, (5.4)

x_{iE} > 0, за ∀ i ∈ I, (5.5)

където: x_{iE} – моментите от време на завършване на обработката на отделните детайли, x_{ij} – моменти от време за начало на отделните операции, I – множеството на обработваните детайли, а J – множеството на машините, необходими за обработването на тези детайли.

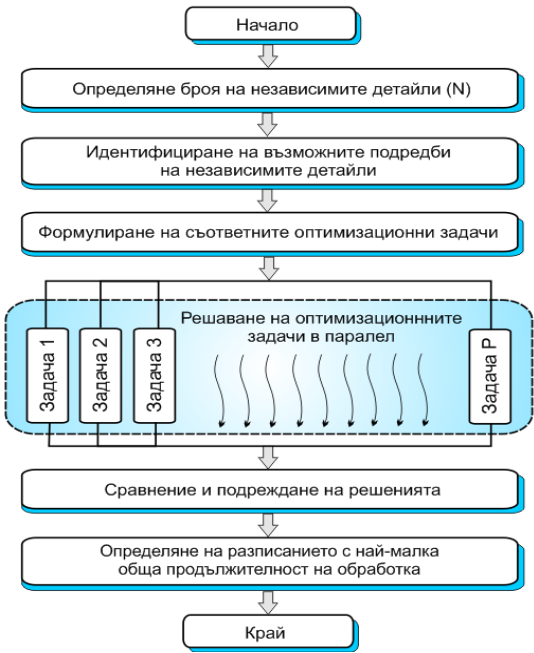
За да се илюстрира числено приложимостта на предложения модел (5.1) – (5.5) е използван реален проблем от работата на металообработваща фирма, произвеждаща машини с ЦПУ и зададена последователност на обработка на детайлите $D1 \rightarrow D2 \rightarrow D3 \rightarrow D4 \rightarrow D5 \rightarrow D6 \rightarrow D7$ (Mustakerov & Borissova, 2008). В резултат на полученото решение се определят началните моменти на започване на обработката на отделните детайли на всяка машина, както и крайните моменти на завършване на обработката на всеки детайл (Фиг. 5.1).



Фиг.5.1. Оптимално разписание при последователност за обработка $D1 \rightarrow D2 \rightarrow D3 \rightarrow D4 \rightarrow D5 \rightarrow D6 \rightarrow D7$

Определяне на оптимални разписания за смесена (независима и зависима) обработка на детайли върху множество машини

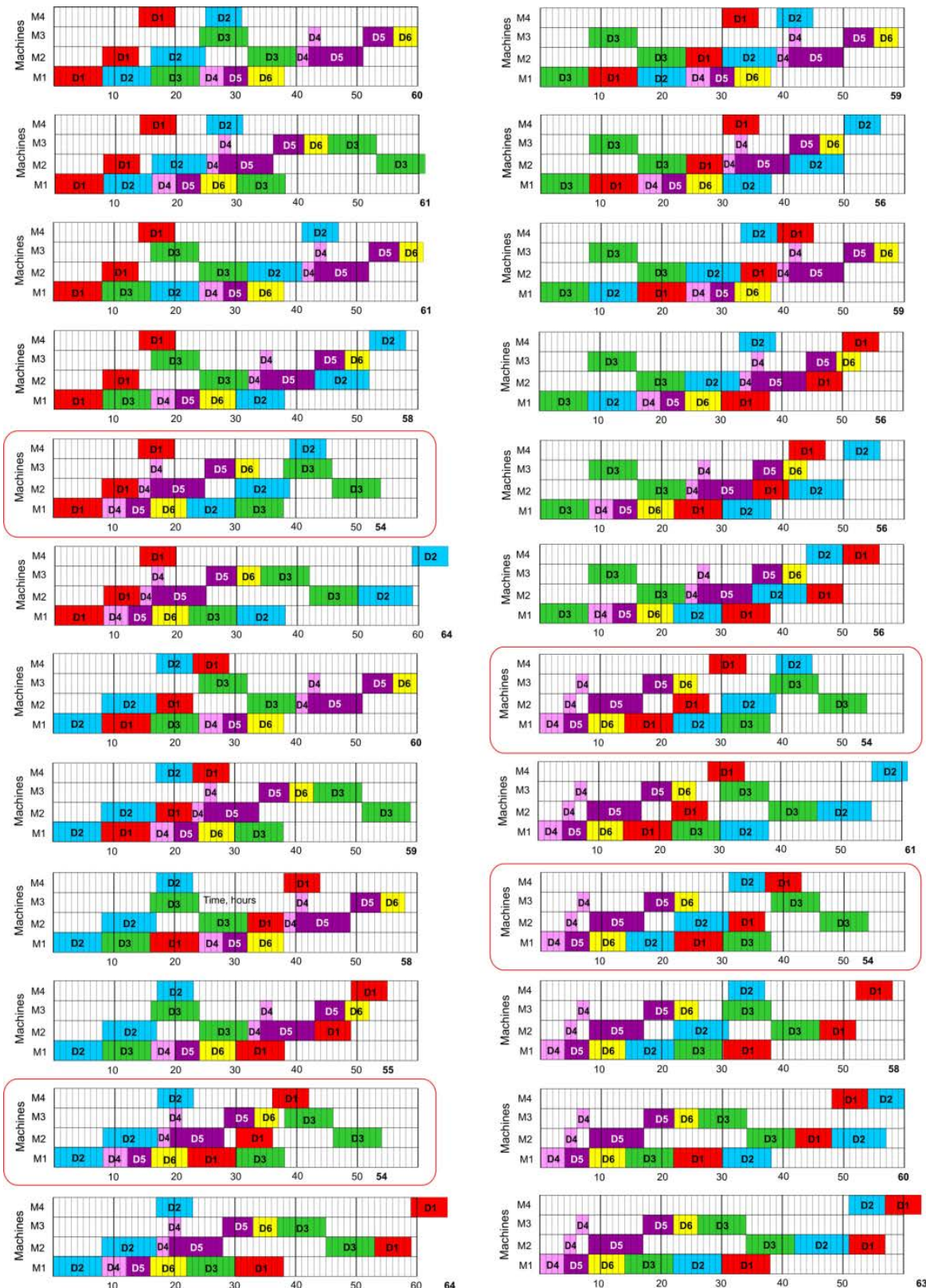
При смесената обработка на детайли съществува определена последователност на обработката само на част от детайлите, докато за останалите детайли последователността за обработката не е фиксирана. Обобщеният модел (5.1) – (5.5) е използван и в този случай, като се определят възможни подредби на обработка на независимите детайли. За целта е разработен паралелен алгоритъм за смесена обработка (независима и зависима) на детайли върху множество машини, илюстриран на Фиг. 5.2 (Borissova & Mustakerov, 2014).



Фиг. 5.2. Алгоритъм за оптимално разписание при смесена обработка на детайли

Последователностите на операциите за всеки детайл са зададени като: $D_1 \{O_{11}, O_{12}, O_{14}\}$, $D_2 \{O_{21}, O_{22}, O_{24}\}$, $D_3 \{O_{31}, O_{33}, O_{32}\}$, $D_4 \{O_{41}, O_{42}, O_{43}\}$, $D_5 \{O_{11}, O_{12}, O_{13}\}$ и $D_6 \{O_{61}, O_{63}\}$. Обработката на детайли D_4 , D_5 и D_6 е зависима и трябва да се извърши в точно тази си последователност. Останалите детайли могат да се обработват в произволна последователност. Целта е да се определи разписание, което да свежда до минимум общият престой на машините и определя минимално време за общата обработка на всички детайли.

Резултатът от решаването на формулираните 24 задачи е илюстриран под формата на т. нар. *Гант-диаграми* на Фиг. 5.3, от където се вижда, че има повече от една възможна последователност за обработка на детайлите водеща до една и съща минимална продължителост. В такива случаи изборът на едно от тези разписания би могъл да се извърши по други обективни или субективни критерии.



Фиг. 5.3. Комбинации на разписания за смесена обработка на детайлите

Изчислителните трудности, възникващи при използването на обобщена оптимизационна задача, разглеждаща всички комбинации на обработката едновременно могат да бъдат преодоляни като се използват съвременните технологии за паралелни изчислителни алгоритми – напр. CUDA технологията. При наличието на зависима обработка между част от детайлите (в повечето реални задачи) сложните проблеми могат да се декомпозират до голям брой лесно изчислими задачи.

Обобщен модел за линейно разкрояване

Класическият проблем за линейно разкрояване разглежда разкрояването на стандартни заготовки на по-малки линейни отрязъци, като се цели минимизиране на отпадъците (Kantorovich, 1960; Gilmore & Gomory, 1961; Gilmore & Gomory, 1963) За разлика от класическия проблем, предложеният обобщен модел цели определяне не само оптималните схеми за разкрояване за всяка отделна заготовка, съобразно количеството на необходимите елементи, но и определяне на оптималната дължина на заготовките (Mustakerov & Borissova, 2014):

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^N (L - L_i) \right\}, i = 1, \dots, N \tag{5.80}$$

при ограничения

$$\forall i : L_i = \sum_{j=1}^J x_{ij} l_j, j = 1, \dots, J \tag{5.81}$$

$$\forall i : L_i \leq L \tag{5.82}$$

$$\forall j : \sum_{i=1}^N x_{ij} = k_{ij} \tag{5.83}$$

$$(L^* - \Delta_{\min}) \leq L \leq (L^* + \Delta_{\max}) \tag{5.84}$$

$$\forall j : x_{ij} = \begin{cases} \text{binary integer 0 or 1, if } N \leq k_{ij} \\ \text{integer, otherwise} \end{cases} \tag{5.85}$$

където N е броя на заготовките; L е оптималната дължина на заготовките; L_i е използваната дължина от всяка заготовка; l_j е дължината на елементите; x_{ij} са двоични целочислени променливи, присвоени на всеки елемент i и съответна заготовка j ; k_{ij} представлява необходимото количество за всеки елемент; $\Delta_{\min}$ и $\Delta_{\max}$ са зададените граници за допустимото отклонение от стандартната дължина на заготовките L^* .

Моделът е тестван за реален проблем за определяне на оптималните модели на разкрояване и оптималната дължина на заготовките (Mustakerov & Borissova, 2014), а получените резултати са показани в Таблица 5.6 и Таблица 5.7.

Таблица 5.6. Оптимална дължина на заготовките и отпадъци за всяка заготовка

Оптималната дължина на заготовките L , mm	Общо количество на отпадъците, mm	Използвана дължина от всяка заготовка, mm	Отпадъци от всяка заготовка, mm
6550	4110	$L_1 = 6330$	220
		$L_2 = 6330$	220
		$L_3 = 6030$	520
		$L_4 = 6030$	520
		$L_5 = 5680$	870
		$L_6 = 5680$	870
		$L_7 = 5680$	870
		$L_8 = 6530$	20
		$L_9 = 6550$	0

Таблица 5.7. Оптимални модели за разкрояване за всяка заготовка

	Елемент1	Елемент2	Елемент3	Елемент4	Елемент5	Елемент6	Елемент7
L_1	0	1	1	0	1	0	1
L_2	0	1	1	0	1	0	1
L_3	0	1	1	1	0	0	1
L_4	0	1	1	1	0	0	1
L_5	1	1	0	0	0	1	1
L_6	1	1	0	0	0	1	1
L_7	1	1	0	0	0	1	1
L_8	0	1	0	1	1	1	0
L_9	1	0	0	1	1	0	1

Намаляването на загубите при разкрояването е един от основните проблеми при производството на дограма. Описаният подход може да допринесе не само за намаляване на общите загуби чрез оптимизиране на дължината на заготовките и моделите на разкрояване, но също така може да намали общото време за производството и свързаните с него разходи. Съществено предимството на предложения модел е възможността за едновременно определяне както на оптималната дължина на заготовките, така и на оптималните модели на разкрояване за всяка една заготовка.

Обобщен модел за определяне на оптималния брой на персонала и графика за работа

Формулиран е обобщен оптимизационен модел, определящ оптималния брой персонала и графика за работа (Borissova & Mustakerov, 2013):

$$\min PT \tag{5.92}$$

при ограничения

$$PT \geq PT_{min} \tag{5.93}$$

$$PT \leq PT_{max} \tag{5.94}$$

$$x_j \geq 0, \text{ integer}, j \in J \tag{5.95}$$

$$y_j \geq 0, \text{ integer}, j \in J \tag{5.96}$$

$$x_j + h_j \leq PT \tag{5.97}$$

$$y_j + w_j \leq W \tag{5.98}$$

$$l_{jm} + l_{mj} + b_{jm} + b_{mj} = 1 \tag{5.99}$$

$$x_j + h_j \leq x_m + (1 - l_{jm})PT_{max} \tag{5.100}$$

$$y_j + w_j \leq y_m + (1 - b_{jm})W \tag{5.101}$$

$$SA = W*PT \tag{5.102}$$

$$SI = SA - OA \tag{5.103}$$

$$PT_{min} = \max\{h_j\} \tag{5.104}$$

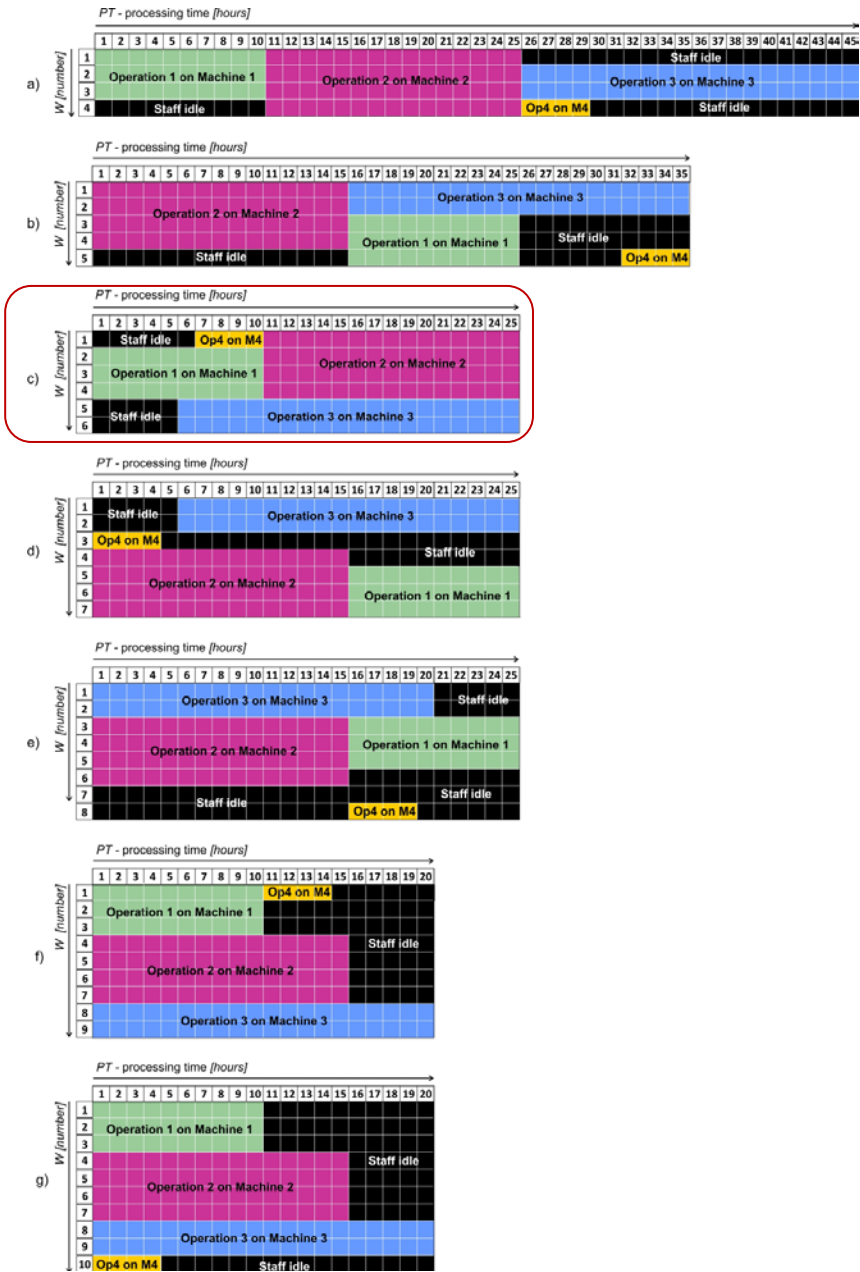
$$PT_{max} = \max \sum_{j=1}^J h_j \tag{5.105}$$

$$OA = \sum_{j=1}^J w_j h_j \tag{5.106}$$

където: PT – общо време за обработка, PT_{min} и PT_{max} – минималното и максималното време за обработка на една дейност, M – брой машини, W – брой оператори, обслужващи дадена машина, $SA = W*PT$ – заетост на операторите, $h_j, j \in J$, – време за обработка на j -тата машина, $w_j, j \in J$ – брой оператори, обслужващи j -тата машина, $W_{min} = \max \{w_j\}$ – минимален брой оператори, обслужващи машините, $W_{max} = \sum w_j$ – максимален брой оператори за обслужване на машините (при паралелна обработка), $OA = \sum w_j h_j$ – обща

площ на всички операции, $SI = SA - OA$ – престой на персонала, $l_{jm} = 0/1$ – променлива равна на 1 ако j -тия правоъгълник е разположен отляво на m -тия правоъгълник или 0, ако не е така, $b_{jm} = 0/1$ – променлива равна на 1 ако j -тия правоъгълник е разположен отдолу на m -тия правоъгълник или 0, ако не е така, x_j, y_j – корординати на левия горен ъгъл на j -тия правоъгълник, представящ j -тата операция на j -тата машина.

За да се определи оптималния брой оператори по отношение на минимален престой на персонала, оптимизационната задача (5.92) – (5.103) се решава за различен брой оператори (Фиг. 5.9).



Фиг. 5.9. Графично представяне на получените резултати

При определянето на оптималния брой оператори могат да бъдат използвани други критерии, като например минимално време за обработка. Използваният икономически критерий за минимален простой на операторите може да бъде модифициран с подходящи корекции, така че вземе предвид и други изисквания при определянето на оптималния брой оператори.

Глава 6: Модели и алгоритми за предсказващо поддържане

В тази глава са описани предложените математически модели и алгоритми за управление на предсказващото поддържане на инженерни системи при: 1) определяне на оптимална стратегия, базирана на оценки за приходи и разходите, и определяща ремонт или замяна на машина като цяло или на отделни нейни компоненти, 2) определяне на оптимална стратегия, отчитаща условията на неопределеност, 3) еднокритериален модел за определяне на оптималното разположение на зададен брой сензори и многокритериален модел за едновременно определяне на разположението и броя на сензорите за нуждите на мониторинга.

Определяне на оптимална стратегия, базирана на оценките на приходите и разходите

За целите на предсказващото поддържане са предложени два типа оценки за определяне на разходите и ползите (Mustakerov & Borissova, 2013):

$$CBE_{repair} = \frac{\alpha C_{repair_component}}{\beta P_{remaining}} \tag{6.3}$$

$$CBE_{new} = \frac{C_{new_component}}{P_{remaining}} \tag{6.4}$$

където $C_{repair_component}$ е цената за ремонт на компонента, $C_{new_component}$ е цената на замяната с нов компонент, α е коефициент, показващ колко пъти компонентът е повреден, $P_{remaining}$ е печалбата от оставащото полезно време на работа на компонента, β е коефициент, който показва дали компонентът е ремонтиран ($0 < \beta < 1$) или е заменен с нов ($\beta = 1$).

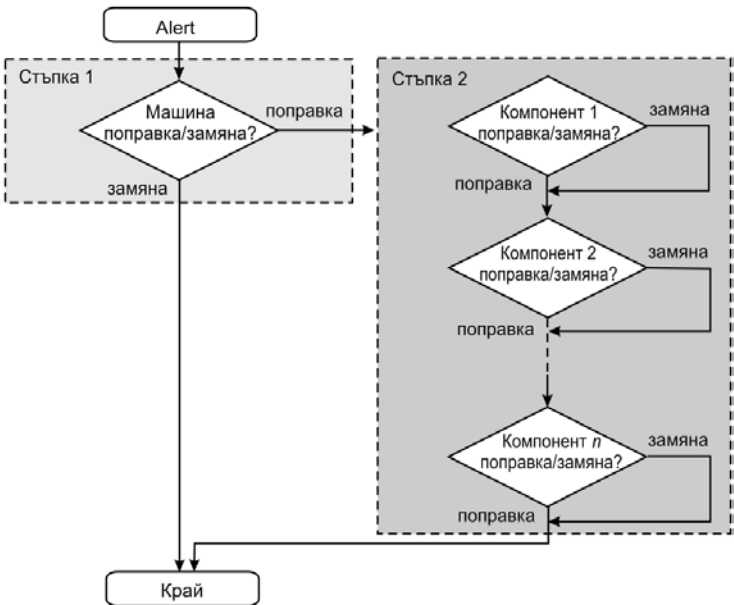
Процесът на вземане на решение за определяне на подходяща стратегия за поддръжка може да се реализира на два етапа (Фиг. 6.3). На първия етап се разглеждат две алтернативни – да се ремонтира машината или да смени машината като цяло в резултат на решаване на следната оптимизационна задача (Mustakerov & Borissova, 2013):

$$\max \left(\sum_{i=1}^n x CBE_i^{repair} + \sum_{i=1}^n y CBE_i^{new} \right) \tag{6.5}$$

при ограничения

$$x + y = 1, \quad x, y \in \{0, 1\} \tag{6.6}$$

където x, y са двоични целочислени променливи за всяка алтернатива.



Фиг. 6.3. Алгоритъм на вземане на решения при предсказващо поддържане

Стратегията за ремонт/замяна за всеки отделен компонент се определя от решаването на следния оптимизационен проблем (Mustakerov & Borissova, 2013):

$$\max \left(\sum_{i=1}^n x_i CBE_i^{repair} + \sum_{i=1}^n y_i CBE_i^{new} \right) \tag{6.7}$$

при ограничения

$$\forall i \in \{1,2,\dots,n\}: \sum_{i=1}^n x_i + y_i = 1, \tag{6.8}$$

$$x_i, y_i \in \{0, 1\} \tag{6.9}$$

където x_i, y_i са двоични целочислени променливи присвоени към всеки компонент на машината.

Предложеният подход е илюстриран на базата на реален пример за предсказващо поддържане, включващ 4 компонента. Числените резултати показват приложимостта на предложения подход и ефективността на описаните математически модели за определяне на оптимална стратегия за техническа поддръжка.

Определяне на оптимална стратегия, отчитаща условията на неопределеност

Предложена е структура за система за подпомагане вземането на решения за целите на предсказващото поддържане, реализирана от четири основни слоя за мониторинг на състоянието, управление на моделите и знанията и оценка на състоянието (Borissova & Mustakerov, 2012). Приложимостта на предложената система е тествана на базата на реален пример с три алтернативи за техническо обслужване (ремонт, замяна, не се прави нищо) за всяка от машините. Решението за избор на подходяща стратегия за поддръжка зависи от оценката на състоянието на машините. Оценките на полезността E_{ij} за съответните алтернативи са показани в Таблица 6.4 (Borissova & Mustakerov, 2013).

Таблица 6.4. Оценки на полезността за съответните алтернативи

Алтернатива	Оценки на полезността		
A1	60	30	65
A2	40	20	70
A3	80	10	-5

Използвайки критериите на Валд, Савидж и Лаплас водят до избор на алтернатива A1. Всички тези примери показват, че с използването на подходящ критерий може да бъде определена най-добрата стратегия, която да подпомага вземането на решения, за целите на предсказващото поддържане, при отчитане условията на неопределеност.

Обобщен еднокритериален модел за определяне оптималното разположение на сензори за мониторинг на състоянието

За да се определи оптималния брой на сензорите, някои от тях трябва да отпаднат без значително да влияят на загубата на информация. Тази идея е реализарана чрез следния еднокритериален обобщен оптимизационен модел за определяне разположението на сензори (Borissova и др., 2012):

$$\max \left\{ \sum_{i=1}^p \sum_{j=2}^{n-1} x_j \left| \phi_j^i - \frac{\phi_{j-1}^i - \phi_{j+1}^i}{2} \right| \right\} \tag{6.31}$$

$$\sum_{j=1}^n x_j = m, \quad x_j \in \{0,1\} \tag{6.32}$$

където ϕ_j^i е стойността от i -ия режим в j -тата позиция на сензора, $(\phi_{j-1}^i - \phi_{j+1}^i)/2$ са редуцираните данни в случая на липсващ сензор чрез линейна интерполация на данните

от съседните за него сензори, x_j са двоични целочислени променливи, присвоени към всяко потенциално местоположение на сензорите.

За да се илюстрира приложимостта на този модел, са използвани данните за три режима на динамични натоварвания и 10 сензорни местоположения, които са използвани за формулиране на следната еднокритериална оптимизационна задача (Borissova и др., 2012):

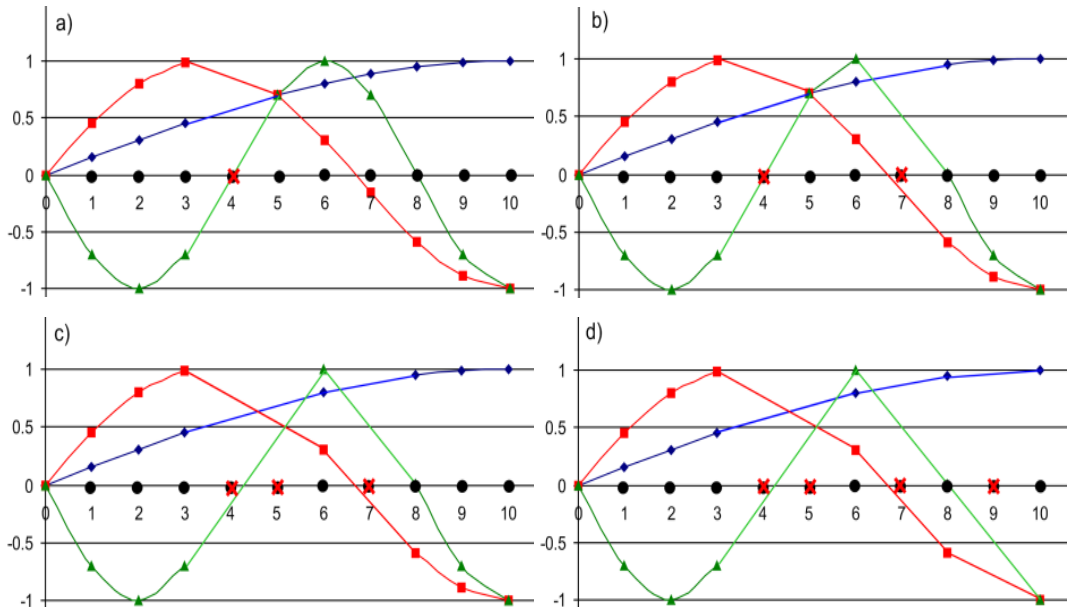
$$\max \left\{ \sum_{i=1}^p \sum_{j=2}^{n-1} x_j \left| \phi_j^i - \frac{\phi_{j-1}^i - \phi_{j+1}^i}{2} \right| \right\} \tag{6.33}$$

$$\sum_{j=1}^n x_j = m, \quad x_j \in \{0,1\} \tag{6.34}$$

$$x_1 = 1 \tag{6.35}$$

$$x_{10} = 1 \tag{6.36}$$

Целта на задачата (6.33) – (6.36) е да се определят оптималните местоположения на 9, 8, 7 и 6 сензора ($m = 9, 8, 7, 6$) при потенциални 10 местоположения и да се оцени общата грешка в данните. Получените резултатите са илюстрирани на Фиг. 6.8.



Фиг. 6.8. Криви на динамичните натоварвания при наличие на:
а) 9 сензора, б) 8 сензора, в) 7 сензора, г) 6 сензора

Отличителна особеност на предложения модел, е че оптималните местоположения на сензорите се определят като едновременно се отчитат всички режими на динамични натоварвания и предварително зададените местоположения на сензорите.

Обобщен многокритериален модел за определяне на броя и разположението на сензори за мониторинг на състоянието

Проблемът за оптималното определяне на местоположението на сензори при мониторинга за целите на предсказващото поддържане, може да бъде представен чрез многокритериален оптимизационен модел за едновременно определяне на броя и разположението на сензорите. Този проблем е представен математически чрез следния обобщен модел (Mustakerov & Borissova, 2014):

$$\begin{aligned} & \max \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n |x_j \phi_{i,j} + y_j \phi_{i,j}^*| \\ & \min \sum_{j=1}^n x_j \end{aligned} \quad (6.37)$$

при ограничения

$$\phi_{i,j}^* = \left| \frac{(\phi_{i,j-1} + \phi_{i,j+1})}{2} \right| \quad (6.38)$$

$$x_j + y_j = 1 \quad (6.39)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad (6.40)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad (6.41)$$

където x_j са двоични целочислени променливи, присвоени към всяко потенциално местоположение на сензор; $\phi_{i,j}^*$ е стойността на ленейната интерполация, ако сензор j не е поставен; y_j са двоични целочислени променливи, присвоени към $\phi_{i,j}^*$; p е брой на режимите на динамичните натоварвания; n е брой на потенциалните местоположения на сензорите. Зависимостта (6.39) изразява факта, че ако местоположението на сензор j е заето, то не се налага интерполация на данните и обратно.

Използвани са данните за първите 5 режима на динамични натоварвания и на база на предложения модел е формулирана следната оптимизационна задача (Mustakеров & Borissova, 2014):

$$\max \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{10} |x_j \phi_{i,j} + y_j \phi_{i,j}^*| \quad (6.42)$$

при ограничения

$$\phi_{i,j}^* = \left| \frac{(\phi_{i,j-1} + \phi_{i,j+1})}{2} \right| \quad (6.43)$$

$$x_j + y_j = 1, j = 1, 2, \dots, 10 \quad (6.44)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad (6.45)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad (6.46)$$

$$x_1 = 1, x_{10} = 1 \quad (6.47)$$

Решението на тази задача представлява идеалния случай, когато всичките 10 сензора са налице, което ще осигури максималната стойност на целвата функция. На втория етап от изпълнението на лексикографския метод, еднокритериалната оптимизационна задача има вида:

$$\min \sum_{j=1}^{10} x_j, \forall x_j \in \{0, 1\} \quad (6.48)$$

при ограничения

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{10} |x_j \phi_{i,j} + y_j \phi_{i,j}^*| \geq \alpha \left(\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{10} |x_j \phi_{i,j} + y_j \phi_{i,j}^*| \right)^{optimum} \quad (6.49)$$

$$\phi_{i,j}^* = \left| \frac{(\phi_{i,j-1} + \phi_{i,j+1})}{2} \right| \quad (6.50)$$

$$x_j + y_j = 1 \quad (6.51)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, y_j \in \{0, 1\} \quad (6.52)$$

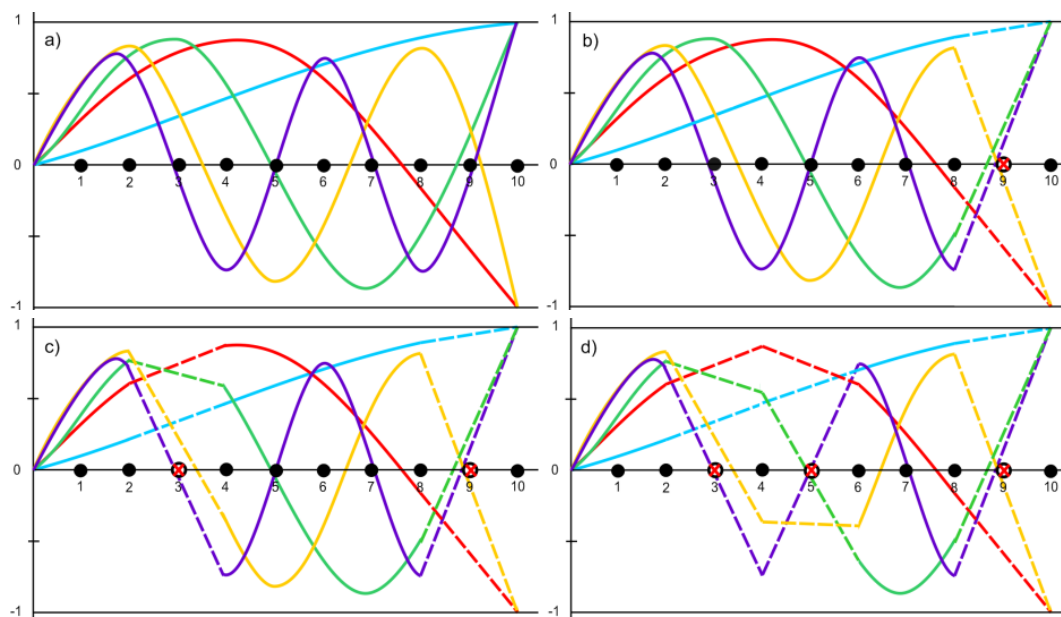
$$x_1 = 1, x_{10} = 1 \quad (6.53)$$

където $\left(\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{10} |x_j \phi_{i,j} + y_j \phi_{i,j}^*| \right)^{optimum}$ е оптималната стойност, определена от първия етап на

лексикографския метод. Чрез коефициента α се определя с колко е допустимо да се отличават данните, когато се използват по-малко сензори за мониторинга.

Получените резултати за определяне на оптимален брой и разположение на сензорите са показани на Фиг. 6.9.

За разлика от еднокритериалния модел, при формулирания многокритериален модел се определя както броя на сензорите за мониторинга, така и техните местоположения. Това се постига чрез въведения коефициент α , чрез който се задава допустимото отклонение на данните от идеалните криви на динамичните натоварвания. И в двата модела данните за местоположението без сензор се определят чрез линейна интерполация от двата съседни за него сензора.



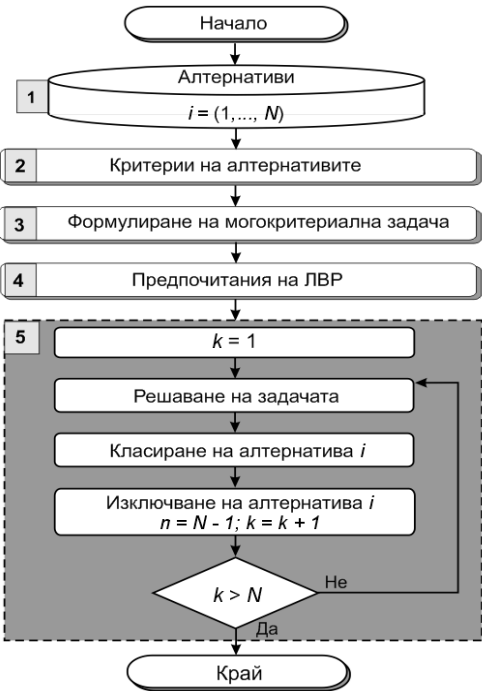
Фиг. 6.9. Резултати при: а) 10 сензора; б) $\alpha = 0.98\%$ и 9 сензора; в) $\alpha = 0.97\%$ и 8 сензора; г) $\alpha = 0.95\%$ и 7 сензора

Глава 7: Модели и алгоритми за обоснован избор на алтернативи

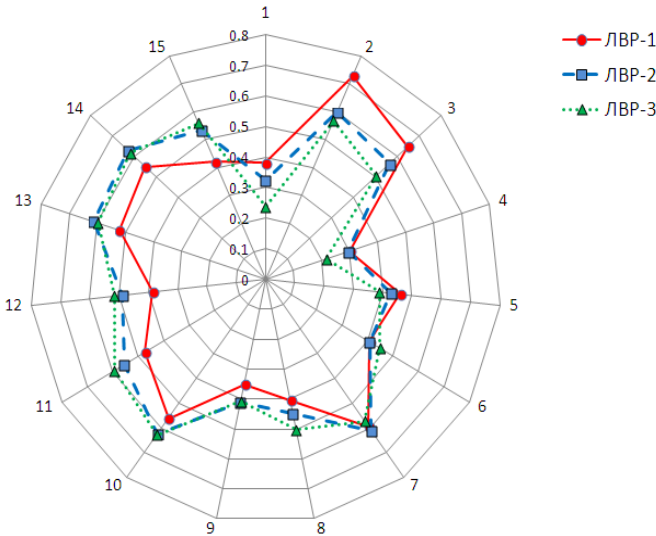
В тази глава са описани модели и алгоритми на за обоснован избор на алтернативи при: 1) избор чрез класиране, 2) избор на k -най добри алтернативи, 3) избор на алтернатива с отчитане на околната среда, 4) избор на алтернатива чрез групово вземане на решения.

Обобщен алгоритъм за избор чрез класиране

Идеята на предложения подход е да се симулира на поведението на ЛВР в условията на многокритериален избор чрез последователно решаване на множество многокритериални задачи за разлика от съществуващите модели като *scoring models* (Nelson, 1986), *AHP* (Garcia-Cascales & Lamata, 2009), *ANP* (Saaty, 2005; Wu & Lee, 2007), *ELECTRE* (Wang & Triantaphyllou, 2008), *PROMETHEE* (Behzadian и др., 2010), *utility models* (Kalouptsidis и др., 2007), *TOPSIS* (Behzadian и др., 2012) и *axiomatic design* (Kulak и др., 2010). Предложеният обобщен алгоритъм за класиране на алтернативите чрез използване на многокритериална оптимизация, е илюстриран графично на Фиг. 7.1 (Mustakerov & Borissova, 2013). Получените решения на етап 5 от алгоритъма са в съответствие с предпочитанията на ЛВР и позволяват алтернативите да се подредят в един оценъчен списък, подпомагащ вземането на решение.



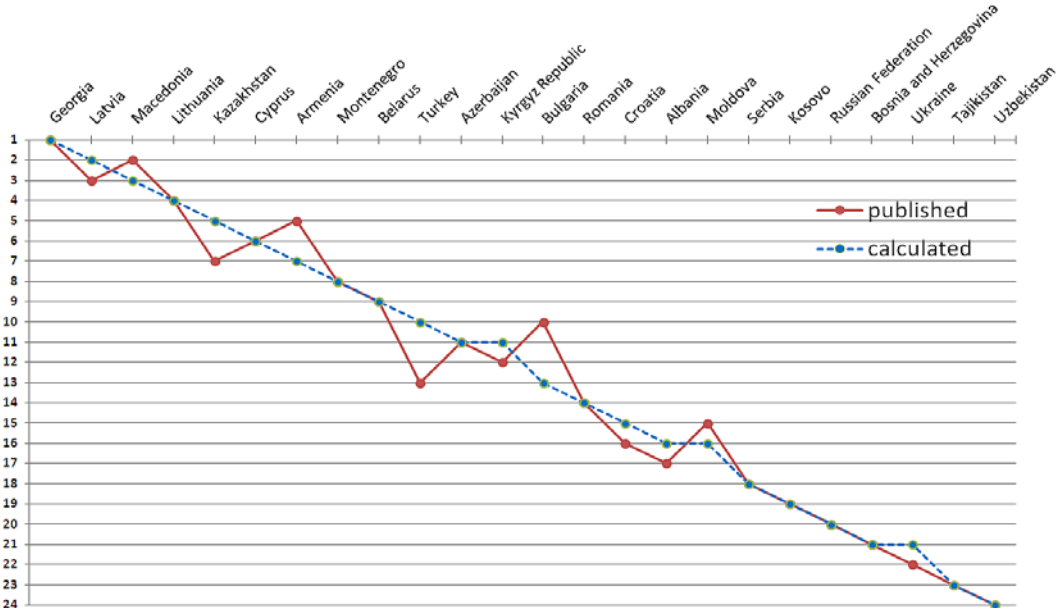
Фиг. 7.1. Обобщен алгоритъм за класиране на алтернативи



Фиг. 7.2. Стойности на целевите функции на класираните 15 устройства

За тестване на приложимостта на предложения алгоритъм са използвани реални данни за 15 устройства и 3 предпочитанията на ЛВР (Фиг. 7.2).

Друг числен пример, който може да служи като доказателство за приложимостта на описания алгоритъм в различни области, е класирането на държави за правене на бизнес. Броят на използваните икономически индикатори за подобна класация е определен от Световната Банка (*Economy rankings*, 2013). В зависимост от броя на държавите, участващи в класацията, се определят и възможните стойности за икономическите показатели, като не се допуска оценяване на две или повече държави по едни и същи икономически индикатори да имат еднакви стойности. На Фиг. 7.3 са показани получените резултати за държавите от Източна Европа и Централна Азия при еднаква важност на икономическите показатели (с прекъснатата линия), сравнени с резултатите от Световната Банка (с непрекъснатата линия) (Mustakerov & Borissova, 2013).

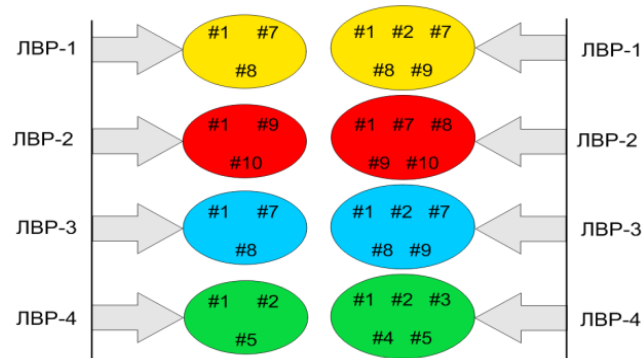


Фиг. 7.3. Сравнение на резултатите

Обяснението на наблюдаваните разлики при сравнение на резултатите от използването на предложения алгоритъм за класиране с резултатите, публикувани от Световната Банка е, че в класирането на Световната Банка се използват средноаритметични стойности, които се закръгляват до цяло число. Например, средноаритметичните стойности за Македония и Латвия са 7.1 и 6.6 и когато тези стойности са закръглят до цяло число, формирайки класацията от 1 до 24 без повторения. Използвайки предложия алгоритъм за класиране, стойностите на целевите функции се отчитат без закръгляване (0.2434783 за Латвия и 0.2652174 за Македония). Това означава, че Латвия има по-добри икономически показатели и следва да се класира преди Македония.

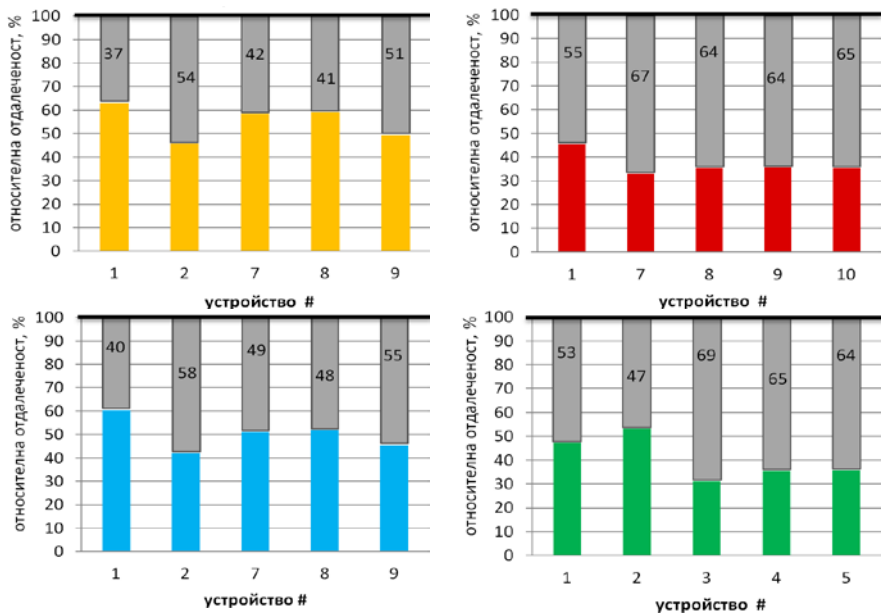
Многокритериален оптимизационен модел за избор на k най-добри алтернативи

Идеята за k най-добри алтернативи е редуциране броя на алтернативите до зададен брой алтернативи, вземайки предвид потребителските изисквания. Предложеният оптимизационен модел позволява определяне на k най-добри устройства, чрез решаване на една единствена многокритериална оптимизациона задача (Borissova & Mustakerov, 2013). Определените 3 и 5 най-добри алтернативи са показани на Фиг. 7.4.



Фиг. 7.4. k най-добри УНВ при различни предпочитания на ЛВР: а) $k = 3$; б) $k = 5$

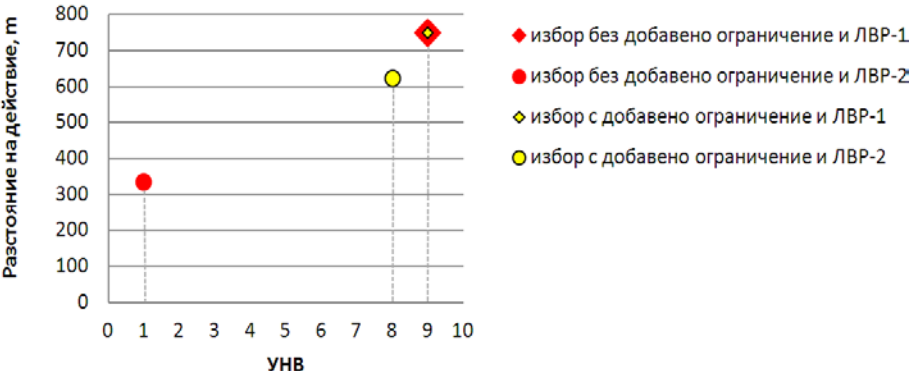
За подпомагане на ЛВР при вземане на окончателното решение е предложена процедура, чрез оценяване на всяка от тези k най-добри алтернативи на устройства, спрямо едно “идеално” устройство (Borissova & Mustakerov, 2013), а резултатите са показани на Фиг. 7.5.



Фиг. 7.5. Отдалеченост на 5 най-добри устройства за различни ЛВР

Избор на алтернатива с отчитане на околната среда

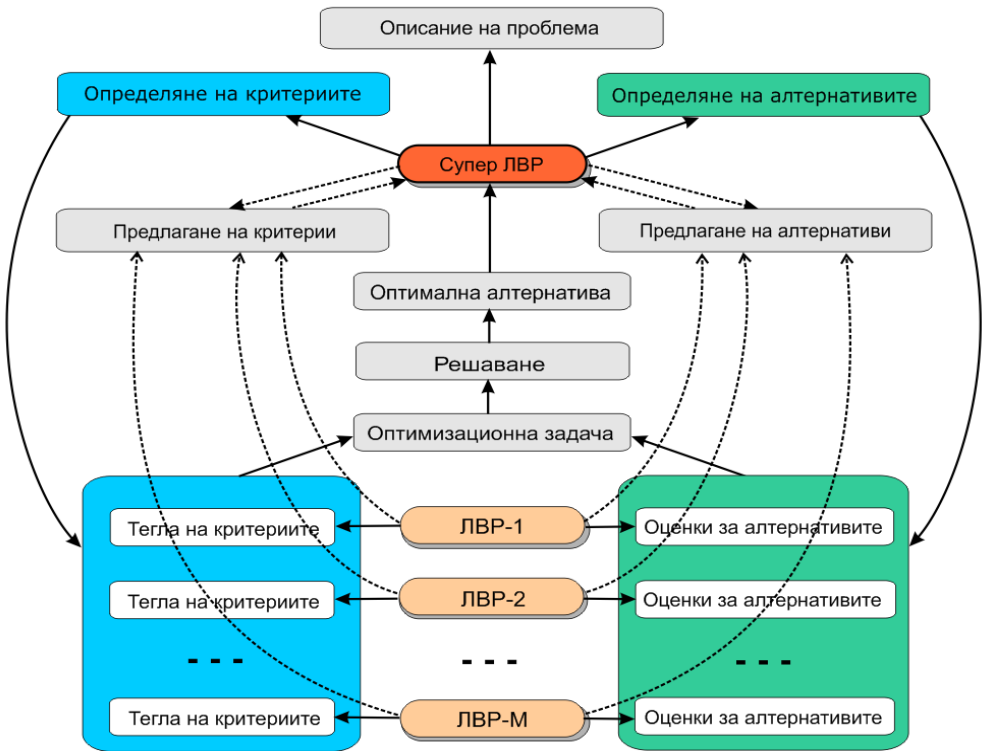
Формулиран е математически модел, в който разстоянието на действие на УНВ се разглежда като функция на параметрите на отделните модули на устройството и едновременно с това се отчитат и стойностите на предполагаемите външни условия на наблюдение (Borissova, 2008; Borissova & Mustakerov, 2008). Получените резултати от решаването на оптимизационните задачи за избор на устройство, отчитайки както параметрите на самото устройство, така и предполагаемите външни условия на наблюдение са показани на Фиг. 7.6.



Фиг. 7.6. Избор на УНВ при отсъствие и наличие на допълнително ограничение за разстоянието на действие и при различни предпочитания на ЛВР

Обобщен модел за групово вземане на решения

Присъствието на субективен фактор във всяко човешко решение се обяснява с различната степен, в която различните индивиди притежават определени качества, имащи пряко отношение към проблема. Ако ликвидирането на субективния фактор е почти невъзможно, то неговото минимизиране е стремеж на доброто управление. Това може да стане, когато се използват повече мнения, т.е. при използването на групов подход за вземане на решения – Фиг. 7.7 (Mustakerov & Borissova, 2014).



Фиг. 7.7. Алгоритъм за групово вземане на решения

На база на представената схема за групово вземане на решения е формулиран обобщен оптимизационен модел за групово вземане на решения (Mustakerov & Borissova, 2014):

$$\max \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K w_i^k A_i^k \quad (7.43)$$

при ограничения

$$\forall i=1,2,\dots,M: (\forall k=1,2,\dots,K: A_i^k = \sum_{j=1}^J a_{i,j}^k x_j) \quad (7.44)$$

$$\sum_{j=1}^J x_j = 1, x_j \in \{0,1\} \quad (7.45)$$

където двоичните целочислени променливи x_j са присвоени към всяка алтернатива.

Моделът (7.43) – (7.45) е използван за групово вземане на решение за реален проблем при избор между 3 алтернативи, оценявани по 19 критерия и наличие на 6 ЛВР (Mustakerov & Borissova, 2014). Формулирана е еднокритериална оптимизационна задача, решението на която гарантира получаването на оптимален избор на алтернатива.

Друго предимство на предложения оптимизационен модел, е лесното му модифициране и разширяване, когато е необходимо да се вземат предвид и други аспекти на груповото вземане на решения. Например, при необходимост от отчитане компетентностите на участващите в групата лица, вземащи на решения. В този случай, моделът (7.43) – (7.45) се модифицира до следното представяне:

$$\max \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \alpha^k w_i^k A_i^k \quad (7.152)$$

при ограничения

$$\forall i=1,2,\dots,M: (\forall k=1,2,\dots,K: A_i^k = \sum_{j=1}^J a_{i,j}^k x_j) \quad (7.153)$$

$$\sum_{j=1}^J x_j = 1, x_j \in \{0,1\} \quad (7.154)$$

$$\alpha^k \in (0,1) \quad (7.155)$$

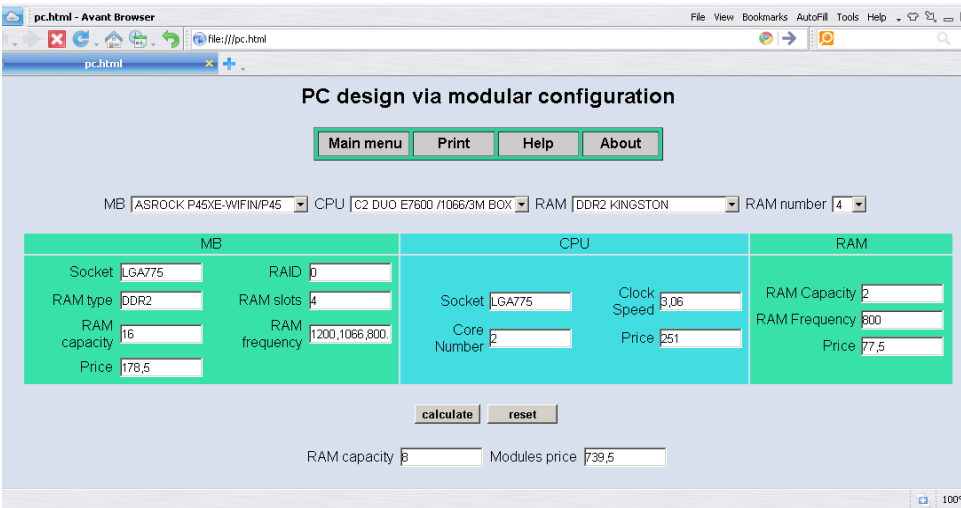
където допълнително са въведени α^k като коефициенти, изразяващи компетентността на всеки ЛВР.

Глава 8: Софтуерни инструменти за приложения в инженерни системи

В тази глава са описани софтуерни инструменти, реализиращи описаните в предните глави модели, методи и алгоритми. Част от тези инструменти са разработени като напълно функционални системи, докато друга част са реализирани като изследователски прототипи, позволяващи апробирането на предложените методи. Описани са уеб базирани системи за проектиране на: уреди за нощно виждане, персонални компютри, ветроенергийни паркове и за групово вземане на решение. В областта на оптималните разписания, ветроенергийни паркове и линейно разкрояване са разработени изследователски прототипи на специализирани софтуерни системи, използващи оптимизационни модули.

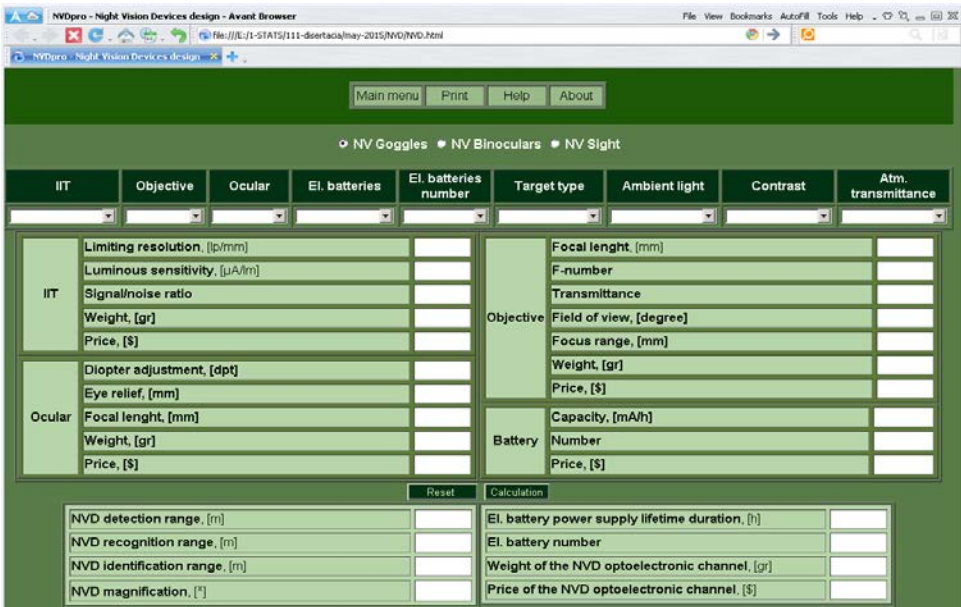
Уеб-базирани системи за подпомагане проектирането на модулни инженерни системи

Описаните в Глава 2 алгоритми за итеративно и рационално проектиране на модулни инженерни системи, взимащи предвид съществуващите взаимовръзки между модулите, (A1, A2, A3, A4, A5a, A5b и A6) са използвани при реализирането на уеб приложение за подпомагане проектирането на конфигурацията на ПК. Графичният потребителски интерфейс на това приложение е показан на Фиг. 8.3 (Mustakerov & Borissova, 2013).



Фиг. 8.3. Потребителски интерфейс на уеб приложението

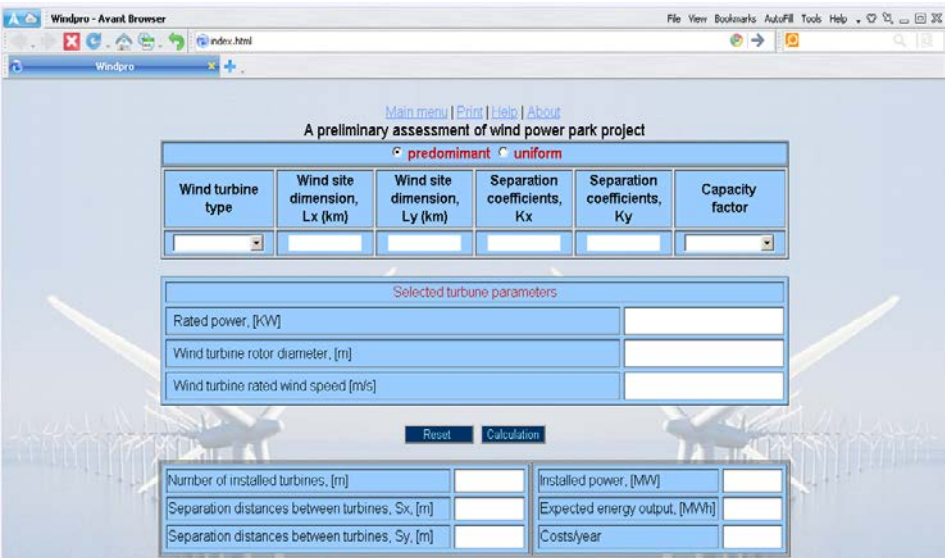
Потребителският интерфейс на приложението, подпомагащо проектирането на УНВ е показан на Фиг. 8.5 (Borissova и др, 2013).



Фиг. 8.5. Потребителски интерфейс на NVDpro

Приложението позволява проектиране на различни УНВ – очила, бинокъл или прицел, при използване на детерминирани или стохастични външни условия на наблюдение.

Предложеният алгоритъм за подпомагане проектирането на ВЕП, е реализиран в уеб приложение (Borissova & Mustakerov, 2014) – Фиг. 8.6.



Фиг. 8.9. Графичен потребителски интерфейс на уеб приложението

Предложеният подход за групово вземане на решение е апробиран в прототип на софтуерен инструмент за групово вземане на решение с основен екран, показан на Фиг. 8.10 (Mustakerov & Borissova, 2014)

[MENU](#)
[PRING](#)
[HELP](#)
[ABOUT](#)

GROUP DECISION MAKING

Number of Decision Makers

6

Number of Criteria

19

Number of Alternatives

3

Generate the matrix

Criteria	Weightings						Alternative 1						Alternative 2						Alternative 1					
	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6	DM1 eval	DM2 eval	DM3 eval	DM4 eval	DM5 eval	DM6 eval	DM1 eval	DM2 eval	DM3 eval	DM4 eval	DM5 eval	DM6 eval	DM1 eval	DM2 eval	DM3 eval	DM4 eval	DM5 eval	DM6 eval
C1	2	4	8	8	6	10	2	4	6	1	1	1	10	5	8	9	9	9	8	4	6	8	9	2
C2	10	8	8	8	8	4	9	8	7	7	6	7	9	8	7	1	2	10	3	1	5	1	2	10
C3	10	10	8	4	8	10	9	2	8	7	6	7	10	4	7	10	9	10	6	5	7	8	8	10
C4	6	2	6	6	6	6	10	6	4	4	4	3	10	2	8	7	8	8	8	8	8	6	7	2
C5	10	4	10	10	10	8	3	1	9	1	2	1	5	10	7	3	2	7	3	7	2	8	9	9
C6		2	8	6	6	8	4	5	3	1	2	1	10	5	7	8	7	7	5	9	2	7	7	3
C7	6	6	6	8	8	6	8	9	4	2	2	8	9	6	10	7	5	10	7	4	6	7	8	8
C8	10	8	10	8	8	10	6	4	6	2	2	2	8	7	8	7	5	10	5	10	6	7	8	3
C9	6	10	8	10	10	8	5	6	8	2	2	8	6	10	6	2	1	5	6	5	6	5	7	9
C10	4	2	8	6	6	6	2	10	8	1	1	1	4	8	8	7	6	9	10	10	6	9	9	9
C11	8	8	10	10	10	10	6	5	6	1	1	1	8	9	8	8	9	7	7	4	2	7	8	2
C12	10	4	10	6	8	10	2	8	2	1	1	1	10	1	7	6	6	8	6	6	5	6	6	5
C13	10	2	10	6	8	10	1	1	2	1	1	1	8	2	8	7	6	9	5	10	5	7	6	5
C14	8	6	8	10	10	8	3	6	2	1	1	1	9	5	8	7	8	10	4	4	2	6	6	7
C15	4	8	6	8	10	10	5	4	2	1	1	1	8	10	6	8	8	10	4	8	2	8	7	8
C16	4	4	8	10	10	10	7	8	1	1	1	1	7	9	9	8	7	9	7	10	1	7	8	7
C17	6	6	10	10	10	6	10	9	10	7	5	10	3	8	4	5	4	5	5	9	2	8	8	7
C18	6	8	8	10	10	6	4	4	1	1	1	1	2	6	1	1	1	1	1	10	1	1	2	1
C19	4	2	6	10	10	4	4	2	1	1	2	1	8	8	6	7	6	8	3	8	2	6	5	6

Optimal solution

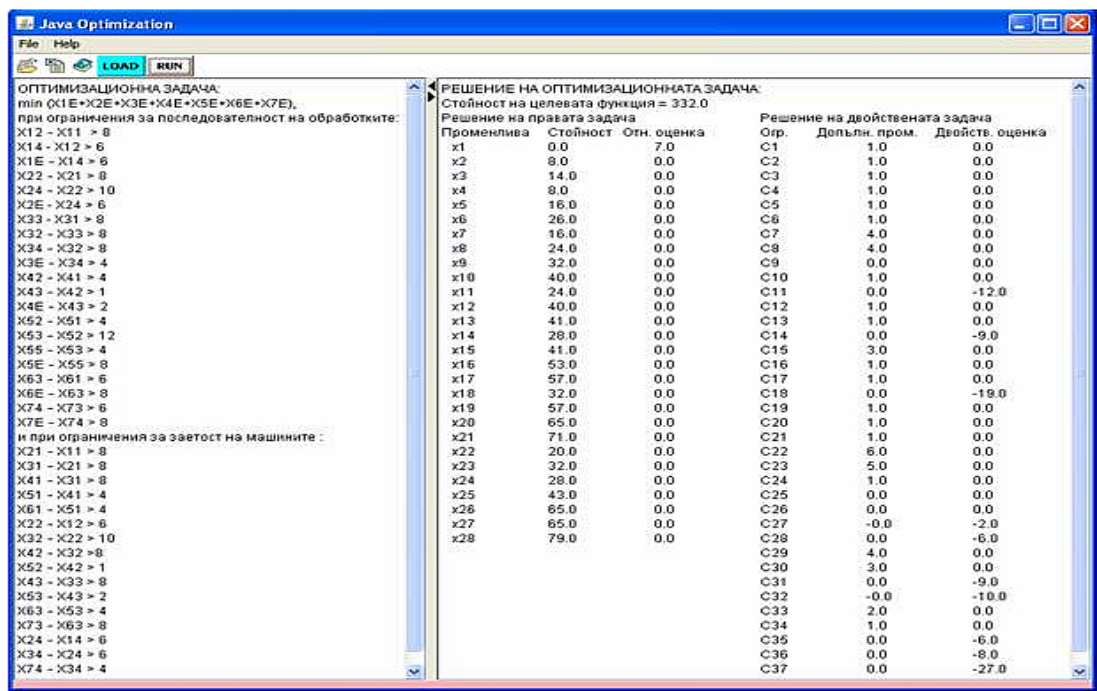
alternative A2

Фиг. 8.10. Основен екран на прототип на система за групово вземане на решение

Специализирани софтуерни системи

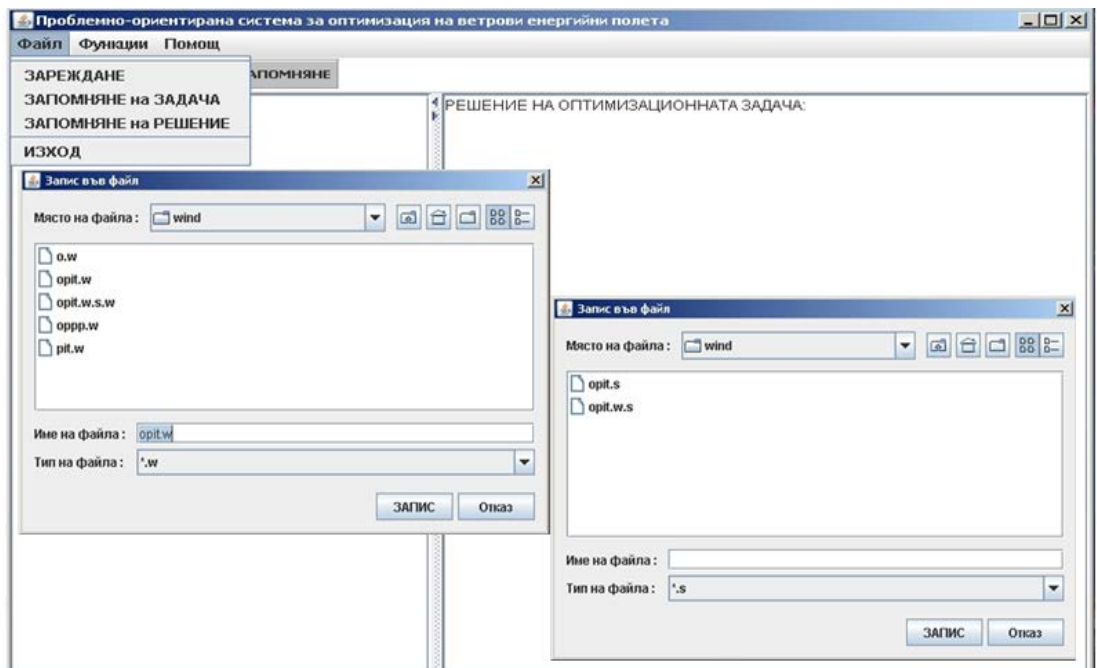
Разработени са и специализирани софтуерни системи, използващи оптимизационни модули като LINDO API и Solver. LINDO API осигурява необходимите средства за решаване на широк спектър от задачи за оптимизация от линейно програмиране, смесено-целочислено програмиране, квадратично програмиране, както и нелинейни и неизпъкнали задачи.

В разработените специализирани системи за определяне на оптимални разписания “J-Opti” – Фиг. 8.13 (Mustakerov & Borissova, 2009) и за оптимално проектиране на ветроенергийни паркове “Wind” – Фиг. 8.14 е използван оптимизационен модул LINDO API.



Фиг. 8.13. Главно меню на системата

Формулираните задачи в системата “Wind” имат различни разширения от задачите за разписания, поради това те еднозначно се асоциират с конкретната програмна система и прави възможно тяхното редактиране или модифициране на по-късен етап.



Фиг. 8.14. Проблемно-ориентирана система за оптимално проектиране на ВЕП

Специализиран оптимизационен модул, съвместим с електронните таблици е използван при разработването на приложения за определяне на оптимални разписания – Фиг. 8.15, (Borissova, 2008) и оптимално линейно разкрояване – Фиг. 8.17.

Заклучение

Глобализационните процеси, наблюдавани в съвременния свят поставят все по-големи изисквания за понижаване на производствените разходи, за конкурентоспособност в световен мащаб и за използване на научно-обосновани методи при вземането на решения. Развитието на компютърните технологии и постоянно растящата им изчислителна мощност позволяват ефективно използване на оптимизационни модели, водещи до задачи с голяма размерност. Наличието на модерни компютърни средства и ефективни изчислителни методи, са добра основа за развитие на научно-обосновани подходи при решаване на реални научно-приложни проблеми от различни области. За построяването на адекватен математически модел от особена важност е определянето на зависимостите, описващи количествените връзки между изходните данни и параметрите на решението, които се използват като индикатор за ефективността на това решение. За всеки конкретен проблем е необходимо да бъде формулиран съответен модел, който най-добре да отразява спецификата и изискванията към моделирания обект или процес. В дисертационния труд са предложени обобщени модели, приложими за определени класове инженерни проблеми. Те са използвани за формулиране на едно- или многокритериални оптимизационни задачи, които са тествани числено на базата на реални примери от практиката на инженерните системи. Част от предложените методи, модели и алгоритми са реализирани в подходящи софтуерни инструменти, подпомагащи оптимално проектиране, планиране и управление на инженерни системи.

Като бъдещо развитие на изследванията в дисертационния труд се предвижда използване на други методи за решаване на формулираните задачи, както и модифициране и разширяване на предложените модели, методи и алгоритми за други области на приложение.

Получените резултати, описани в дисертационния труд, са отразени в общо 33 научни публикации, представени на 5 международни научни форума, в 13 специализирани международни списания и в списания с импакт фактор, и 1 глава от книга. До момента са забелязани общо 89 цитирания на публикациите по настоящия дисертационен труд.

Научни и научно-приложни приноси

Приносите с научен и научно-приложен характер в настоящия дисертационен труд са свързани с обработката на информация чрез формализация на проблеми, свързани с инженерни системи. Чрез тази формализация са създадени адекватни математически модели, позволяващи използване на оптимизационни методи и алгоритми. Част от предложените методи и алгоритми са реализирани в софтуерни инструменти, подпомагащи вземането на решения. Получените основни резултати в дисертационния труд са групирани както следва:

1. Предложени са обобщени модели и методи за оптимално проектиране на модулни инженерни системи от следните класове:
 - системи, вземащи предвид съществуващите взаимовръзки между модулите,
 - системи, вземащи предвид съществуващите взаимовръзки между модулите и външните експлоатационни условия,
 - системи, вземащи предвид както съществуващите взаимовръзки и външните експлоатационни условия, така и икономическата ефективност.
2. Предложени са обобщени модели и алгоритми за оптимално планиране на ресурси при:
 - зависима и смесена обработка на детайли,
 - линейно разкрояване, определящо едновременно както оптималните модели на разкрояване за всяка заготовка, осигуряваща минимални отпадъци, така и оптималната дължина на заготовките,
 - определяне на оптимален брой на персонала и на съответстващия му производствен график, осигуряващ минимален престой на персонала.
3. Предложени са модели и алгоритми за оптимално управление на предсказващо поддържане чрез:
 - определяне на оптимална стратегия за поддръжка, обосноваваща ремонт или смяна на машината като цяло или на отделни нейни компоненти,
 - определяне на оптимално разположение на зададен брой сензори и при едновременно определяне на броя и разположението на сензорите.
4. Предложени са обобщени модели и алгоритми за обоснован избор на алтернативи за проблеми от следните класове:
 - класиране на алтернативи,
 - определяне на k най-добри алтернативи,
 - избор на алтернатива с отчитане влиянието на околната среда,
 - групово вземане на решения.
5. Разработени са софтуерни инструменти за приложения в инженерни системи:
 - уеб-базирани системи за проектиране на: персонални компютри, уреди за нощно виждане, ветроенергийни паркове и за групово вземане на решение,
 - специализирани софтуерни системи, използващи оптимизационни модули за оптимални разписания, оптимално проектиране на ветроенергийни паркове и оптимално линейно разкрояване.

Списък на публикациите, в които са представени резултатите по дисертационния труд

- D1. Borissova, D., I. Mustakerov. A parallel algorithm for optimal job shop scheduling of semi-constrained details processing on multiple machines. *In Proc. Advanced Information Science and Applications – Vol. I, Int. Conf. on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2014)*, July 17-21, 2014, Santorini Island, Greece, ISBN: 978-1-61804-236-1, pp. 145-150.
- D2. Mustakerov, I., D. Borissova. A Web application for group decision-making based on combinatorial optimization. *In Proc. 4th Int. Conf. on Information Systems and Technologies (ICIST 2014)*, ISBN: 978-0-9561122-5-5, March 22-24, 2014, Valencia, Spain, pp. 46-56.
- D3. Borissova, D., I. Mustakerov. Web-based tool for preliminary assessment of wind power plant design. *In Proc. 4th Int. Confe. on Information Systems and Technologies (ICIST 2014)*, ISBN: 978-0-9561122-5-5, March 22-24, 2014, Valencia, Spain, pp. 139-149.
- D4. Mustakerov, I., D. Borissova. Multi-criteria model for optimal number and placement of sensors for structural health monitoring: Lexicographic method implementation. *Int. J. Advanced Modeling and Optimization*, ISSN: 1841-4311, Vol. 16(1), 2014, pp. 103-112.
- D5. Borissova, D., I. Mustakerov, E. Bantutov. Methodology for determining of surveillance conditions in relation to night vision devices performance. *Int. J. Advanced Modeling and Optimization*, ISSN: 1841-4311, Vol. 16(1), 2014, pp. 51-59.
- D6. Mustakerov, I., D. Borissova. One-dimensional cutting stock model for joinery manufacturing. *In Proc. Advanced Information Science and Applications – Vol. I, Int. Conf. on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2014)*, July 17-21, 2014, Santorini Island, Greece, ISBN: 978-1-61804-236-1, pp. 51-55.
- D7. Borissova, D., I. Mustakerov, E. Bantutov. Web-based architecture of a system for design assessment of night vision devices. *Int. J. of Information Science and Engineering*, pISSN 2010-376X, Vol. 7(7), 2013, pp. 62-67.
- D8. Mustakerov, I., D. Borissova. Data structures and algorithms of intelligent Web-based system for modular design. *Int. J. of Computer Science and Engineering*, pISSN 2010-376X, eISSN 2010-3778, Vol. 7(7), 2013, pp. 87-92.
- D9. Borissova, D., I. Mustakerov. An algorithm for an optimal staffing problem in open shop environment. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, pISSN 2010-376X, Vol. 76, 2013, pp. 46-50.
- D10. Mustakerov, I., D. Borissova. Modular systems design via multi-objective optimization. *Int. J. Advanced Modeling and Optimization*, ISSN: 1841-4311, Vol. 15(2), 2013, pp. 421-430.
- D11. Borissova, D., I. Mustakerov. K-best night vision devices by multi-criteria mixed-integer optimization modeling. *Int. J. of Information Science and Engineering*, pISSN 2010-376X, Vol. 7(10), 2013, pp. 205-210.
- D12. Mustakerov, I., D. Borissova. An intelligent approach for optimum maintenance strategy defining. *In Proc. Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2013 IEEE International Symposium on.* 19-21 June 2013, Print ISBN: 978-1-4799-0659-8, DOI: 10.1109/INISTA.2013.6577666.
- D13. Borissova, D., I. Mustakerov. A concept of intelligent e-maintenance decision making system. *In Proc. Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2013 IEEE International Symposium on.* 19-21 June 2013, Print ISBN: 978-1-4799-0659-8, DOI: 10.1109/INISTA.2013.6577668.
- D14. Mustakerov, I., D. Borissova. A combinatorial optimization ranking algorithm for reasonable decision making. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, ISSN 0366-8681 0861-1459, Tom 66(1) 2013, pp. 101-110. (IF= 0.210)
- D15. Mustakerov, I., D. Borissova. Investments attractiveness via combinatorial optimization ranking. *Int. J. of Management Science and Engineering*, pISSN 2010-376X, Vol. 7(10), 2013, pp. 230-235.
- D16. Mustakerov, I., D. Borissova. A discrete choice modeling approach to modular systems design. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, pISSN 2010-376X, Vol. 76, 2013, pp. 133-139.

- D17. Borissova, D., I. Mustakerov. An integrated framework of designing a decision support system for engineering predictive maintenance. *Int. Journal of Information Technologies & Knowledge*, ISSN 1310-0513, Vol. 6(4), 2012, pp. 366-376.
- D18. Borissova, D., I. Mustakerov, L. Doukovska. Predictive maintenance sensors placement by combinatorial optimization. *Int. J. of Electronics and Telecommunications*. ISSN 0867-6747, Vol. 58(2), 2012, pp. 153-158.
- D19. Mustakerov, I., D. Borissova. Wind park layout design using combinatorial optimization. *Wind Turbines*, Edited by: Ibrahim Al-Bahadly, ISBN 978-953-307-221-0, Hard cover, 652 pages, Publisher: InTech, April 2011, pp. 403-424.
- D20. Borissova, D., I. Mustakerov. A generalized combinatorial optimization approach to wind power plant design. *Cybernetics and Information Technologies*, ISSN: 1311-9702, Vol. 10(4), 2010, pp. 62-74.
- D21. Mustakerov, I., D. Borissova. Wind turbines type and number choice using combinatorial optimization. *Renewable Energy*. ISSN: 0960-1481, Vol. 35(9), 2010, pp. 1887-1894. (IF: 2.584).
- D22. Borissova, D., I. Mustakerov. A multicriteria approach to exploring combinations of external surveillance conditions defining a given NVD working range value. *Cybernetics and Information Technologies*, ISSN: 1311-9702, Vol. 9(4), 2009, pp.102-109.
- D23. Borissova, D., I. Mustakerov. A generalized optimization method for night vision devices design considering stochastic external surveillance conditions. *Applied Mathematical Modelling*, ISSN: 0307-904X, Vol. 33, 2009, pp. 4078-4085. (IF: 1.375).
- D24. Mustakerov, I., D. Borissova. Използване на LINDO API при разработване на приложен софтуер за оптимизация. *Int. Conference "Automatics and Informatics'09"*, ISSN: 1313-1850, 29 Sept – 4 October 2009, Sofia, Bulgaria, pp. I-113 - I-116.
- D25. Borissova D. Night Vision Devices Choice Taking into Account the External Surveillance Conditions. *Int. J. Advanced Modeling and Optimization*, ISSN: 1841-4311, Vol. 10(2), 2008, pp. 213-220.
- D26. Borissova D., I. Mustakerov. Multicriteria choice of night vision devices considering the impact of their performance parameters. *Int. J. Advanced Modeling and Optimization*, ISSN: 1841-4311, Vol. 10(1), 2008, pp. 81-93.
- D27. Mustakerov, I., D. Borissova. Optimal manufacturing scheduling for dependent details processing. *Int. J. of Computer and Information Engineering*. pISSN: 2010-3921, Vol. 2(8) 2008, pp. 493-497.
- D28. Borissova, D. Optimal scheduling for dependent details processing using MS Excel Solver. *Cybernetics and Information Technologies*, ISSN: 1311-9702, Vol. 8(2), 2008, pp. 102-111.
- D29. Borissova, D., I. Mustakerov. Night vision devices design process modeling. *In Proc. of Int. Conf. on Theory and Applications in Mathematics and Informatics, ICTAMI 2007*, Alba Iulia, Romania (Eds. D. Breaz, N. Breaz, D. Wainberg), ISBN 978-973-1890-01-2, 30 August - 02 September 2007, Alba Iulia, Romania, pp. 55-66.
- D30. Mustakerov, I., D. Borissova. Software system for night vision devices design by reasonable combinatorial choice. *In Proc. of Int. Conf. on Theory and Applications in Mathematics and Informatics, ICTAMI 2007*, Alba Iulia, Romania (Eds. D. Breaz, N. Breaz, D. Wainberg), ISBN 978-973-1890-01-2, 30 August - 02 September 2007, Alba Iulia, Romania, pp. 43-53.
- D31. Borissova, D. Using Weighted Sum Method for the Choice of the Night Vision Goggles Battery Power Supply. *Engineering Science*, ISSN 1312-5702, No 1, 2007, pp. 16-26.
- D32. Mustakerov, I., D. Borissova. Technical systems design by combinatorial optimization choice of elements on the example of night vision devices design. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, ISSN 0366-8681 0861-1459, Tom 60(4), 2007, pp. 373-380. (IF= 0.106)
- D33. Borissova D., I. Mustakerov. A working distance formula for night vision devices quality preliminary information. *Cybernetics and Information Technologies*, ISSN: 1311-9702, Vol. 6(3), 2006, pp. 85-92.

Библиография

1. Behzadian M., S. K. Otaghsara, M. Yazdani, J. Ignatius. A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, 2012, pp. 13051-13069.
2. Behzadian, M., R. B. Kazemzadeh, A. Albadvi, M. Aghdasi. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *EJOR*, Vol. 200, 2010, pp. 198-215.
3. Borissova, D., I. Mustakerov. Web-based tool for preliminary assessment of wind power plant design. In *Proc. of Int. Conf. on Information Systems and Technologies (ICIST 2014)*, March 22-24, 2014, Valencia, Spain, pp. 139-149.
4. Borissova, D., I. Mustakerov. A parallel algorithm for optimal job shop scheduling of semi-constrained details processing on multiple machines. In *Proc. Advanced Information Science and Applications – Vol. I, Int. Conf. on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2014)*, Greece, pp. 145-150.
5. Borissova, D., I. Mustakerov, E. Bantutov. Methodology for determining of surveillance conditions in relation to night vision devices performance. *Int. J. Advanced Modeling and Optimization*, Vol. 16(1), 2014, pp. 51-59.
6. Borissova, D., I. Mustakerov, E. Bantutov. Web-based architecture of a system for design assessment of night vision devices. *Int. J. of Information Science and Engineering*, Vol. 7(7), 2013, pp. 62-67.
7. Borissova, D., I. Mustakerov. A concept of intelligent e-maintenance decision making system. *IEEE Int. Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, 19-21 June 2013, DOI: 10.1109/INISTA.2013.6577668.
8. Borissova, D., I. Mustakerov. An algorithm for an optimal staffing problem in open shop environment. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 76, 2013, pp. 46-50.
9. Borissova, D., I. Mustakerov. K-best night vision devices by multi-criteria mixed-integer optimization modeling. *Int. J. of Information Science and Engineering*, Vol. 7(10), 2013, pp. 205-210.
10. Borissova, D., I. Mustakerov. An integrated framework of designing a decision support system for engineering predictive maintenance. *Int. Journal of Information Technologies & Knowledge*, Vol. 6(4), 2012, pp. 366-376.
11. Borissova, D., I. Mustakerov, L. Doukovska. Predictive maintenance sensors placement by combinatorial optimization. *Int. J. of Electronics and Telecommunications*, Vol. 58(2), 2012, pp. 153-158.
12. Borissova, D., I. Mustakerov. A generalized combinatorial optimization approach to wind power plant design. *Cybernetics and Information Technologies*, Vol. 10(4), 2010, pp. 62-74.
13. Borissova, D., I. Mustakerov. A generalized optimization method for night vision devices design considering stochastic external surveillance conditions. *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 33, 2009, pp. 4078-4085.
14. Borissova, D., I. Mustakerov. A multicriteria approach to exploring combinations of external surveillance conditions defining a given NVD working range value. *Cybernetics and Information Technologies*, Vol. 9(4), 2009, pp. 102-109.
15. Borissova, D. Night Vision Devices Choice Taking into Account the External Surveillance Conditions. *Int. J. Advanced Modeling and Optimization*, Vol. 10(2), 2008, pp. 213-220.
16. Borissova, D. Optimal scheduling for dependent details processing using MS Excel Solver. *Cybernetics and Information Technologies*, Vol. 8(2), 2008, pp. 102-111.
17. Borissova D., I. Mustakerov. Multicriteria choice of night vision devices considering the impact of their performance parameters. *Int. J. Advanced Modeling and Optimization*, Vol. 10(1), 2008, pp. 81-93.
18. Borissova, D. Using Weighted Sum Method for the Choice of the Night Vision Goggles Battery Power Supply. *Engineering Science*, No 1, 2007, pp. 16-26.

19. Borissova, D., I. Mustakerov. Night vision devices design process modeling. In Proc. of Int. Conf. on *Theory and Applications in Mathematics and Informatics, ICTAMI 2007*, Romania, pp. 55-66.
20. Borissova D., I. Mustakerov. A working distance formula for night vision devices quality preliminary information. *Cybernetics and Information Technologies*, Vol. 6(3), 2006, pp. 85-92.
21. Garcia-Cascales, M. S., M. T. Lamata. Selection of a cleaning system for engine maintenance based on the analytic hierarchy process. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 56, 2009, pp. 1442-1451.
22. Gilmore, P. and R. Gomory. A linear programming approach to the cutting stock problem. *Operations Research*, Vol. 9(6), 1961, pp. 848-859.
23. Gilmore, P. and R. Gomory. A linear programming approach to the cutting stock problem, part II. *Operations Research*, Vol. 11, 1963, pp. 863-88.
24. Grady, S.A., M.Y. Hussaini, M. M. Abdullah. Placement of wind turbines using genetic algorithms. *Renewable Energy*, Vol. 30, 2005, pp. 259-270
25. Grigorios M., St. Lazarou, El. Pyrgioti. Optimal placement of wind turbines in a wind park using Monte Carlo simulation. *Renewable Energy*, Vol. 33, 2008, pp.1455-1460.
26. Kalouptsidis N., K. Koutroumbas, V. Psaraki. Classification methods for random utility models with i.i.d. disturbances under the most probable alternative rule. *European Journal of Operational Research*, Vol. 176, pp. 1778-1794, 2007.
27. Kantorovich, L. V. Mathematical methods of organizing and planning production. *Management Science*, Vol. 6, 1960, pp. 366-422
28. Kulak O., S. Cebi, C. Kahraman. Applications of axiomatic design principles: A literature review. *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, 2010, pp. 6705-6717.
29. Mustakerov, I., D. Borissova. Multi-criteria model for optimal number and placement of sensors for structural health monitoring: Lexicographic method implementation. *Int. J. Advanced Modeling and Optimization*, Vol. 16(1), 2014, pp. 103-112.
30. Mustakerov, I., D. Borissova. One-dimensional cutting stock model for joinery manufacturing. In Proc. *Advanced Information Science and Applications – Vol. I, Int. Conf. on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2014)*, Greece, pp. 51-55.
31. Mustakerov, I., D. Borissova. A Web application for group decision-making based on combinatorial optimization. In Proc. of Int. Conf. on *Information Systems and Technologies (ICIST 2014)*, March 22-24, 2014, Valencia, Spain, pp. 46-56.
32. Mustakerov, I., D. Borissova. A combinatorial optimization ranking algorithm for reasonable decision making. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, Tom 66(1) 2013, pp. 101-110.
33. Mustakerov, I., D. Borissova. A discrete choice modeling approach to modular systems design. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 76, 2013, pp. 133-139.
34. Mustakerov, I., D. Borissova. An intelligent approach for optimum maintenance strategy defining. *IEEE Int. Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, 19-21 June 2013, DOI: 10.1109/INISTA.2013.6577666.
35. Mustakerov, I., D. Borissova. Data structures and algorithms of intelligent Web-based system for modular design. *Int. J. of Computer Science and Engineering*, Vol. 7(7), 2013, pp. 87-92.
36. Mustakerov, I., D. Borissova. Investments attractiveness via combinatorial optimization ranking. *Int. J. of Management Science and Engineering*, Vol. 7(10), 2013, pp. 230-235.
37. Mustakerov, I., D. Borissova. Modular systems design via multi-objective optimization. *Int. J. Advanced Modeling and Optimization*, Vol. 15(2), 2013, pp. 421-430.
38. Mustakerov, I., D. Borissova. Wind park layout design using combinatorial optimization. *Wind Turbines*, Ed. Ibrahim Al-Bahadly, 652 pages, InTech, 2011, pp. 403-424.
39. Mustakerov, I., D. Borissova. Wind turbines type and number choice using combinatorial optimization. *Renewable Energy*. Vol. 35(9), 2010, pp. 1887-1894.

40. Mustakerov, I., D. Borissova. Използване на lindo api при разработване на приложен софтуер за оптимизация. Int. Conference "Automatics and Informatics'09", 29 Sept – 4 October 2009, Sofia, Bulgaria, pp. I-113 - I-116.
41. Mustakerov, I., D. Borissova. Optimal manufacturing scheduling for dependent details processing. *Int. J. of Computer and Information Engineering*, Vol. 2(8) 2008, pp. 493-497.
42. Mustakerov, I., D. Borissova. Technical systems design by combinatorial optimization choice of elements on the example of night vision devices design. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, Tom 60(4), 2007, pp. 373-380.
43. Mustakerov, I., D. Borissova. Software system for night vision devices design by reasonable combinatorial choice. In Proc. Int. Conf. on *Theory and Applications in Mathematics and Informatics, ICTAMI 2007*, Romania, pp. 43-53.
44. Nelson, C. A. A scoring model for flexible manufacturing system project selection. *European Journal of Operational Research*, Vol. 24, 1986, pp. 346-359.
45. Saaty, T. L. Making and validating complex decisions with the AHP/ANP. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Vol. 14, 2005, pp. 1-36.
46. Wang, X., E. Triantaphyllou. Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. *Omega*, Vol. 36, 2008, pp. 45-63.
47. Wu, W.W., Y. T. Lee. Selecting knowledge management strategies by using the analytic network process. *Expert Systems with Applications*, Vol. 32, 2007, pp. 841-847.

Abstracts of Dissertations

Number 4, 2015

**INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES
BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES**

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

Брой 4, 2015

Автореферати на дисертации