



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ
ТЕХНОЛОГИИ

Даниела Иванова Борисова

Автореферат
на
ДИСЕРТАЦИЯ

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

за присъждане на научна степен
“Доктор на науките”

Научна специалност: 01.01.12 ”Информатика”
Професионално направление 4.6 ”Информатика и компютърни науки”

София, 2015

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 обзорец 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 (MB), 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 (Mustakeroov & 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:

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

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

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:

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

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

където $\mathbb{N}$ 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:

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

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

където $I_{RAM}^+ \subseteq I_{RAM}$ и $I_{RAM}^- \subseteq I_{RAM}$ са подмножества на съвместимите и несъвместимите 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: (Mustakero & 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

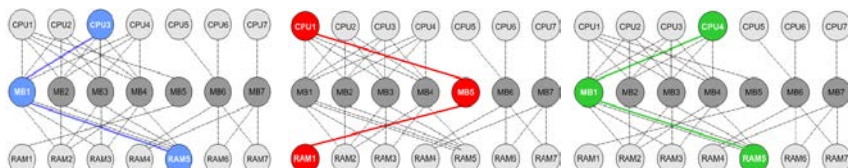
#	Потребителски изисквания				Получени конфигурации			
	RAM	CPU clock	CPU core	RAID	MB	CPU	RAM	Cost BGL
1	≥ 2 GB	--	--	--	MB5	CPU1	RAM1: 2 x 1 GB	205.5
2	≥ 3 GB	≥2.5GHz	≥ 2	--	MB2	CPU2	RAM2: 1 GB RAM5: 2 GB	297.0
3	≥ 4 GB	≥3 GHz	≥ 2	1 (yes)	MB1	CPU3	RAM5: 2 x 2 GB	584.5

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 (Mustakero & Borissova, 2013):

$$\begin{aligned} \min & (P^{MB, cost} + P^{CPU, cost} + P^{RAM, cost}) \\ \max & P^{CPU, core} \\ \max & P^{CPU, clock} \\ \max & P^{RAM, size} \end{aligned} \quad (2.39)$$

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.

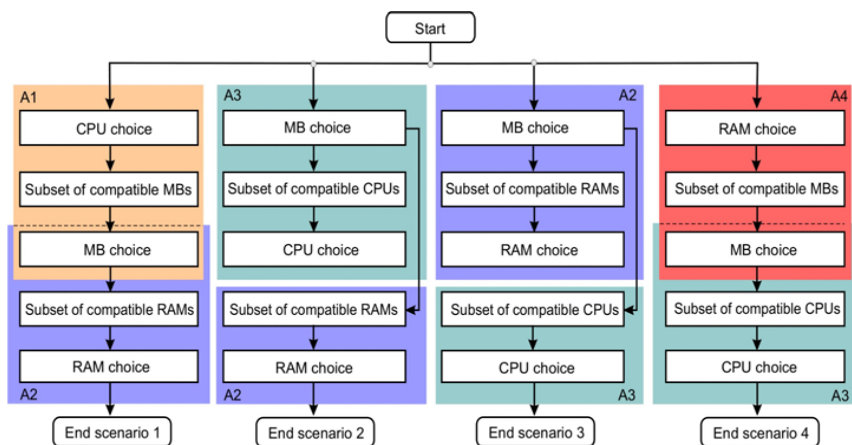


Фиг. 2.3. Избрани модули в резултат на решената многокритериална задача:
а) ЛВР-1; б) ЛВР-2; в) ЛВР-3

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 конфигурирането 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).



Фиг. 2.4. Обобщен алгоритъм за проектиране конфигурацията на ПК

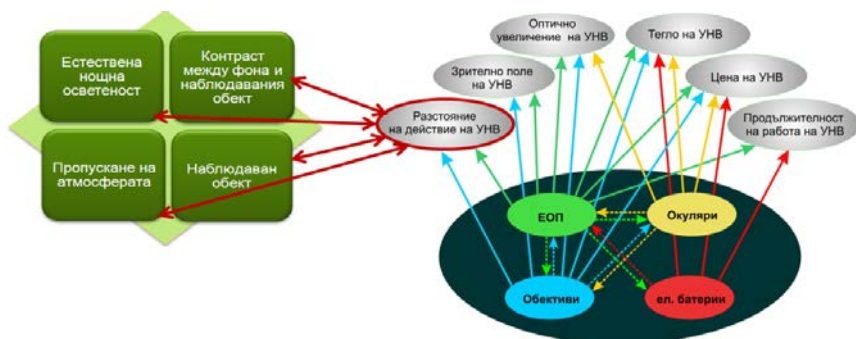
За реализиране на обобщения алгоритъм са предложени подходящи алгоритмични реализации, представени чрез псевдо-кодове (Mustakerov & Borissova, 2013).

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):

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

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

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

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

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

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

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

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

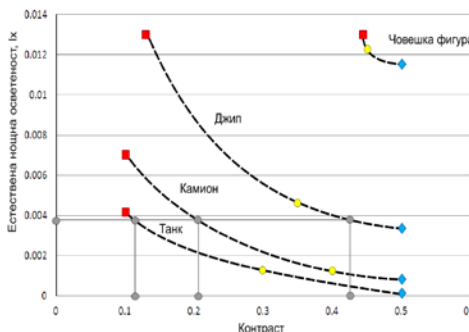
където с E^u , K^u , A^u и E^l , K^l , A^l са означени горните и долните граници на естествена нощна осветеност, контраста и редуцираната площ на наблюдавания обект; R е зададеното разстояние на разглеждания УНВ.

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

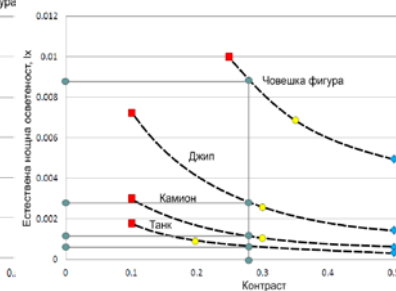
$$\begin{cases} \max K = \left(\frac{R^2 M \Phi_{\min, ph}}{0.07 D_{in} f_{ob} \tau_{ob} S_{\Sigma} \delta \tau_a E A_{target}} \right) \\ \min E = \left(\frac{R^2 M \Phi_{\min, ph}}{0.07 D_{in} f_{ob} \tau_{ob} S_{\Sigma} \delta \tau_a K A_{target}} \right) \end{cases} \quad (3.84)$$

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 $R=425 m$ (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:

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

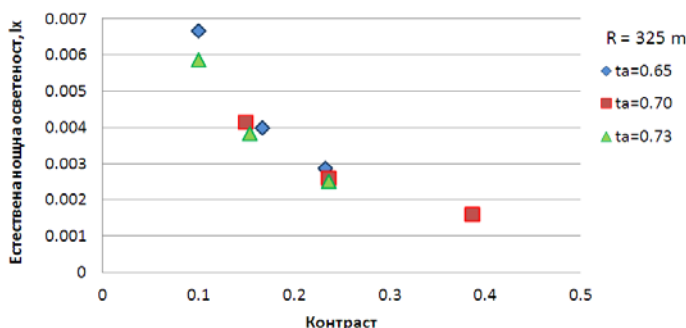
$$E^l \leq E \leq E^u \quad (3.89)$$

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

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

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 (Mustakеров & 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, наличието 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 (Mustakеров & Borissova, 2010):

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

при ограничения

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

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

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

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

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

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

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

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

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

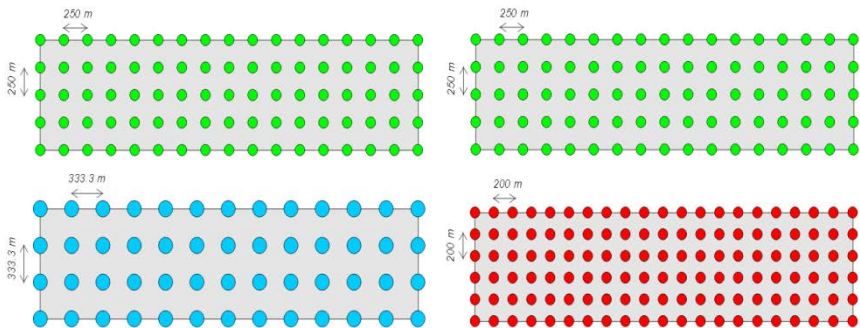
$$H = \sum_i^m x_i H_{wt}^i \quad (4.44)$$

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

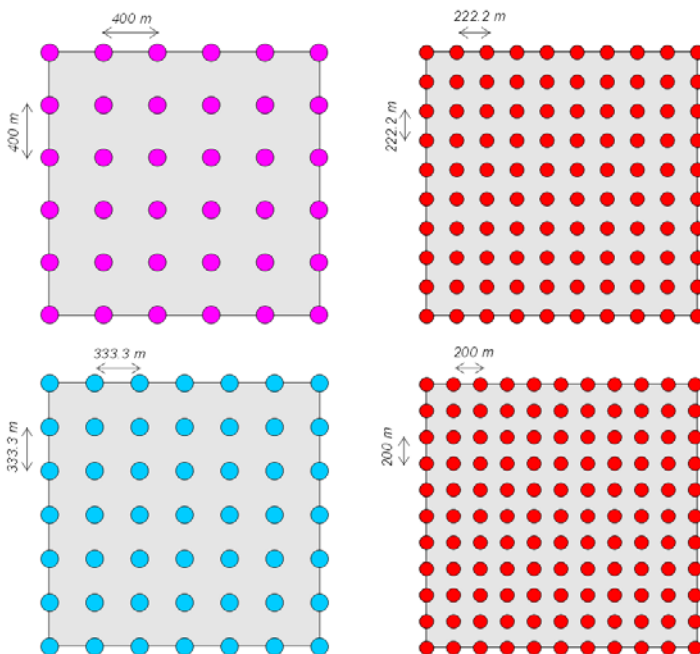
където: N – общ брой ВТ, N_{row} – брой ВТ в ред, N_{col} – брой ВТ в колона, L_x, L_y – размери на ВЕП, D – диаметър на ротора на ВТ, P_{wt} – номинална мощност на ВТ, η – коефициент на използване, k_{row}, k_{col} – коефициенти, определящи разстояния между ВТ, H – височина на кулата, x_i – двоични целочислени променливи.

А) случай на равномерно вятър от всички посоки:

При зададена площ на ВЕП от 4 km^2 и равномерно 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 $k_{row}^{\max} = k_{col}^{\max} = 5.2$

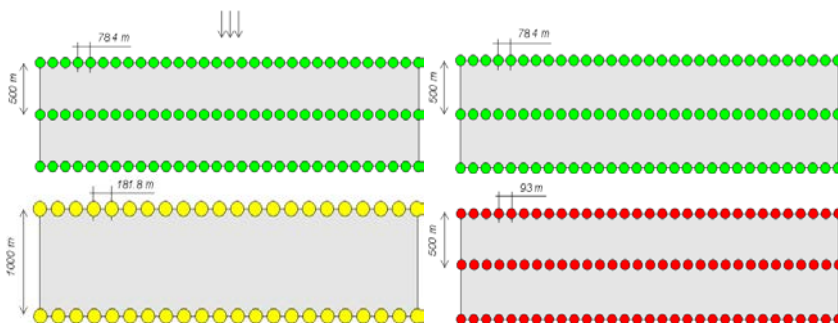


Фиг. 4.7. Разположение на ВТ при наличие на равномерно вятър от всички посоки и правоъгълна форма на ветровото поле $L_x = 4 \text{ km}$, $L_y = 1 \text{ km}$.

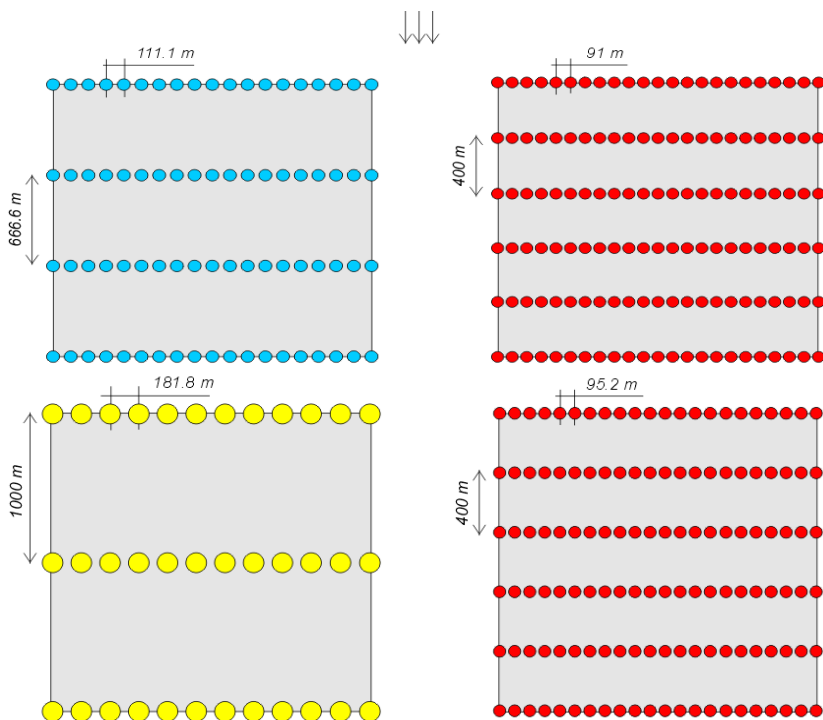


Фиг. 4.6. Разположение на ВТ при наличие на равностоеен вятър от всички посоки и квадратна конфигурация на ветровото поле, $L_x = L_y = 2$ km.

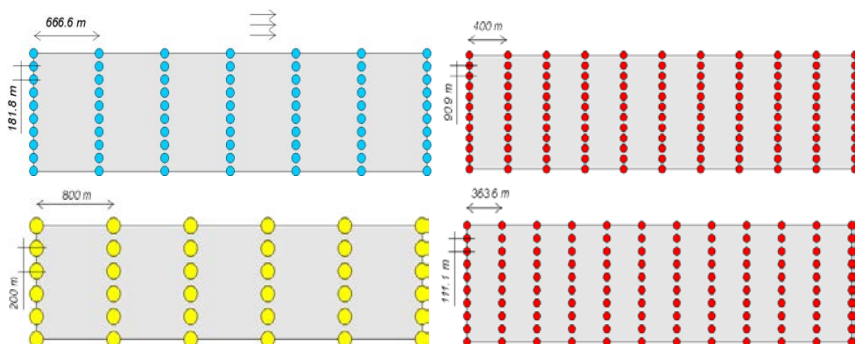
Б) случай на преобладаващ вятър с една посока. За ВЕП с площ също 4 km^2 са използвани: $k_{row}^{\min} = 1.5$, $k_{row}^{\max} = 3$, $k_{col}^{\min} = 9$, $k_{col}^{\max} = 11$ и $k_{row}^{\min} = 2$, $k_{row}^{\max} = 4$, $k_{col}^{\min} = 8$, $k_{col}^{\max} = 8$, респективно (Фиг. 4.8, Фиг. 4.9 и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



Фиг. 4.8. Разположение на ВТ при наличие на вятър с преобладаваща посока правоъгълно ветрово поле, $L_x = 4$ km, $L_y = 1$ 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 (Mustakеров & Borissova, 2010; Mustakеров & Borissova, 2011):

$$\max Power \quad (4.46)$$

$$\min Costs$$

при ограничения

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

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

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

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

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

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

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

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

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

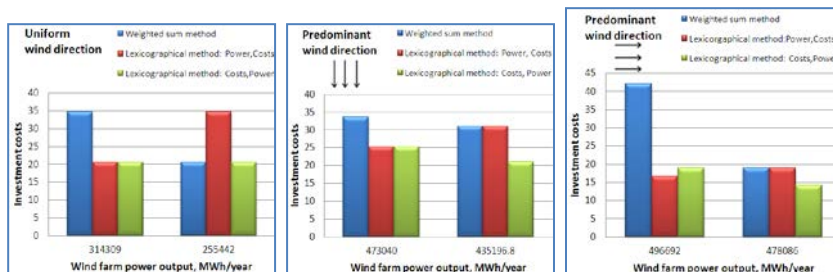
$$P_{wt} = \sum_i^m x_i P_{wt}^i \quad (4.56)$$

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

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

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 (Mustakeroov & Borissova, 2008):

$$\min \sum x_{iE}, \quad i \in I, \quad (5.1)$$

при ограничения

$$x_{i(j+1)} - x_{ij} \geq T_{ij}, \quad i \in I, j \in J \quad (5.2)$$

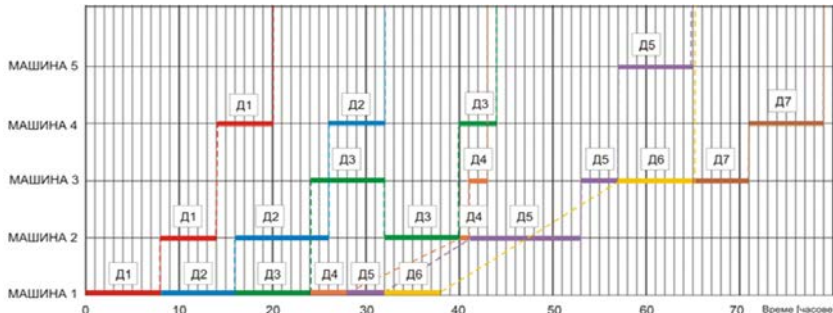
$$x_{(i+1)j} - x_{ij} \geq T_{ij}, \quad i \in I, j \in J \quad (5.3)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \text{за } \forall i \in I, \forall j \in J, \quad (5.4)$$

$$x_{iE} > 0, \quad \text{за } \forall i \in I, \quad (5.5)$$

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).

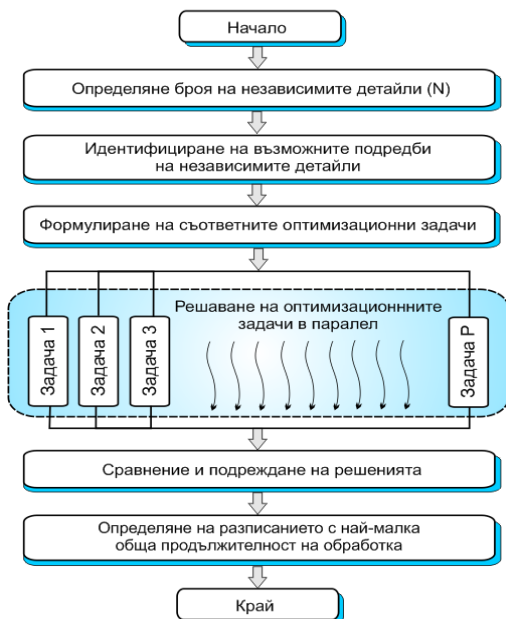


Фиг.5.1. Оптимално разписание при последователност за обработка $D1 \rightarrow D2 \rightarrow D3 \rightarrow D4 \rightarrow D5 \rightarrow D6 \rightarrow D7$

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

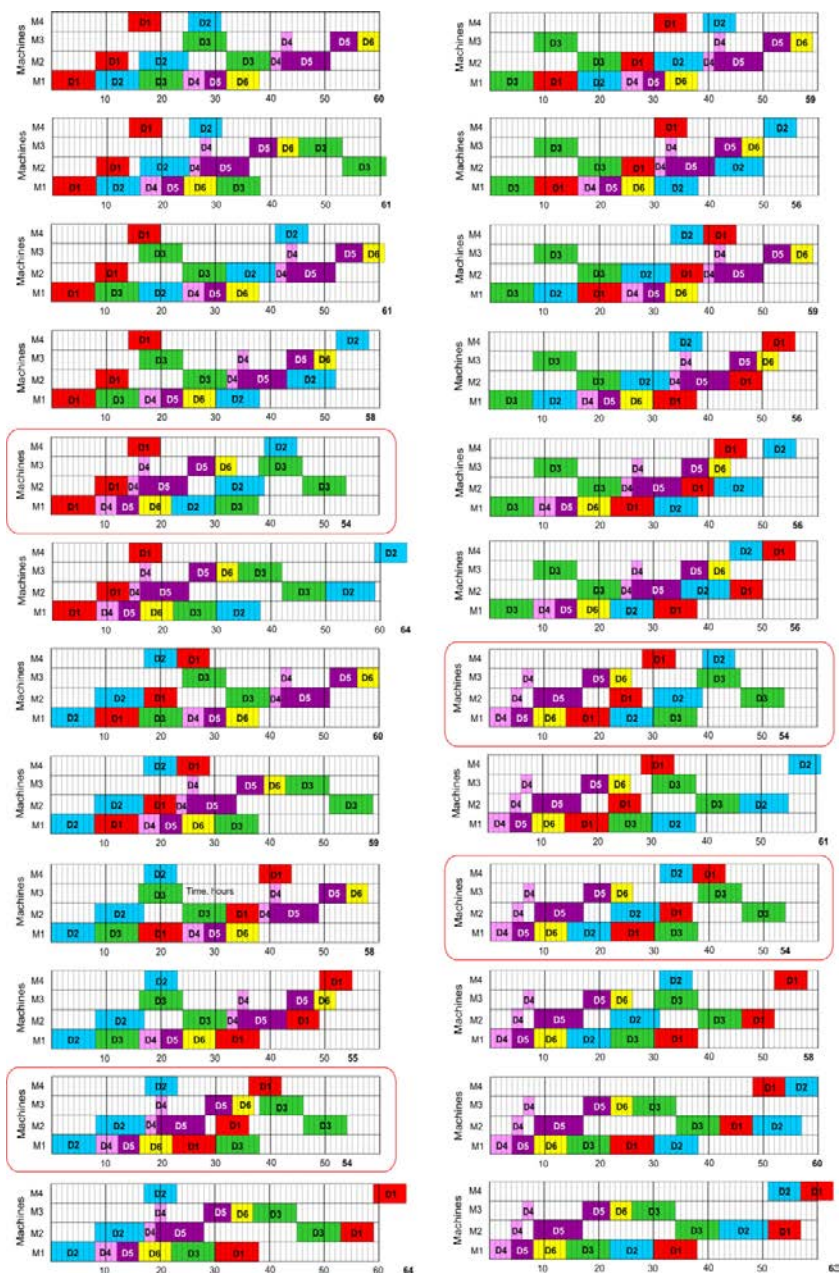
целта е разработен паралелен алгоритъм за смесена обработка (независима и зависима) на детайли върху множество машини, илюстриран на Фиг. 5.2 (Borissova & Mustakero, 2014).



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 продължителност. 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):

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

при ограничения

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

$$\forall i : L_i \leq L \quad (5.82)$$

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

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

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

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):

$$\min PT \quad (5.92)$$

при ограничения

$$PT \geq PT_{\min} \quad (5.93)$$

$$PT \leq PT_{\max} \quad (5.94)$$

$$x_j \geq 0, \text{ integer}, j \in J \quad (5.95)$$

$$y_j \geq 0, \text{ integer}, j \in J \quad (5.96)$$

$$x_j + h_j \leq PT \quad (5.97)$$

$$y_j + w_j \leq W \quad (5.98)$$

$$l_{jm} + l_{mj} + b_{jm} + b_{mj} = 1 \quad (5.99)$$

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

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

$$SA = W * PT \quad (5.102)$$

$$SI = SA - OA \quad (5.103)$$

$$PT_{\min} = \max\{h_j\} \quad (5.104)$$

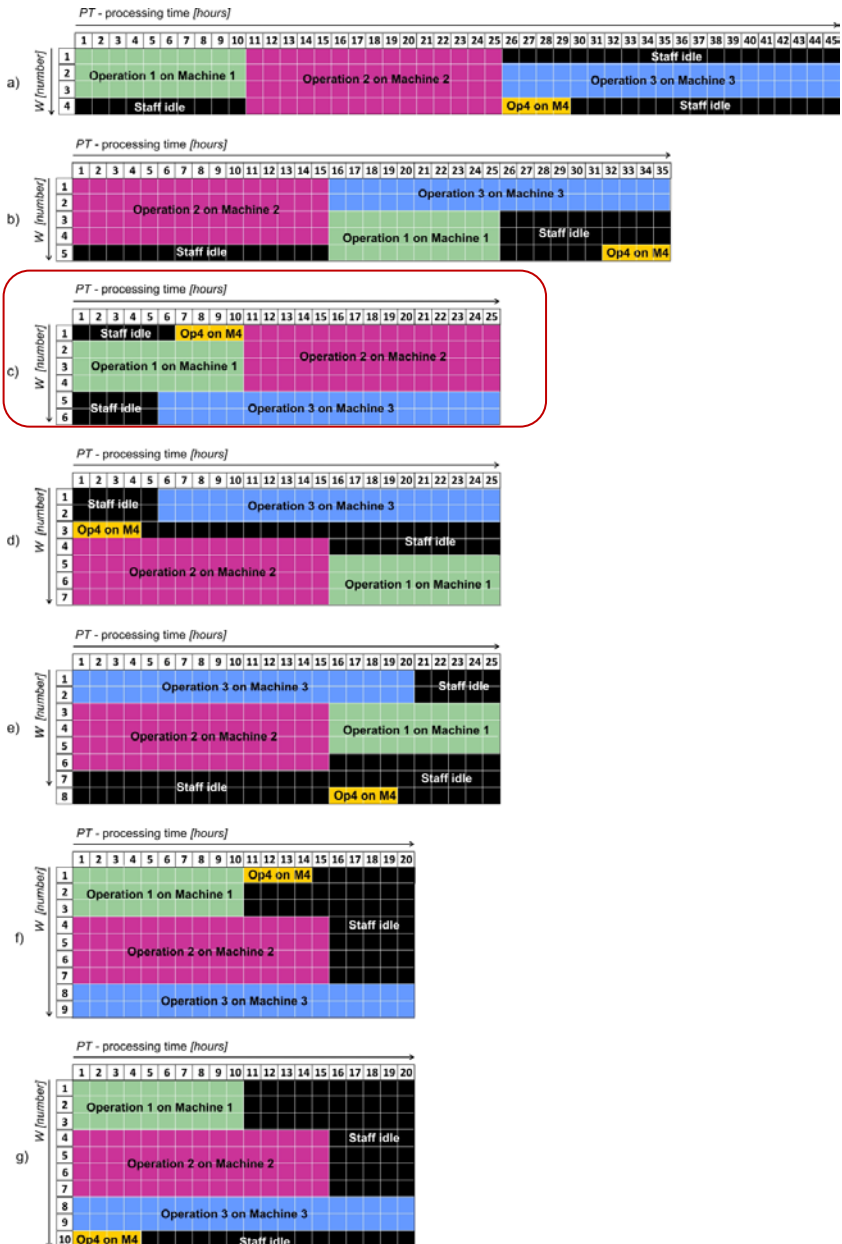
$$PT_{\max} = \max \sum_{j=1}^J h_j \quad (5.105)$$

$$OA = \sum_{j=1}^J w_j h_j \quad (5.106)$$

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).

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.



Фиг. 5.9. Графично представяне на получените резултати

Глава 6: Модели и алгоритми за предсказващо поддръжане

В тази глава са описани предложените математически модели и алгоритми за управление на предсказващото поддръжане 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 поддръжане са предложени два типа оценки за определяне на разходите и ползите (Mustakarov & Borissova, 2013):

$$CBE^{repair} = \frac{\alpha C_{repair_component}}{\beta P_{remaining}} \quad (6.3)$$

$$CBE^{new} = \frac{C_{new_component}}{P_{remaining}} \quad (6.4)$$

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 ($\beta = 1$).

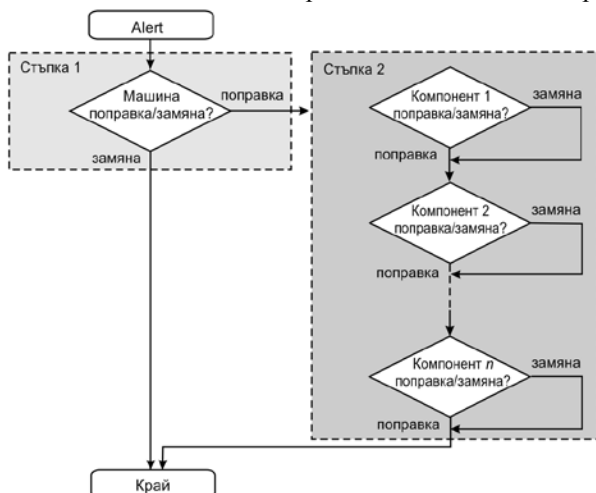
Процесът на вземане на решение за определяне на подходяща стратегия за поддръжка може да се реализира на два етапа (Фиг. 6.3). На първия етап се разглеждат две алтернативни – да се ремонтира машината или да смени машината като цяло в резултат на решаване на следната оптимизационна задача (Mustakarov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

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

при ограничения

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

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



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

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

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

при ограничения

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

$$x_i, y_i \in \{0, 1\} \quad (6.9)$$

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 поддръжане, 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 поддръжане, 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 поддръжане, 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 реализирана чрез следния еднокритериален обобщен оптимизационен модел за определяне разположението на сензори (Borissova и др., 2012):

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

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

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 (Borisova и др., 2012):

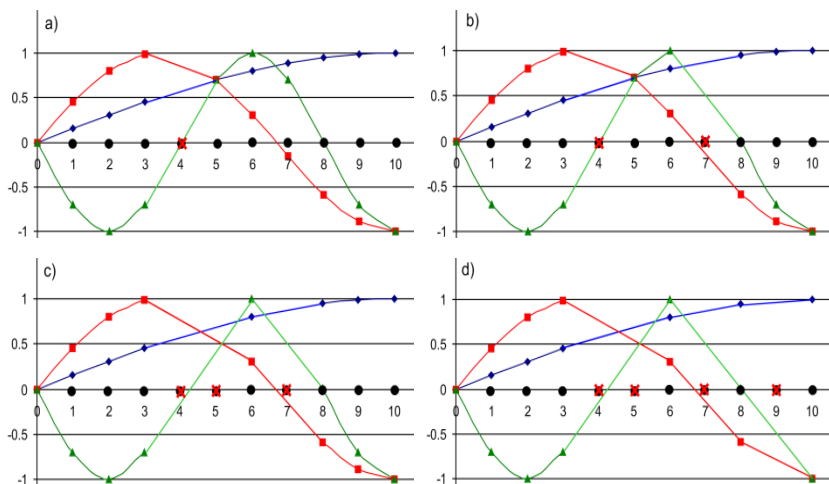
$$\max \left\{ \sum_{i=1}^p \sum_{j=2}^{n-1} x_j \left| \phi_j^i - \frac{\phi_{j-1}^i - \phi_{j+1}^i}{2} \right| \right\} \quad (6.33)$$

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

$$x_1 = 1 \quad (6.35)$$

$$x_{10} = 1 \quad (6.36)$$

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 линеината 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 (Mustakerov & 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

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

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

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

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

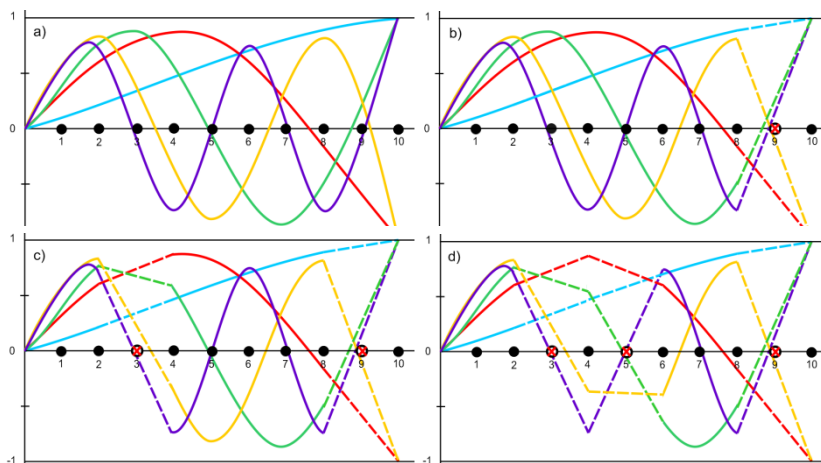
$$x_1 = 1, x_{10} = 1 \quad (6.53)$$

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 резултатите 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

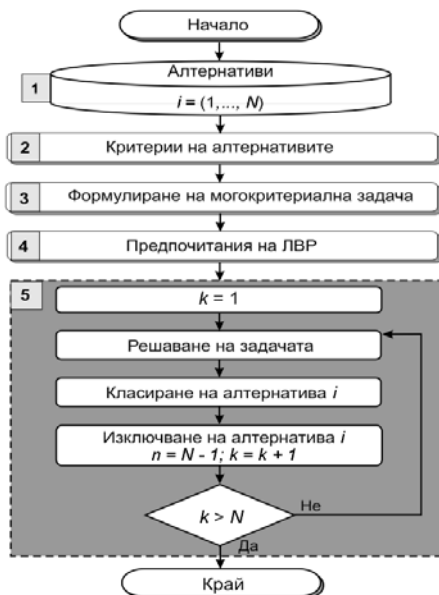
Глава 7: Модели и алгоритми за обоснован избор на алтернативи

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.

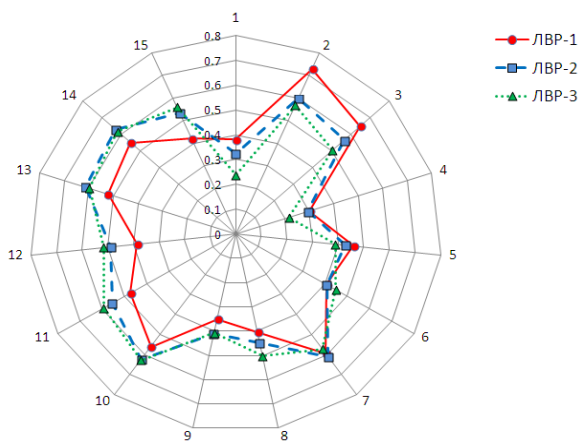
Обобщен алгоритъм за избор чрез класиране

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. (Mustakeroov & 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. За тестване на приложимостта на предложия алгоритъм са използвани

реални данни за 15 устройства и 3 предпочитанията на ЛВР (Фиг. 7.2).



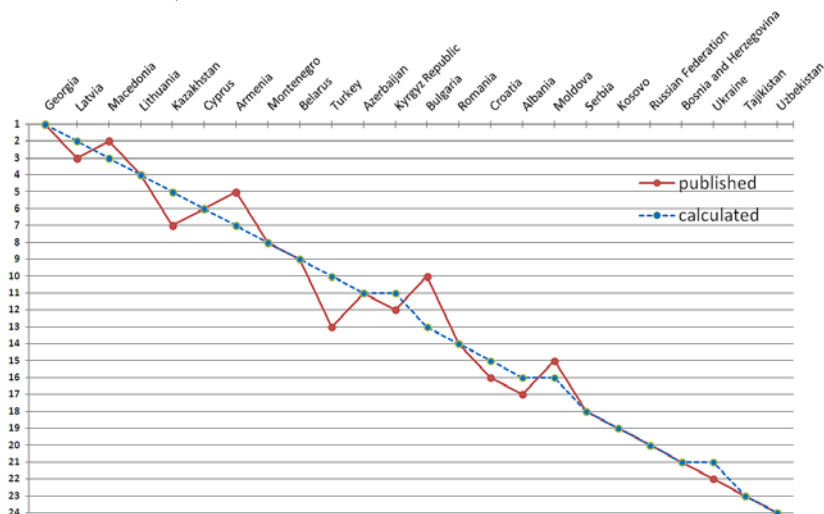
Фиг. 7.1. Обобщен алгоритъм за класиране на алтернативи



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

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 прекъсната линия), сравнени с резултатите от Световната Банка (с непрекъсната линия) (Mustakеров & Borissova, 2013).

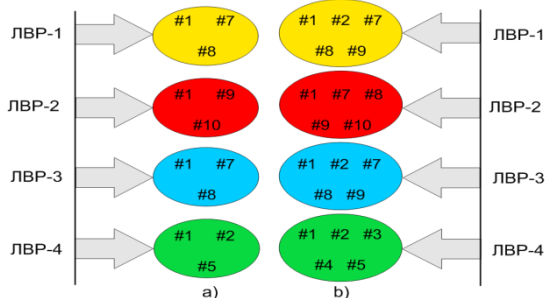


Фиг. 7.3. Сравнение на резултатите

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 предложения 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.

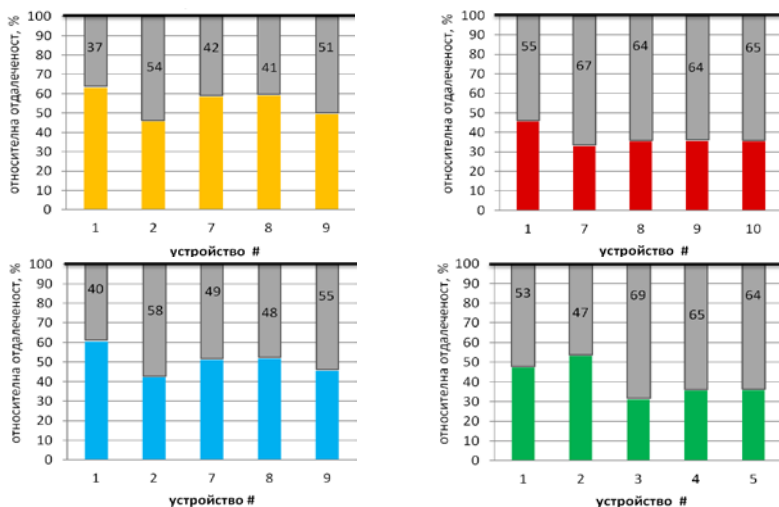
Многокритериален оптимизационен модел за избор на k най-добри алтернативи

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) $k = 5$

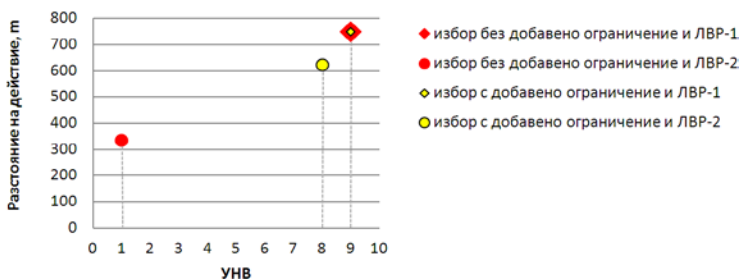
За подпомагане на ЛВР при вземане на окончателното решение е предложена процедура, чрез оценяване на всяка от тези k най-добри алтернативи на устройства, спрямо едно “идеално” устройство (Borissova & Mustakerov, 2013), а резултатите са показани на Фиг. 7.5.



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).

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

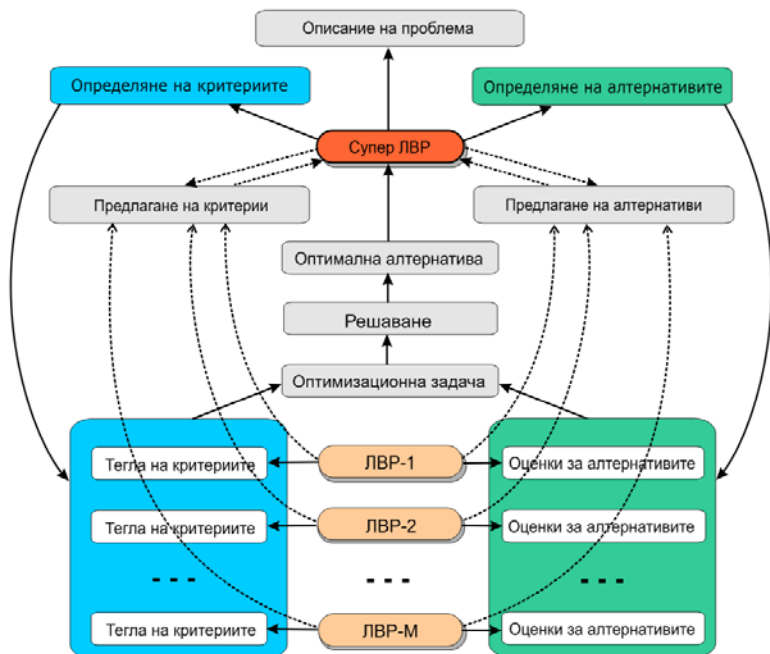
$$\max \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K w_i^k A_i^k \quad (7.43)$$

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.



Фиг. 7.7. Алгоритъм за групово вземане на решения

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 (Mustakero & Borisova, 2013).

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

Winduro - Avant browser

index.html

File View Bookmarks AutoFill Tools Help

Winduro

Main menu | Print | Help | About

A preliminary assessment of wind power park project

☒ predominant ☐ uniform

Wind turbine type	Wind site dimension, Lx (km)	Wind site dimension, Ly (km)	Separation coefficients, Kx	Separation coefficients, Ky	Capacity factor

Selected turbine parameters

Rated power, [kW]	
Wind turbine rotor diameter, [m]	
Wind turbine rated wind speed [m/s]	

Reset Calculation

Number of installed turbines, [m]		Installed power, [MW]	
Separation distances between turbines, Sx, [m]		Expected energy output, [MWh]	
Separation distances between turbines, Sy, [m]		Costs/year	

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 (Mustakero & Borissova, 2014)

[HOME](#)
[PLANS](#)
[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 3					
	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	10
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	6	7	8	8	10
C4	6	2	6	6	6	8	10	6	4	4	4	3	10	2	8	17	8	8	8	8	6	7	6	13
C5	10	4	10	10	10	8	3	1	9	1	2	1	6	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	7
C7	6	6	6	8	8	8	6	9	4	2	2	8	9	6	10	7	5	10	7	4	6	7	6	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	6	7
C10	4	2	8	6	6	6	2	10	8	1	1	1	4	8	9	7	16	9	10	10	6	9	9	9
C11	8	8	10	10	10	10	6	5	6	1	1	1	8	9	8	9	9	9	7	4	2	7	10	12
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	6	10	5	7	6	6
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	10	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	8	10	10	10	8	10	9	10	7	5	10	3	8	4	5	4	5	6	9	2	8	8	7
C18	8	8	8	10	10	8	4	4	1	1	1	1	2	8	1	1	1	1	1	1	10	1	1	2
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

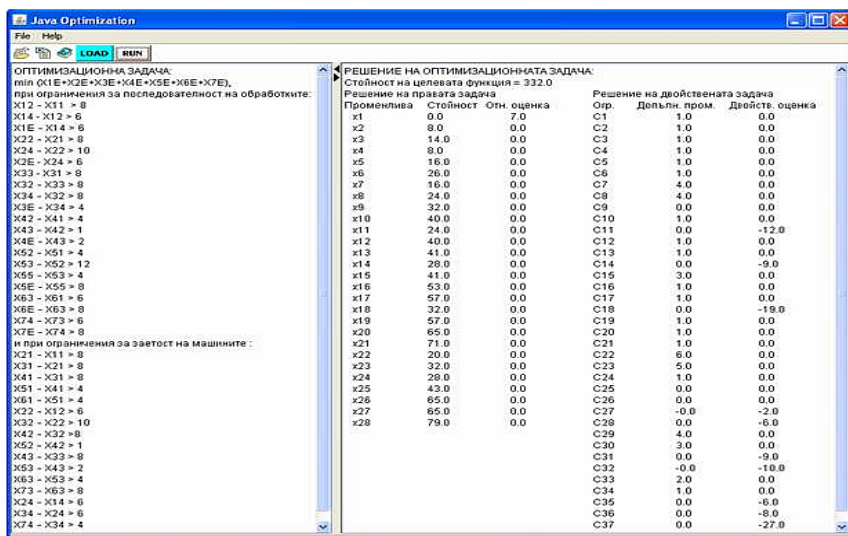
alternative A2

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-Opt” – Фиг. 8.13 (Mustakerov & Borissova, 2009) и за оптимално проектиране на ветроенергийни паркове “Wind” – Фиг. 8.14 е използван оптимизационен модул LINDO API.

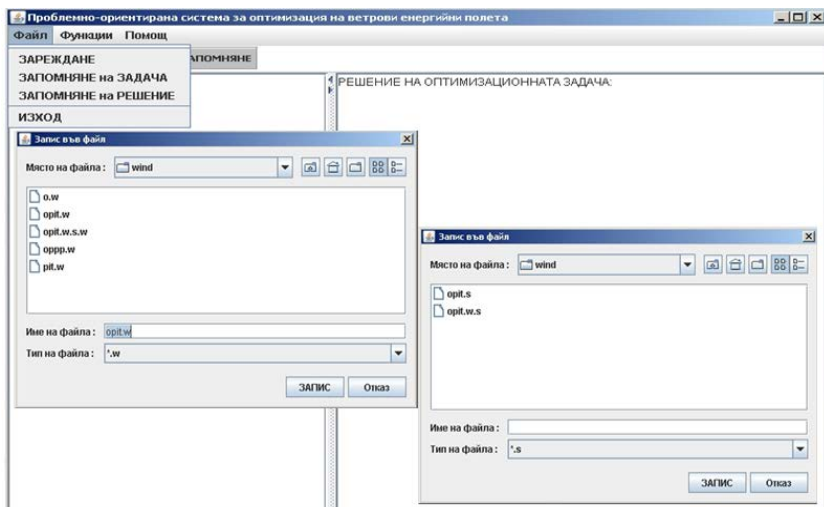


The screenshot shows the 'Java Optimization' window. The left pane displays the 'ОПТИМИЗАЦИОННА ЗАДАЧА' (Optimization Problem) with the objective function $\min 0.1E + X5E + X3E + X4E + X5E + X6E + X7E$ and various constraints. The right pane shows the 'РЕШЕНИЕ НА ОПТИМИЗАЦИОННАТА ЗАДАЧА' (Solution of the Optimization Problem) with the optimal value of the objective function as 532.0. Below this, there are two tables: 'Решение на правата задача' (Solution of the primal problem) and 'Решение на двойствената задача' (Solution of the dual problem).

Променлива	Стойност	Отн. оценка	Опр.	Допълн. пром.	Двойств. оценка
x1	0.0	7.0	C1	1.0	0.0
x2	8.0	0.0	C2	1.0	0.0
x3	14.0	0.0	C3	1.0	0.0
x4	9.0	0.0	C4	1.0	0.0
x5	16.0	0.0	C5	1.0	0.0
x6	26.0	0.0	C6	1.0	0.0
x7	16.0	0.0	C7	4.0	0.0
x8	24.0	0.0	C8	4.0	0.0
x9	32.0	0.0	C9	0.0	0.0
x10	40.0	0.0	C10	1.0	0.0
x11	24.0	0.0	C11	0.0	-12.0
x12	40.0	0.0	C12	1.0	0.0
x13	41.0	0.0	C13	1.0	0.0
x14	28.0	0.0	C14	0.0	-9.0
x15	41.0	0.0	C15	3.0	0.0
x16	53.0	0.0	C16	1.0	0.0
x17	57.0	0.0	C17	1.0	0.0
x18	32.0	0.0	C18	0.0	-18.0
x19	57.0	0.0	C19	1.0	0.0
x20	65.0	0.0	C20	1.0	0.0
x21	71.0	0.0	C21	1.0	0.0
x22	20.0	0.0	C22	6.0	0.0
x23	32.0	0.0	C23	5.0	0.0
x24	28.0	0.0	C24	1.0	0.0
x25	43.0	0.0	C25	0.0	0.0
x26	65.0	0.0	C26	0.0	0.0
x27	65.0	0.0	C27	-0.0	-2.0
x28	79.0	0.0	C28	0.0	-6.0
			C29	4.0	0.0
			C30	3.0	0.0
			C31	0.0	-9.0
			C32	-0.0	-18.0
			C33	2.0	0.0
			C34	1.0	0.0
			C35	0.0	-6.0
			C36	0.0	-6.0
			C37	0.0	-27.0

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.

Q26												
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Combinatorial optimization model for one-dimensional cutting stock problem												
l1, l2, ..., l7: length of the elements that are to be cut												
ΔLi : waste for each blank = optimal length of blank - utilized length of each blank												
Overall waste = sum of waste of all blanks												
Lmin, Lmax: lower and upper limits of optimal length of blank												
Lmin =	5000	l1	l2	l3	l4	l5	l6	l7	Optimal lenght of blank,			
Lmax =	7000	650	730	1400	1700	2000	2100	2200	6550			
Demand of elements	4	8	4	4	4	4	4	8	Waste of each blank, ΔLi			
Cutting patterns for each blank	0	1	1	0	1	0	1	0	1	220		
	0	1	1	0	1	0	1	0	1	220		
	0	1	1	1	0	0	0	1	520			
	0	1	1	1	0	0	0	1	520			
	1	1	0	0	0	1	1	870				
	1	1	0	0	0	1	1	870				
	1	1	0	0	0	1	1	870				
	0	1	0	1	1	1	0	20				
1	0	0	1	1	0	1	0					
Minimal waste:										4110		
Elements # in solution:	4	8	4	4	4	4	4	8				

Фиг. 8.17. Модел за оптимално линейно разкрояване

[illegible]

Фиг. 8.15. Модел за определяне на оптимално разписание

Натрупаният опит, от разработването на описаните в тази глава софтуерни инструменти, ще бъде използван при създаването на други подобни инструменти, реализиращи предложените в дисертационния труд модели, методи и алгоритми.

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.2013.6577666.
- 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. Emami, A., P. Noghreh. New approach on optimization in placement of wind turbines within wind farm by genetic algorithms. *Renewable Energy*, Vol.35, 2010, pp.1559-1564
22. 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.
23. Gilmore, P. and R. Gomory. A linear programming approach to the cutting stock problem. *Operations Research*, Vol. 9(6), 1961, pp. 848-859.
24. Gilmore, P. and R. Gomory. A linear programming approach to the cutting stock problem, part II. *Operations Research*, Vol. 11, 1963, pp. 863-88.
25. Grady, S.A., M.Y. Hussaini, M. M. Abdullah. Placement of wind turbines using genetic algorithms. *Renewable Energy*, Vol. 30, 2005, pp. 259-270
26. 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.
27. 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.
28. Kantorovich, L. V. Mathematical methods of organizing and planning production. *Management Science*, Vol. 6, 1960, pp. 366-422
29. Kulak O., S. Cebi, C. Kahraman. Applications of axiomatic design principles: A literature review. *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, 2010, pp. 6705-6717.
30. 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.
31. 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.
32. 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.
33. 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.
 34. 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.
 35. 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.
 36. 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.
 37. Mustakerov, I., D. Borissova. Investments attractiveness via combinatorial optimization ranking. *Int. J. of Management Science and Engineering*, Vol. 7(10), 2013, pp. 230-235.
 38. Mustakerov, I., D. Borissova. Modular systems design via multi-objective optimization. *Int. J. Advanced Modeling and Optimization*, Vol. 15(2), 2013, pp. 421-430.
 39. Mustakerov, I., D. Borissova. Wind park layout design using combinatorial optimization. *Wind Turbines*, Ed. Ibrahim Al-Bahadly, 652 pages, InTech, 2011, pp. 403-424.
 40. Mustakerov, I., D. Borissova. Wind turbines type and number choice using combinatorial optimization. *Renewable Energy*. Vol. 35(9), 2010, pp. 1887-1894.
 41. 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.
 42. 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.
 43. 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.
 44. 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.
 45. Nelson, C. A. A scoring model for flexible manufacturing system project selection. *European Journal of Operational Research*, 24, 1986, pp. 346-359.
 46. Saaty, T. L. Making and validating complex decisions with the AHP/ANP. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 14, 2005, pp. 1-36.
 47. Wang, X., E. Triantaphyllou. Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. *Omega*, Vol. 36, 2008, pp. 45-63.
 48. 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.