

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: 519.8; 004.4

**ISTRATI DANIELA**

**METODE DE OPTIMIZARE ȘI INTERFEȚE ÎN  
ORGANIZAREA SISTEMELOR DE PRODUCȚIE**

**122.03 “MODELARE, METODE MATEMATICE, PRODUSE PROGRAM”**

**REZUMAT ȘTIINȚIFIC AL TEZEI DE DOCTOR ÎN INFORMATICĂ**

**CHIȘINĂU, 2023**

**Teza a fost elaborată în cadrul Departamentului Informatică și Ingineria Sistemelor, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, UTM.**

**Conducători științifici:**

**Moraru Vasile** Doctor în științe fizico-matematice, profesor universitar

**Zaporojan Sergiu** Doctor în științe tehnice, conferențiar universitar

**Referenți Oficiali:**

**Căpățână Gheorghe** Doctor în informatică, profesor universitar, Universitatea de Stat din Moldova.

**Godonoga Anatol** Doctor în științe fizico-matematice, conferențiar universitar, Academia de Studii Economice din Moldova.

**Componența nominală a Consiliului Științific Specializat**

**Gaindric Constantin** **Președinte**, membru corespondent al Academiei de Științe a Moldovei, Doctor habilitat în informatică, profesor universitar, Institutul de Matematică și Informatică "Vladimir Andrunachievici".

**Cojuhari Irina** **Secretar științific**, doctor în informatică, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei.

**Bolun Ion** Doctor habilitat în informatică, profesor universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei.

**Guțuleac Emilian** Doctor habilitat în tehnică, profesor universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei.

**Costaș Ilie** Doctor habilitat în informatică, profesor universitar, Academia de Studii Economice din Moldova.

**Ungureanu Valeriu** Doctor în științe fizico-matematice, conferențiar universitar, Universitatea de Stat din Moldova.

**Hîncu Boris** Doctor în științe fizico-matematice, conferențiar universitar, Universitatea de Stat din Moldova.

Susținerea va avea loc la 09.02.2024, ora 15<sup>00</sup>, în Ședința Consiliului Științific Specializat **D 122.03-23-48** din cadrul Universității Tehnice a Moldovei, pe adresa: str. Studenților 9/7, blocul de studii nr.3, aud. 208, MD 2045, Chișinău, Republica Moldova.

Teza de doctor și rezumatul științific pot fi consultate la Biblioteca tehnico-științifică a Universității Tehnice a Moldovei și pagina web ANACEC (<https://www.anacec.md / www.cnaa.md/>).

Rezumatul științific a fost expediat la "04" ianuarie 2024

Secretar științific al Consiliului Științific Specializat,

Dr. în informatică, conf. univ. \_\_\_\_\_ **Cojuhari Irina**

Conducători științifici

Dr. în șt. fiz.-mat., prof. univ. \_\_\_\_\_ **Moraru Vasile**

Dr. în șt. tehnice, conf. univ. \_\_\_\_\_ **Zaporojan Sergiu**

Autor \_\_\_\_\_ **Istrati Daniela**

## Repere conceptuale ale cercetării

**Actualitatea temei de cercetare.** Planificarea producției implică multe decizii, care trebuie luate în considerare. Mai ales că, în ultimii ani, piața se schimbă dinamic și producătorii încearcă să finalizeze comenzile în cel mai scurt timp. Problema apare atunci, când noi planuri de producție sunt generate și implementate într-o perioadă scurtă de timp. De aceea, sunt necesare analize și cercetări legate nu doar de mediul întreprinderii, ci și de planificarea resurselor, sistemele de suport decizional și fluxul datelor. Planificarea resurselor reprezintă o componentă de bază în organizarea și funcționarea întreprinderii, problema de planificare și optimizare a resursei umane fiind una centrală.

Un caz aparte ține de întreprinderile mici și mijlocii (IMM), în special IMM-urile de producere, cercetare și inovare, care se caracterizează, spre exemplu, prin dimensiunea lor redusă și particularități specifice în planul organizării și operaționalizării activităților. Printre trăsăturile definitorii ale întreprinderilor mici se evidențiază următoarele două: realizarea de produse și servicii inovative pentru cerere diferențiată, respectiv, suprapunerea frecventă a rolurilor de manager, întreprinzător și proprietar. La acestea se adaugă flexibilitatea firmelor mici, caracteristică absolut necesară în condițiile unui climat organizațional puternic influențat de schimbare și inovare. Există mai mulți factori de context ce influențează activitățile IMM-urilor de producere, cercetare și inovare, schimbările operative în comanda de producție fiind adesea în prim plan. Asemenea schimbări implică o organizare specifică producției de unicat și serie mică, caracterizată printr-o nomenclatură de fabricație inconstantă. La rândul lor, schimbările operative în comanda de producție implică activități operative de pregătire a producției, între care activitățile de adaptare și (re)planificare a resursei umane se impun în mod aproape obligatoriu.

În acest context, sunt importante soluțiile care vin să sprijine problemele emergente legate de situații de planificare și luare a deciziilor, în special atunci când apar comenzi noi sau când este necesară reorganizarea sarcinilor și resurselor. De asemenea, din punctul de vedere al unui decident, este important ca informațiile și datele din procesele de producție să fie adecvate, pentru a lua decizii optime.

Suportul decizional în organizarea optimă a activității unei întreprinderi nu este întotdeauna posibil fără produse informatice care au la bază modelele matematice de optimizare. Este și cazul problemei de planificare a resurselor umane. Planificarea și optimizarea zilelor libere pentru personalul din sectorul public, cât și din companiile private este o parte importantă a procesului de planificare a resurselor umane. O planificare bună (optimă) are multe beneficii, cum ar fi costuri mai mici, utilizarea eficientă a resurselor și sarcini de lucru și schimburi mai echitabile. Astfel, se obține o problemă de optimizare cu variabile binare. În caz general, aceste probleme de optimizare

sunt NP- dificile și greu de a fi rezolvate eficient. Timpul de rezolvare crește, în general, dramatic odată cu creșterea dimensiunii problemei și adesea doar problemele în dimensiuni mici sau în dimensiuni moderate pot fi practic rezolvate eficient. Aceste considerente și progresul în modelarea matematică impune cercetarea, analiza, elaborarea și implementarea modelelor moderne în termenii programării matematice și a metodelor efective noi, ceea ce constituie o problemă actuală de importanță majoră. Actualitatea și importanța acestei probleme a devenit și mai stringentă în perioada pandemiei Covid-19, perioadă în care a devenit imperativ necesară o adaptabilitate mai mare în planificarea și optimizarea zilelor libere pentru personalul implicat în activități de producere/servicii.

Acceptând clasificarea predominantă a Industriei 4.0 ca o dezvoltare revoluționantă, relevanța și semnificația sa pentru economiile avansate sunt evidente. O abordare sistemică la nivel de planificare, control și monitorizare a sistemului de producție presupune în mod obligatoriu luarea în considerare a interfeței cu mediul de firmă implicat. Prin mediu de firmă se subînțelege totalitatea elementelor aferente organizării și funcționării întreprinderii. În contextul conceptului Industria 4.0, un aspect esențial în interacțiunea om - mașină se referă la dimensiunea interacțiunii, interfețele de utilizator folosite fiind definatorii în acest sens. Astfel, o atenție deosebită în cercetările legate de interacțiunea om - mașină în Industria 4.0 este acordată interfețelor de utilizator, care prezintă interes științifico-practic în ceea ce privește caracteristicile, tipurile, funcționalitatea și scenariile de aplicație, acestea din urmă fiind diverse și implementate pentru procesele de planificare, monitorizare și control, precum și în activitățile de întreținere. În consecință, dimensiunea interacțiunii fiind esențială în organizarea și managementul întreprinderii, abordarea unor noi arhitecturi conceptuale a interfețelor de utilizator reprezintă o problemă actuală.

Indiferent de tipul întreprinderii, în condiții reale mediul acesteia este supus diverselor turbulențe, adică numeroase și neașteptate schimbări, care au un impact economic, social și managerial. Turbulențele în mare parte sunt de amploare redusă, însă unele dintre ele nu pot fi anticipate și cuantificate suficient de precis, recenta pandemie Covid-19 prezentând un caz elocvent în acest sens. Deci, este absolut evident că turbulențele trebuie luate în considerare prin prisma faptului că pot genera perturbații puternice, inclusiv asupra resursei umane implicate în producere, și amplifică incertitudinile de ordin divers. În acest context este actuală construirea și dezvoltarea sistemelor de monitorizare și validare a personalului întreprinderii. Sub aspect tehnico-științific asemenea sisteme ar trebui privite ca parte integrantă a modelelor conceptuale a interfețelor de utilizator, fiind interconectate cu sistemele de suport decizional aferente.

**Domeniul de cercetare.** Teza de doctorat are ca domeniu de cercetare modele și metode de planificare-optimizare a resurselor necesare organizării și funcționării sistemelor de producție moderne, în special a fluxului resursei umane.

**Ipoteza de cercetare.** Problema de planificare a personalului este modelată ca o problemă de programare pătratică binară. Metodele și modelele de programare matematică sunt capabile să ofere soluțiile optime (locale sau globale), garantând în același timp satisfacerea preferințelor angajaților ceea ce duce la creșterea calității serviciilor.

**Scopul lucrării (sau obiectivul general):** Elaborarea și dezvoltarea unor noi modele și metode de planificare-optimizare a resurselor umane necesare organizării și funcționării sistemelor de producție moderne.

**Obiectivele cercetării:** Din scopul propus rezultă următoarele **obiective ale cercetării:**

1. Analiza modelelor și metodelor de organizare a sistemelor de producție și planificarea resurselor;
2. Elaborarea și dezvoltarea unor metode de optimizare și de planificare a fluxului resurselor umane în cadrul sistemelor de producție moderne;
3. Analiza abordărilor moderne de construire a interfețelor om-mașină;
4. Abordarea unei arhitecturi conceptuale a interfeței om-mașină;
5. Elaborarea și implementarea unui prototip de monitorizare a fluxului resursei umane în cadrul instituțiilor publice / sistemelor de producție.

**Suportul metodologic și teoretico-științific al cercetărilor.** Cercetările elaborate sunt bazate pe modele matematice și metode de optimizare, cum ar fi programare binară pătratică, programare separabilă, algebră liniară, concepte arhitecturale în proiectarea interacțiunii om-mașină.

Pe parcursul lucrărilor de cercetare a fost utilizată metodologia ipotetico-deductivă. Argumentarea utilizării acestei metode reiese din natura sistemelor și proceselor studiate și din posibilitatea verificării corectitudinii ipotezelor formulate pe parcursul procesului de cercetare.

**Noutatea și originalitatea științifică.** Au fost elaborate noi metode de optimizare și planificare a fluxului resurselor umane în cadrul sistemelor de producție. Originalitatea soluțiilor propuse constă în rezolvarea problemelor de optimizare pătratică binară neconvexă cu matrice circulante. Structura matricei circulante din funcția scop permite diagonalizarea ei. Principala provocare practică este calcularea rapidă a matricelor din cadrul modelului.

**Problema științifică soluționată** constă în cercetarea și propunerea unei metode originale de rezolvare a problemei de planificare a zilelor libere consecutive, care este formulată ca o problemă binară de programare pătratică neconvexă. Tratarea se bazează pe proprietățile matricei

simetrice circulante care formează funcția obiectiv. Problema de programare pătratică se transformă într-o problemă echivalentă de programare pătratică separabilă.

**Semnificația teoretică a lucrării** o reprezintă elaborarea și dezvoltarea unei metode originale de rezolvare a problemei de planificare a fluxului resurselor umane, care este formulată ca o problemă binară de programare pătratică. Caracteristica transformării problemei într-o problemă de optimizare separabilă este că problema rămâne bine condiționată independent de numărul variabilelor de decizie din formularea problemei. Astfel de abordări cu matrice circulante nu sunt studiate în literatură.

**Valoarea aplicativă a lucrării.** Modelul și metoda de planificare-optimizare a resurselor umane, propuse în teză, reprezintă o bază teoretică și practică indispensabilă în organizarea și funcționarea sistemelor de producție moderne, inclusiv pot fi utilizate cu succes în procesul de studiu universitar. De asemenea, sistemul de monitorizare a accesului persoanelor în spațiile publice, poate fi utilizat pentru validarea accesului persoanelor în spațiile întreprinderilor.

**Implementarea rezultatelor științifice.** Modelele și sistemele elaborate au fost implementate în cadrul companiei "Pentalog Chișinău" și a Facultății CIM, UTM.

**Rezultatele științifice înaintate spre susținere:**

1. Metodă de optimizare a fluxului resurselor umane în cadrul sistemelor de producție, axată pe rezolvarea problemei de planificare a zilelor libere consecutive.
2. Metode și algoritmi de rezolvare a problemelor de programare pătratică (cu restricții inegalități, reformulări continue în optimizarea binară pătratică neconstrânsă, binară cu matrice circulante).
3. Concept de interfață web pentru managementul resursei umane.
4. Sistem-prototip de monitorizare a fluxului resursei umane în spațiul instituțiilor publice / companiilor de producție.

**Aprobarea rezultatelor lucrării.** Rezultatele principale ale lucrării au fost prezentate la următoarele conferințe științifice internaționale/naționale:

1. 11-th, 12-th International Conference on Electronics, Communications and Computing. October 2021, 2022, Chișinău, Moldova.
2. 6-th International Conference "Telecommunications, Electronics and Informatics", ICTEI-2018, May 24-27, 2018, Chișinău, Moldova.
3. 9-th International Conference of Microelectronics and Computer Science, October 19-21, 2017, Chișinău, Moldova.
4. Conferința Internațională Modelare Matematică, Optimizare și Tehnologii Informaționale (MMOTI 2016), 22-25 martie, 2016. Ediția a V-a.

5. Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 30 martie 2022, Chișinău, Republica Moldova.
6. Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 23-25 martie 2021, Chișinău, Republica Moldova.
7. Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 1-3 aprilie 2020, Chișinău, Republica Moldova.

**Publicații științifice.** La tema tezei au fost publicate 12 lucrări științifice, dintre care două articole în reviste de categoria B+, inclusiv unul ca unic autor, un articol în revistă de categoria B, 6 articole în culegeri științifice internaționale (unul singur autor). Per ansamblu, unic autor la trei lucrări din cele sus-indicate și trei ca prim autor.

**Structura și volumul lucrării.** Teza este compusă din introducere, patru capitole, concluzii finale, bibliografie (169 titluri) și 4 anexe. Conținutul de bază al tezei este expus pe 103 pagini, inserează 28 figuri.

## CONȚINUTUL TEZEI

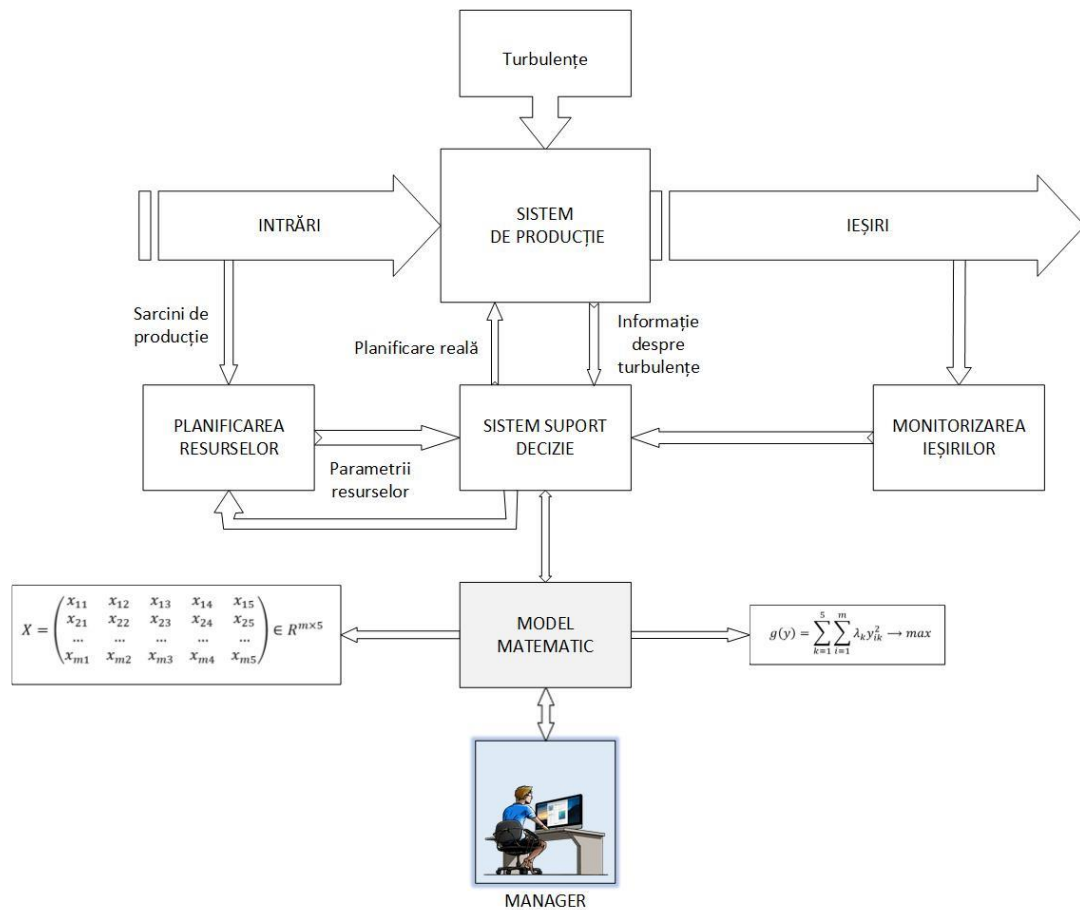
În **Introducere** este prezentată argumentarea și actualitatea temei de cercetare. Sunt formulate scopul și sarcinile cercetării, sunt prezentate domeniul și obiectivele cercetării, elementele de noutate științifică a rezultatelor obținute. De asemenea, este evidențiată semnificația teoretică și valoarea aplicativă a domeniului de studiu.

În capitolul I, **Starea actuală a cercetărilor privind organizarea sistemelor de producție**, este realizată analiza conceptuală a sistemelor de producție ghidate de genericul Industry 4.0, este efectuată trecerea în revistă a modelelor și metodelor utilizate în organizarea sistemelor de producție, este descris locul și rolul interacțiunii om-mașină în sistemele de producție moderne. Este formulată problema și direcția de cercetare (triada modelare matematică – interacțiune HMI – monitorizarea perturbațiilor la nivel de resursă umană).

În ultimii ani, încorporarea înaltei tehnologii în sistemele de producție a adus apariția unei "a patra revoluții industriale" Industria 4.0. Conceptul sistemelor de producție în Industria 4.0 include diverse aspecte ale interacțiunii în cadrul organizației, planificării și managementului resurselor. Studiul procedurilor de planificare a generat contribuții importante la îmbunătățirea productivității în diferite ramuri industriale.

Organizarea unui sistem de producție este un proces prin care factorii de producție, printre care se regăsește și forța de muncă sau resursa umană, sunt parte componentă a diverselor activități de planificare în cadrul unei organizații pentru a produce bunuri și/sau servicii. Programarea sau planificarea programului de lucru este o activitate esențială și permanentă în procesul de planificare și coordonare în cadrul organizației, care ține de determinarea succesiunii în timp a

lucrărilor sau comenzilor cu alocarea resurselor necesare (resursă umană, mașini, unelte etc.) pentru realizarea setului aferent de operațiuni. Sub aspect organizațional un sistem de producție întotdeauna trebuie văzut ca o structură ierarhică complexă. Suportul decizional în organizarea optimă a activității unei întreprinderi nu este întotdeauna posibil fără produse informatice care au la bază modelele matematice de optimizare [1]. Locul și interconexiunile unui sistem de producție pot fi arătate ca în figura 1, în care se prezintă un model general de planificare al producției.



**Fig. 1. Un model general de planificare a producției**

În cadrul acestui model, planificarea resurselor necesare reprezintă o componentă de bază în organizarea și funcționarea sistemului de producție, problema de planificare și optimizare a resursei umane fiind una centrală. În acest context este bine cunoscut că atât în organizațiile de producție (întreprinderi, fabrici), cât și în companiile de servicii (companii IT, companii aeriene, servicii de securitate, spitale, etc.) o preocupare constantă și specifică este planificarea zilelor libere și a zilelor de lucru pentru o săptămână de muncă sau multiple a acesteia.

O cerință esențială în procesul de generare a programelor de lucru ține de impunerea angajaților a prezenței la locul de muncă în diferite zile, pentru a asigura și menține calitatea tuturor



activităților la un nivel admisibil. Totodată, angajații trebuie să beneficieze de numărul dorit de zile libere consecutive pe parcursul săptămânii.

Pe de altă parte, întreprinderile mici și mijlocii (IMM), în special IMM-urile de producere, cercetare și inovare, prezintă o serie de trăsături care reflectă dimensiunea lor redusă și particularitățile în planul organizării și operaționalizării activităților. Printre trăsăturile definitorii ale firmelor mici se evidențiază următoarele două: realizarea de produse și servicii inovative pentru cerere diferențiată, respectiv, suprapunerea frecventă a rolurilor de manager, întreprinzător și proprietar. La acestea se adaugă flexibilitatea firmelor mici, caracteristică predominantă și absolut necesară în condițiile unui climat organizațional puternic influențat de schimbare și inovare. Astfel, există diverși factori de context ce influențează activitățile unui IMM de producere, cercetare și inovare, între care putem menționa:

- producerea inovației tehnologice;
- dezvoltarea intensă a activităților de cercetare-dezvoltare;
- utilizarea resursei umane cu calificare ridicată, adesea unică și pronunțat specializată;
- schimbările/solicitările operative în comanda de producție, fapt ce implică o organizare specifică producției de unicat și serie mică, caracterizată printr-o nomenclatură de fabricație inconstantă;
- schimbările/solicitările operative în comanda de producție implică activități operative de pregătire a producției, inclusiv activități de adaptare și replanificare pe segmentul resursei umane.

Din cele expuse rezultă importanța (re)planificării operative a activităților resursei umane în cadrul anumitor întreprinderi și companii. De menționat, că această problemă a devenit mult mai serioasă și sensibilă în ultimii ani, în perioada pandemiei de Covid-19, perioadă în care a devenit imperativ necesară o adaptabilitate mai mare în planificarea zilelor libere. Companiile se confruntă cu necesitatea de a genera un program de lucru flexibil între angajați, având întotdeauna în vedere satisfacerea sarcinilor de lucru cât și garantarea zilelor libere consecutive. La toate acestea, în anumite domenii, se poate adăuga și criza forței de muncă.

Datorită complexității sale, caracteristicilor sale provocatoare și relevanței sale practice, programarea personalului a fost investigată intens în ultimele câteva decenii cu ajutorul modelelor liniare în numere întregi. Cu toate acestea, există un nivel foarte scăzut de studiu asupra modelelor utilizând programarea pătratică pentru rezolvarea acestor probleme importante. În cazul convex au fost propuși algoritmi efectivi (polinomiali) de rezolvare. Dar dacă problema de programare pătratică este neconvexă sau include variabile întregi, problema este NP-dificilă, astfel încât nici un algoritm cunoscut nu poate rezolva astfel de probleme într-un mod eficient.

O abordare sistemică la nivel de planificare, control și monitorizare a producției presupune în mod obligatoriu luarea în considerare a interfeței cu mediul de firmă. Prin mediu de firmă implicat trebuie să subînțelegem totalitatea elementelor aferente organizării și funcționării firmei. În contextul conceptului Industria 4.0 un aspect esențial în interacțiunea om - mașină se referă la dimensiunea interacțiunii, care, la rândul ei, poate fi împărțită în mai multe categorii, interfețele de utilizator (User Interface) folosite fiind definitorii. Dimensiunea User Interface fiind esențială în organizarea și managementului producției, abordarea unor noi arhitecturi conceptuale a interfeței de utilizator reprezintă o problemă actuală. Mai mult ca atât, este important de analizat posibilitatea includerii anumitor elemente de inteligență, care să ia în considerare analiza online a necesităților de personal și a posibilităților existente la moment în conexiune cu modelele de planificare disponibile.

Indiferent de tipul mediului întreprinderii, o cercetare complexă trebuie să ia în considerare nu doar interfața cu mediul de firmă implicat, ci și diversele turbulențe, adică numeroase și neașteptate schimbări, care au un impact economic, social, managerial. Turbulențele în mare parte sunt de amploare redusă, însă unele dintre ele nu pot fi anticipate și cuantificate suficient de precis (recenta pandemie Covid-19 prezintă un caz elocvent în acest sens), fapt care generează perturbații puternice, inclusiv asupra resursei umane implicate în producere, și amplifică incertitudinile de ordin divers. În acest context a devenit extrem de actuală și necesară construirea și dezvoltarea unor sisteme de monitorizare și validare a personalului întreprinderii/companiei. Sub aspect tehnico-științific un astfel de sistem trebuie privit ca parte integrantă a unei arhitecturi conceptuale a interfeței de utilizator cu implicațiile și interconexiunile de rigoare.

În conformitate cu problema formulată, cercetarea științifică în cadrul acestei teze se axează pe triada modelare matematică – interacțiune HMI – monitorizarea perturbațiilor la nivel de resursă umană. Prima componentă a cercetării ține de problema planificării resursei umane.

În capitolul II, **Metode și modele de optimizare pentru planificarea resurselor umane**, este realizată o analiză detaliată a problemei de planificare a personalului (resursei umane), fiind trecute în revistă și clasificată literatura de specialitate referitoare problemei programării personalului. Sunt prezentate noi abordări și tendințe, diferite perspective de clasificare în domeniul respectiv. Sunt descrise și analizate modele și tehnici de optimizare existente. Este prezentată rezolvarea problemei de planificare a zilelor libere consecutive.

Structura matricei circulante din funcția scop permite diagonalizarea ei. Principala provocare practică este calcularea rapidă a matricei diagonale  $\Lambda_0$  și a matricei Fourier  $F_0$ , care în abordarea noastră reduce problema considerată la o problemă de programare pătratică separabilă. Caracteristica acestei transformări este că matricea  $F = F_0 \oplus F_0 \oplus \dots \oplus F_0 \oplus F_0$  rămâne bine

condiționată ( $\text{cond}(F)=1$ ) independent de numărul variabilelor de decizie din formularea problemei. Din câte cunoaștem, astfel de abordări cu matrice circulante nu sunt studiate în literatură. Tot în cadrul acestui capitol se cercetează rezolvarea problemelor de optimizare pătratică. În cazul problemei de programare pătratică binară, ideea principală a fost de a o transforma într-o nouă problemă de optimizare cu doar două constrângeri convexe. Problema de programare pătratică cu constrângeri inegalități liniare în urma unor transformări judicioase a condițiilor de optimalitate Karush-Kuhn-Tucker a fost redusă la rezolvarea unui sistem de ecuații, care la rândul său poate fi rezolvat cu ajutorul metodei celor mai mici pătrate.

Prin optimizare se înțelege totalitatea de metode și tehnici care determină aflarea soluției celei mai bune (soluție optimă) pentru problema considerată. Modelul de optimizare nu ne spune ce se va întâmpla într-o anumită situație, ci ne arată ce să facem pentru a obține cea mai bună situație. Modelul matematic al oricărei probleme de optimizare presupune minimizarea sau maximizarea unei funcții supusă unor constrângeri.

Într-o formă generală, un model de optimizare se prezintă sub forma:

$$f(x) \rightarrow \min \left. \begin{array}{l} \text{referitor la} \\ h(x) = 0, \\ g(x) \geq 0, \end{array} \right\}$$

unde  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$  este funcția obiectiv (scop), iar funcțiile  $h: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$  și  $g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^k$  exprimă constrângerile modelului.

Dacă funcția scop este o funcție pătratică, iar constrângerile reprezintă funcții liniare, avem o problemă de programare pătratică. Cazul special al programării liniare cu numere întregi 0-1, adică în care necunoscutele sunt binare, este NP-hard [2]. Pentru modelele de programare pătratică binară situația este foarte dificilă.

În cadrul acestei teze au fost cercetate modele de optimizare și metode de rezolvare ale problemelor de programare binară pătratică.

### **Metoda celor mai mici pătrate pentru problema de programare pătratică**

Considerăm problema de programare pătratică

$$f(x) = x^T Q x \rightarrow \max \left. \begin{array}{l} \text{referitor la} \\ Ax = b, \\ x \in \{0,1\}^n \end{array} \right\} \quad (1)$$

unde  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in \mathbb{R}^n$ ,  $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)^T \in \mathbb{R}^n$ ,  $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T \in \mathbb{R}^m$ ,

$$Q = (q_{ij})_{i,j=1}^n \in \mathbb{R}^{n \times n}, Q^T = Q, A = (a_{ij})_{i=1,m}^{j=1,n} \in \mathbb{R}^{m \times n}.$$

Simbolul “ $T$ ” arată operația de transpunere. Aici  $\mathbb{R}^n$  este spațiul euclidian al vectorilor  $n$ -dimensionali (vectorilor coloane) cu produsul scalar  $x^T y = \sum_{i=1}^n x_i y_i$  iar  $\mathbb{R}^{m \times n}$  notează mulțimea matricelor reale de dimensiune  $m \times n$ .

Problema de programare pătratică cu constrângeri inegalități liniare (1) în urma unor transformări convenabile a condițiilor de optimalitate Karush-Kuhn-Tucker se reduce la rezolvarea unui sistem de ecuații, care la rândul său se poate rezolva cu ajutorul metodei celor mai mici pătrate. Definim funcțiile:

$$u(y) = \frac{1}{2}(y^3 + y^2|y|), v(y) = y^2|y| - u(y).$$

iar

$$U(y) = \begin{pmatrix} u(y_1) \\ u(y_2) \\ \vdots \\ u(y_m) \end{pmatrix}, \quad V(y) = \begin{pmatrix} v(y_1) \\ v(y_2) \\ \vdots \\ v(y_m) \end{pmatrix}$$

Se asociază problemei (1) funcția Lagrange:

$$L(x, \lambda) = f(x) + \lambda^T (Ax - b)$$

Condițiilor de optimalitate Karush-Kuhn-Tucker:

$$\nabla_x L(x^*, \lambda^*) = \nabla f(x^*) - A^T \lambda^* = 0,$$

$$D(x^*) \lambda^* = 0, \lambda^* \geq 0, Ax^* - b \geq 0,$$

unde  $D(x^*)$  este matricea diagonală cu elementele:  $d_{ii} = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j^* - b_i$ .

În urma unor transformări convenabile a condițiilor de optimalitate problema se reduce la rezolvarea sistemului de ecuații:

$$F(x, \lambda, y) = \begin{pmatrix} \nabla_x L(x, \lambda) \\ U(y) - Ax + b \\ V(y) - \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Rezolvarea sistemului de ecuații neliniare (2) poate fi efectuată, minimizând funcția  $\varphi(x, \lambda, y) = \frac{1}{2} \|F(x, \lambda, y)\|^2$ . (3)

Matricea Jacobiană pentru funcția-vector  $F(x, \lambda, y)$  este

$$F'(x, \lambda, y) = \begin{pmatrix} Q & -A^T & O_{n \times m} \\ -A^T & O_{m \times m} & U'(y) \\ O_{m \times n} & -I_m & V'(y) \end{pmatrix}$$

Se demonstrează  $\det(F'(x, \lambda, y)) \neq 0$ . În vecinătatea soluției optime  $\nabla\varphi(x, \lambda, y) = F'(x, \lambda, y)F((x, \lambda, y) = 0$  dacă și numai dacă  $F((x, \lambda, y) = 0$ .

Pentru a depăși lipsa derivatelor funcțiilor de complementaritate s-au propus utilizarea funcțiilor  $u$  și  $v$ , funcții continue împreună cu derivatele sale. Aceasta permite minimizarea funcției (3) cu ajutorul metodelor de gradient.

### O metodă pentru programe pătratice binare cu matrice circulantă

De-a lungul anilor au fost dezvoltate și propuse diferite metode de rezolvare și diverse tehnici de relaxare a problemei considerate (1) cu variabile binare: Relaxări semidefinite și relaxări lagrangiene, Tehnici de liniarizare, Reformulări convexe, Metode euristice.

Vom considera că matricea  $Q$  este o matrice simetrică circulantă [3]:

$$Q = \begin{pmatrix} q_0 & q_1 & q_2 & \cdots & q_{n-2} & q_{n-1} \\ q_1 & q_2 & q_3 & \cdots & q_{n-1} & q_0 \\ q_2 & q_3 & q_n & \cdots & q_0 & q_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{n-1} & q_0 & q_1 & \cdots & q_{n-3} & q_{n-2} \end{pmatrix}.$$

Matricele circulante apar într-o varietate de aplicații matematice și ingineresti cum ar fi procesarea semnalului și corectarea erorilor codurilor [4].

Prezentăm o metodă de rezolvare a problemei de programare pătratică cu matrice circulante  $Q$ . Problema este convertită într-o problemă de programare separabilă, care la rândul ei este relaxată la o problemă cu funcția scop reprezentată ca diferența a două funcții convexe, problemă denumită în literatură *DC programming (DC-Difference of Convex functions)* [5].

Toate matricele circulante pot fi diagonalizate cu una și aceeași matrice Fourier:  $Q = F\Lambda F$ , unde

$$F = \frac{1}{\sqrt{n}}(p_1 \quad p_2 \quad \cdots \quad p_n) = \frac{1}{\sqrt{n}} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & \omega & \omega^2 & \cdots & \omega^{n-1} \\ 1 & \omega^2 & \omega^4 & \cdots & \omega^{2(n-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \omega^{n-1} & \omega^{2(n-1)} & \cdots & \omega^{(n-1)(n-1)} \end{pmatrix},$$

iar  $\omega$  este rădăcina primitivă a unității:  $\omega = \exp\left(\frac{2\pi i}{n}\right)$ ,  $i = \sqrt{-1}$ .

Valorile proprii ale matricei simetrice circulante  $Q$  sunt numere reale și sunt date de

$$\lambda_j = q_0 + q_1\omega_j + q_2\omega_j^2 + \cdots + q_{n-1}\omega_j^{n-1}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

unde  $\omega_j = \exp\left(\frac{2\pi(j-1)}{n}\right)$

Astfel matricea simetrică  $Q$  este exprimată în termenii de matrici care conțin valorile sale proprii (4) și componentele vectorilor proprii.

Funcția scop  $f(x)$  poate fi rescrisă astfel:

$$f(x) = x^T Q x = x^T F \Lambda F x = (F x)^T \Lambda F x.$$

Notăm  $y = F x = (y_1 \ y_2 \ \dots \ y_n)^T$ .

Matricea  $F$  este ortogonală ( $F^{-1} = F$ ), deci  $x = F y$ . Atunci problema (1) devine o problemă de programare separabilă:

$$\left. \begin{array}{l} \varphi(y) = y^T \Lambda y = \sum_{k=1}^n \lambda_k y_k^2 \rightarrow \max \\ \text{referitor la} \\ \quad \quad \quad A F y = b, \\ \quad \quad \quad F y \in \{0, 1\}^n \end{array} \right\} \quad (5)$$

Dacă nu se ia în considerație ultima constrângere ( $F y \in \{0, 1\}^n$ ), atunci problema (5) este o problemă de programare pătratică separabilă neconvexă.

Printre valorile proprii ale matricei  $Q$  sunt numere atât pozitive cât și negative. Funcția  $\varphi(y)$  poate fi rescrisă ca diferența a două funcții convexe:  $\varphi(y) = \varphi_1(y) - \varphi_2(y)$ , unde

$$\varphi(y) = \sum_{\lambda_k > 0} \lambda_k y_k^2 - \sum_{\lambda_k < 0} (-\lambda_k) y_k^2$$

O abordare practică ar fi relaxarea condițiilor  $F y \in \{0, 1\}^n$ , înlocuindu-le cu  $0 \leq F y \leq 1$ .

Pentru rezolvarea problemei relaxate se propune algoritmul DCA (DC-Difference of Convex Functions) pentru a calcula soluțiile suboptimale locale.

### Algoritmul DCA

Pentru rezolvarea problemei relaxate (5) se poate utiliza algoritmul DCA. Notăm mulțimea indicilor  $i_s$  pentru care valorile proprii  $\lambda_{i_s} > 0$ :

$$I = \{i | \lambda_i > 0\} = \{i_1, i_2, \dots, i_s\}.$$

Metoda DCA este de tipul primal - duală și se bazează pe construirea a două șiruri  $\{y^{(k)}\}, \{v^{(k)}\}$  care sunt calculate la fiecare iterație după cum urmează:

Pasul 1.  $y^{(0)}$  - aproximația inițială de start,  $k=0$ .

Pasul 2. Se determină

$$u^{(k)} = \nabla \varphi_1(y^{(k)}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial \varphi_1(y^{(k)})}{\partial y_{i_1}} \\ \frac{\partial \varphi_1(y^{(k)})}{\partial y_{i_2}} \\ \vdots \\ \frac{\partial \varphi_1(y^{(k)})}{\partial y_{i_s}} \end{pmatrix}.$$

Pasul 3. Se stabilește  $y^{(k+1)}$  – soluția problemei de programare separabilă convexă:

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_2(y) - \varphi_1(u^{(k)}) \rightarrow \min \\ \text{referitor la} \\ AFy = b, \\ 0 \leq p_j^T y_j \leq 1, \\ j = 1, 2, \dots, n. \end{array} \right\}$$

Pasul 4. Dacă se verifică criteriul de oprire, atunci STOP. În caz contrar se va lua  $k = k + 1$  și se trece la Pasul 2.

Astfel diagonalizarea matricei circulante cu ajutorul matricei Fourier permite reducerea problemei de programare neconvexă pătratică cu matrice circulante la o problemă de programare separabilă. Pentru rezolvarea problemei relaxante se propune algoritmul DCA pentru a calcula soluțiile suboptimale locale.

### **Rezolvarea problemei de planificare a zilelor libere consecutive**

Datorită complexității sale, caracteristicilor sale provocatoare și relevanței sale practice, programarea personalului a fost investigată intens în ultimele câteva decenii cu ajutorul modelelor liniare în numere întregi. Cu toate acestea, există un nivel foarte scăzut de studiu asupra modelelor utilizând programarea pătratică pentru rezolvarea acestor probleme importante. În cazul convex au fost propuși algoritmi efectivi (polinomiali) de rezolvare [6]. Dar dacă problema de programare pătratică este neconvexă sau include variabile întregi, problema este NP-hard. Nici un algoritm cunoscut nu poate rezolva astfel de probleme într-un mod eficient.

În cele ce urmează problema planificării a zilelor libere consecutive este formulată ca o problemă binară de programare pătratică [7], [8]. Tratarea se bazează pe proprietățile matricei simetrice circulante care formează funcția obiectiv. Problema de programare pătratică se transformă într-o problemă echivalentă de programare separabilă.

### **Definirea problemei**

Se considera că săptămână de lucru este de 5 zile, adică compania sau instituția are un program de lucru comprimat și flexibil. Planificarea zilelor libere și a zilelor de lucru pe săptămână sau ciclul de lucru de mai multe săptămâni presupune că sunt satisfăcute următoarele ipoteze și constrângeri:

1. Fiecare angajat are același set de abilități, aceeași productivitate, aceleași ore posibile de lucru permise de contract etc. – angajații sunt similari în toate dimensiunile care sunt relevante pentru model;
2. Se cunoaște numărul total de angajați  $m$  și numărul de lucrători  $n_k$  necesar în ziua  $k$ ;

3. Fiecare angajat  $i \in \{1, 2, \dots, m\}$  are un număr fix  $D_i$  de zile libere pe săptămână;
4. Fiecare angajat are cel puțin 2 zile libere consecutive pe săptămână;
5. În cazul când apar unele sarcini specifice și avem doar câțiva angajați care le pot realiza, atunci din numărul total de angajați îi excludem, fixându-i în zilele respective doar pe aceștia.

### Modelul de programare binară pătratică

Pentru fiecare lucrător introducem variabilele binare  $x_{ik}$  astfel încât:

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{dacă ziua } k \in \{1, 2, 3, 4, 5\} \text{ este liberă pentru lucrătorul } i \in \{1, 2, \dots, m\} \\ 0, & \text{în caz contrar} \end{cases}.$$

Avem matricea

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} & x_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & x_{m4} & x_{m5} \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{m \times 5}.$$

Această matrice o convertim într-un vector coloană format din liniile sale:

$$x = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{15}, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{25}, \dots, x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{m5})^T \in \mathbb{R}^{5m}.$$

Pentru fiecare zi,  $k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ , numărul lucrătorilor care iau această zi liberă este  $m - n_k$ .

Această ipoteză poate fi scrisă astfel:

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} = m - n_k,$$

sau în forma matricială:

$$Ax = b,$$

$$\text{unde } b = (m - n_1 \quad m - n_2 \quad m - n_3 \quad m - n_4 \quad m - n_5)^T \in \mathbb{R}^5,$$

$$\text{iar } A = (I \quad I \quad \dots \quad I) \in \mathbb{R}^{5 \times (5m)}.$$

Aici  $I$  este matricea unitate de dimensiunea  $5 \times 5$ .

Ipoteza că fiecare lucrător (angajat)  $i \in \{1, 2, \dots, m\}$  are  $d_i$  zile libere în săptămână poate fi scrisă astfel:

$$\sum_{k=1}^5 x_{ik} = d_i,$$

sau  $Ex = d$ , unde

$$d = (d_1 \quad d_2 \quad \dots \quad d_m)^T \in \mathbb{R}^m,$$

$$E = (E_1 \quad E_2 \quad \dots \quad E_m) \in \mathbb{R}^{m \times (5m)}.$$



Matricele  $E_i \in \mathbb{R}^{m \times 5}$  sunt de forma

$$E_i = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \leftarrow \text{r\^andul } i \in \{1, 2, \dots, m\}.$$

Ipoteza c\^a unele sarcini specifice trebuie realizate de un lucr\^ator care are abilitatea corespunz\^atoare, poate fi scris\^a dup\^a cum urmeaz\^a:

Not\^am

$$c_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{dac\^a prezen\^ta lucr\^atorului } i \in \{1, 2, \dots, m\} \text{ este necesar\^a \^in ziua } k \in \{1, 2, 3, 4, 5\} \\ 0, & \text{\^in caz contrar} \end{cases}.$$

Atunci  $Cx = 0$ , unde  $0 = (0 \ 0 \ \dots \ 0)^T \in \mathbb{R}^m$  – vectorul coloan\^a cu elementele egale cu zero, iar  $C = \{0, 1\}^{m \times (5m)}$  este matricea cu elementele  $c_{ik}$  definite mai sus.

Avem nevoie de o func\^ie care s\^a permit\^a de a putea maximiza num\^arul de zile libere consecutive pe s\^apt\^am\^an\^a [7]:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \left( \sum_{k=1}^4 x_{ik} x_{i,k+1} + x_{i5} x_{i1} \right)$$

Func\^ia obiectiv  $f(x)$  poate fi scris\^a astfel:  $f(x) = x^T Q x$ . Aici matricea simetric\^a  $Q$  este o matrice bloc-diagonal\^a [8]

$$Q = \begin{pmatrix} Q_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Q_0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & Q_0 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{(5m) \times (5m)}$$

unde  $0 \in \mathbb{R}^{5 \times 5}$  este o matrice nul\^a, \^in care toate elementele sale sunt egale cu 0, \^si matricea  $Q_0$  :

$$Q_0 = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{5 \times 5}$$

Astfel maximizarea num\^arului de zile libere consecutive este de a rezolva urm\^atoarea problem\^a de programare p\^atratice cu variabile binare:

$$\left. \begin{array}{l}
 f(x) = x^T Q x \rightarrow \max \\
 \text{referitor la} \\
 Ax = b, \\
 Ex = d, \\
 Cx = 0, \\
 x \in \{0,1\}^n.
 \end{array} \right\} \quad (6)$$

### Reformularea continuă pentru problema de optimizare pătratică binară

Considerăm acum suma directă de  $m$  matrice  $Q_0: Q_0 \oplus Q_0 \oplus \dots \oplus Q_0$

care în rezultat ne dă matricea  $Q$ .

Matricea  $Q$  este o matrice circulantă de blocuri. Valorile proprii și vectorii proprii ale matricei  $Q$  sunt reuniunea celor  $m$  mulțimi de 5 vectori proprii  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$  și respectiv celor 5 vectori proprii  $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$ .

Notăm matricele bloc-diagonale:

$$\Lambda = \Lambda_0 \oplus \Lambda_0 \oplus \dots \oplus \Lambda_0 \oplus \Lambda_0, \text{ unde } \Lambda_0 = \text{Diag}(\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \lambda_5),$$

$$F = F_0 \oplus F_0 \oplus \dots \oplus F_0 \oplus F_0, \text{ iar } F_0 = \frac{1}{\sqrt{5}} (p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4 \ p_5).$$

Atunci matricea  $Q$  este diagonalizată:  $Q = F \Lambda F$ .

$$\text{Notăm } \bar{y}_i = F_0 \bar{x}_i$$

Astfel problema (6) a fost transformată în următoarea:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m (F_0 \bar{x}_i)^T \Lambda_0 F_0 \bar{x}_i = \sum_{i=1}^m \bar{y}_i^T \Lambda_0 \bar{y}_i \rightarrow \max.$$

### Algoritmul de rezolvare

Se consideră următoarea modificare a algoritmului DCA, care se bazează pe construirea a două șiruri  $\{y^{(s)}\}, \{u^{(s)}\}$  calculate la fiecare iterație după cum urmează:

**Pasul 1.** Se dă  $\varepsilon > 0$  (precizia cu care se identifică soluția optimă). Se aleg  $5m$  valori reale (aproximația inițială de start  $y^{(0)}$ ):  $y_{ik}^{(0)}, i = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, 3, 4, 5$ , și se ia  $s = 0$ .

**Pasul 2.** Pentru orice  $i = 1, 2, \dots, m$  se determină

$$u_{ik}^{(s)} = \frac{\partial \varphi_1(y^{(s)})}{\partial y_{ik}} = \begin{cases} 2\lambda_k y_{ik}^{(s)}, & \text{dacă } k = 1, 2, 5 \\ 0, & \text{dacă } k = 3, 4 \end{cases}$$

**Pasul 3.** Se stabilește  $y^{(s+1)}$  soluția problemei de programare pătratică separabilă convexă:

$$\varphi_2(y) - \varphi_1(u^{(k)}) - (y - y^{(k)})^T u^{(k)} \rightarrow \min$$

$$\left. \begin{aligned}
& \lambda_3 \sum_{i=1}^m y_{i3}^2 + \lambda_4 \sum_{i=1}^m y_{i4}^2 + \lambda_1 \sum_{i=1}^m (u_{i1}^{(s)})^2 + \lambda_2 \sum_{i=1}^m (u_{i2}^{(s)})^2 + \\
& \lambda_5 \sum_{i=1}^m (u_{i5}^{(s)})^2 + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^5 (y_{ik} - y_{ik}^{(s)}) u_{ik}^{(s)} \rightarrow \max \\
\text{referitor la} \\
& \sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^m y_{ik} = \sqrt{5} (m - n_1), \\
& \sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^m \lambda_k y_{ik} + \mu_2 \sum_{i=1}^m (y_{i2} - y_{i5}) + \mu_3 \sum_{i=1}^m (y_{i3} - y_{i4}) = \sqrt{5} (m - n_2), \\
& \sum_{i=1}^m y_{i1} + \lambda_2 \sum_{i=1}^m (y_{i3} + y_{i4}) + \lambda_3 \sum_{i=1}^m (y_{i2} + y_{i5}) + \\
& + \mu_2 \sum_{i=1}^m (y_{i4} - y_{i3}) + \mu_3 \sum_{i=1}^m (y_{i2} - y_{i5}) = \sqrt{5} (m - n_3), \\
& \sum_{i=1}^m y_{i1} + \lambda_2 \sum_{i=1}^m (y_{i3} + y_{i4}) + \lambda_3 \sum_{i=1}^m (y_{i2} + y_{i5}) + \\
& + \mu_2 \sum_{i=1}^m (y_{i3} - y_{i4}) + \mu_3 \sum_{i=1}^m (y_{i5} - y_{i2}) = \sqrt{5} (m - n_4), \\
& \sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^m \lambda_k y_{ik} + \mu_2 \sum_{i=1}^m (y_{i1} - y_{i2}) + \mu_3 \sum_{i=1}^m (y_{i4} - y_{i3}) = \sqrt{5} (m - n_5), \\
& 0 \leq \sum_{k=1}^5 y_{ik} \leq \sqrt{5}, y_{i1} = \frac{\sqrt{5}}{5} d_i, i = 1, 2, \dots, m.
\end{aligned} \right\}$$

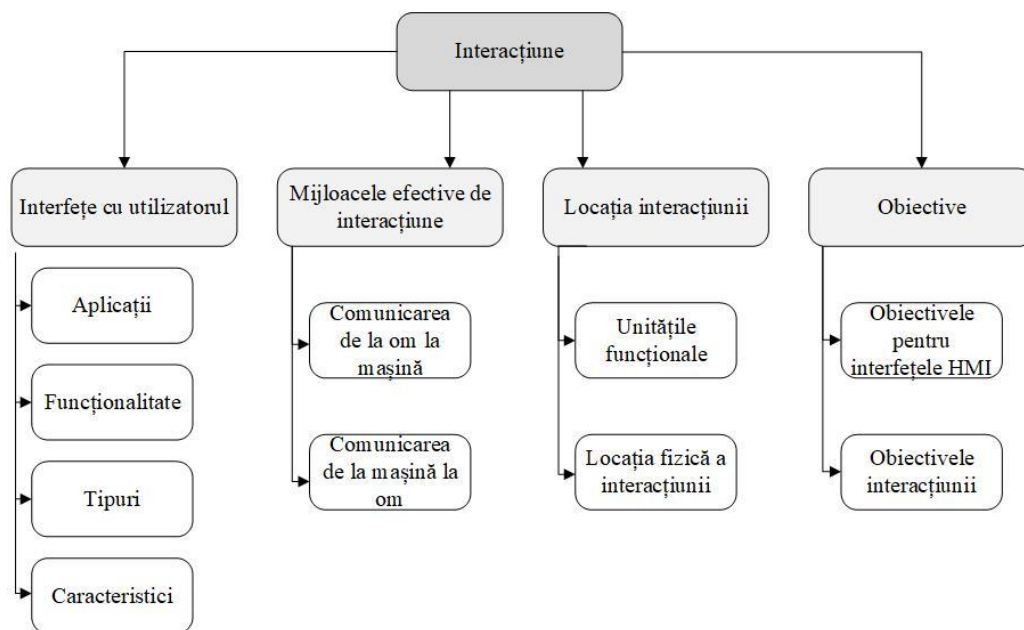
**Pasul 4.** Dacă se verifică criteriul de oprire:  $\max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq k \leq 5} |y_{ik}^{(s+1)} - y_{ik}^{(s)}| < \varepsilon$ , atunci STOP.

În caz contrar, se ia  $s = s + 1$  și se revine la **Pasul 2**.

Tehnica propusă permite utilizarea algoritmului DCA pentru a calcula soluții suboptimale locale a problemei inițiate, dar este posibil și să găsească și optimul global cu ajutorul, de exemplu, a metodelor de ramificare și mărginire (*a branch and bound method*), sau în combinație cu rezultatele clasice de aproximare a problemei de programare separabilă cu un model de programare liniară.

O abordare sistemică la nivel de planificare și monitorizare a producției presupune în mod obligatoriu luarea în considerare a interfeței cu mediul de firmă, prin care se subînțelege totalitatea elementelor aferente organizării și funcționării firmei.

În capitolul III, **Interfețe în organizarea sistemelor de producție**, este prezentată o rezolvare a sistemului interfață-utilizator. Sunt analizate elementele principale ale dimensiunii interacțiune, din cadrul unei interfețe HMI, utilizate în dezvoltarea și implementarea lor în organizarea sistemelor de producție moderne. Este prezentată o abordare conceptuală pentru construirea interfețelor utilizator, care permite integrarea modelului de programare pătratică propus în capitolul II. Acesta oferă posibilitatea adaptării modulului de programare pătratică pentru accesarea resurselor web specializate în realizarea calculului aferent planificării resursei umane.



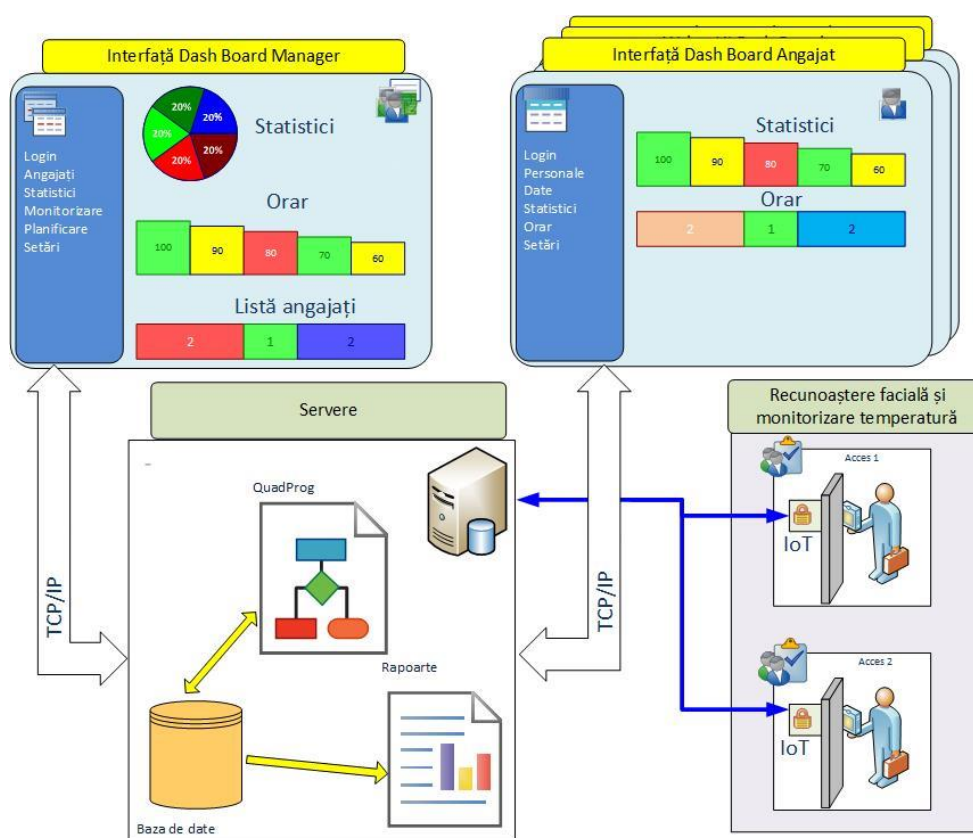
**Fig. 2. HMI în Industria 4.0 - elementele definitorii pentru componenta Interacțiune**

Unul din obiectivele principale ale abordării conceptului interfeței este de a asigura conexiuni între aplicațiile IoT și modelul de programare pătratică integrat în interfață, cu scopul de a conferi sistemului unele elemente de inteligență. În acest sens, conceptul propus permite conectarea unor posibile sisteme specializate, cum ar fi, de exemplu, un sistem de recunoaștere facială și scanare termică, care ar asigura monitorizarea și validarea resursei umane în cadrul întreprinderii. Totodată, este prezentată descrierea unei structuri de tip tablou de bord, ca parte integrantă a arhitecturii conceptuale a interfeței utilizator, accesibilă managerilor și angajaților întreprinderii, cu drepturi de acces diferite.

Caracterul interacțiunii om - mașină în Industria 4.0 este definit în special de dimensiunea interacțiunii, care la rândul ei poate fi împărțită în patru categorii definitorii: locația și mijloacele de interacțiune, interfețele de utilizator folosite și obiectivele interacțiunii [9]. Figura 2 oferă o

imagine de ansamblu asupra componentei interacțiune, inclusiv o enumerare detaliată a atributelor care specifică categoriile de nivel al treilea.

Modelul utilizatorului în interfață este o componentă fundamentală a unui sistem adaptiv. Scopul principal este de a oferi utilizatorului interfețe adaptabile, satisfăcând în același timp cerințele acestuia, realizate în funcție de contextul lor de utilizare. Interfața-prototip prezentată în teză poate oferi vizualizare și preluare de date împreună cu instrumente care sprijină interpretarea datelor în luarea deciziilor. În figura 3 este reprezentată arhitectura conceptuală a interfeței. Aceasta este realizată sub forma unei interfețe WEB și oferă un avantaj esențial prin oferirea posibilității integrării simple a dispozitivelor IoT pentru monitorizarea și verificarea accesului în încăpere.



**Fig. 3. Arhitectura conceptuală a interfeței**

Pentru cele două tipuri de utilizator, sunt accesibile informații personale (care ajută la clasificarea utilizatorilor în funcție de caracteristicile lor personale), roluri, care au ca scop identificarea utilizatorului – angajat/ administrator. Atunci când utilizatorii se conectează, vor fi direcționați către tabloul de bord în funcție de preferințele lor. Pentru a identifica utilizatorul și pentru a-l conecta la sesiunea acestuia este folosit un identificator al utilizatorului. Secțiunea cu informații personale își propune să clasifice utilizatorii după rolurile lor, obiectivele lor de

vizualizare sau chiar după aptitudinile și abilitățile lor. Secțiunea ce ține de rolul utilizatorului are ca scop clasificarea utilizatorilor în funcție de rolurile lor (aplicația fiind accesibilă managerilor și angajaților întreprinderii, cu drepturi de acces diferite). Astfel, fiecare lucrător își poate programa săptămâna viitoare de lucru, prin indicarea zilelor libere pe care le dorește și își poate vizualiza zilele de lucru pe care i le-a indicat angajatorul, în funcție de necesitate.

Unul din obiectivele principale ale conceptului interfeței este de a asigura conexiuni între aplicațiile IoT și modelul de programare pătratică integrat în interfață, cu scopul de a conferi sistemului unele elemente de inteligență. Astfel, designul interfeței prezentat în această teză, a fost determinat de doi indicatori necesari, care trebuie să fie luați în considerare: pe de o parte, stabilirea potrivirii dintre numărul necesar de angajați într-o anumită zi (cerere) și numărul de angajați disponibili în acea zi (ofertă). Un al doilea indicator este identificarea tendințelor care pot afecta numărul necesar de angajați într-o anumită zi din perioada ulterioară.

Întrucât obiectivul acestei cercetări a fost de a propune un model simplu de tablou de bord pentru monitorizarea fluxului resursei umane, am definit cerințele următoare: utilizatorul poate personaliza perioada de raportare în zona de afișare; aplicația poate produce un raport bazat pe solicitările utilizatorului; interfața ar trebui să poată afișa angajații disponibili pentru ziua curentă pentru realizarea unei sarcini anumite, în funcție de prezența/absența acestora în întreprindere; interfața ar trebui să poată afișa starea fiecărui parametru monitorizat pentru fiecare punct final; aplicația poate trimite alerte la o anumită adresă (administrator de sub-unitate a întreprinderii) pentru un anumit parametru (turbulențe), așa cum este definit de utilizator.

Interfața de planificare a zilelor de odihnă este implementată cu suportul tehnologiilor WEB ce o face accesibilă de pe orice dispozitiv (telefon/PC) conectat la internet. Acest fapt definește accesibilitatea și portabilitatea aplicației, aducând un esențial avantaj pentru managerii și angajații companiei, unde va fi utilizată. Aplicația poate fi ușor adaptabilă cerințelor companiei, deoarece interfața-prototip este realizată în JavaScript folosind ca cadru NextJS care permite realizarea nu doar interfeței propriu zise, dar și a funcțiilor de calcul – modulului de programare pătratică pentru realizarea calculului aferent planificării resursei umane, funcțiile de acces a datelor din baza de date. Avantajele utilizării acestui cadru prezintă următoarele: oferirea unui set bogat de componente pentru realizarea de frontend interfeței; o rutare simplă bazată pe structura (arborele) fișierelor proiectului; paginile web se generează pe server și se transmit în browser pentru redare (Serverside generation); folder API în care se pot păstra funcții pentru backend (ca de exemplu accesul la baze de date, calcularea unor date runtime).

Interfața este formată din 2 pagini dedicate managerului întreprinderii (cu funcția de administrator) și angajați. Pentru a accesa interfața, utilizatorul trebuie să se conecteze cu un nume

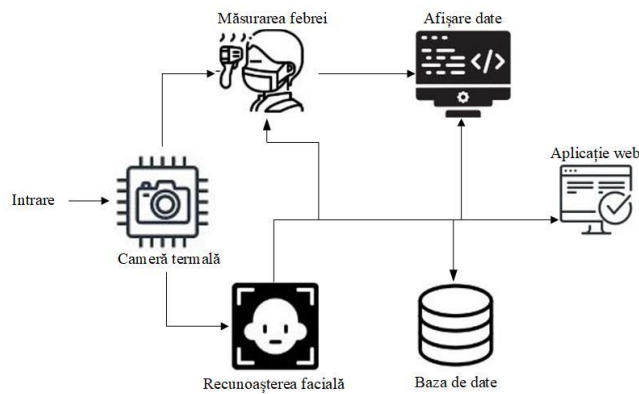
și parolă. Reieșind din datele presetate pentru acest utilizator, se determină rolul lui, și, ulterior, pe baza acestui rol, se încarcă interfața respectivă. În cazul în care utilizatorul, care se conectează, este managerul întreprinderii, acesta are acces la lista tuturor angajaților și are posibilitatea de a vizualiza sau de a modifica datele acestora. Totodată, managerul companiei poate planifica numărul de lucrători necesari pentru fiecare zi din următoarea săptămână. La rândul lor, angajații după etapa de conectare pot vizualiza și edita datele personale și seta numărul de zile libere pentru următoarea săptămână. În afară de posibilitatea de planificare interfața include paginile de vizualizarea a datelor în forma numerică și grafică (sub formă de rapoarte).

Optimizarea numărului de zile libere consecutive se realizează conform modelului de programare pătratică propus în capitolul II. Pentru aceasta fiecare angajat alege numărul de zile libere dorite pentru următoarea săptămână, iar managerul companiei introduce numărul de lucrători necesari în fiecare zi din săptămâna viitoare.

În capitolul IV, **Monitorizarea și validarea fluxului resursei umane în întreprindere**, este descris un sistem de monitorizare al fluxului resursei umane în întreprindere, care a fost conceput și elaborat în cadrul unui proiect de cercetare cu participarea nemijlocită în calitate de coordonator a autoarei prezentei teze de doctorat. Soluția tehnică propusă constă în crearea unui sistem, care conține o cameră video cu un senzor termic conectat la o platformă web, ceea ce permite gestionarea și restricționarea accesului persoanelor într-o clădire (care au sau au avut febră). Sunt prezentate și discutate detaliile tehnice, precum: proiectarea sistemului, interfața, planificarea proiectului și aspecte specifice ale soluției propuse.

Sistemul elaborat este capabil să monitorizeze fluxul resursei umane ale unei companii, oferind informații utile în timp real referitor la eventuale perturbații asupra sistemului de producție. Astfel, se asigură o viziune holistică asupra capacității reale de operare a unei companii și se permite, de asemenea, prognozarea eficientă a cererii (în cazul nostru, a administrației companiei, în dependență de numărul necesar al angajaților în ziua respectivă pentru îndeplinirea unei anumite sarcini). Controlul fluxului resursei umane permite luarea în considerare a perturbațiilor posibile (ca, de exemplu, în cazul pandemiei COVID-19) și să se obțină o (re)planificare optimă a producției. De asemenea, permite operatorilor săi (administratorului și angajaților) să introducă date în sistem și să vadă ce variabile vor produce un efect la ieșire. Scopul principal al sistemului realizat este măsurarea temperaturii corpului, recunoașterea persoanei care a avut febră în ultimele 14 zile, înregistrarea în baza de date atât a febrei, cât și a persoanei și validarea accesului persoanei în clădire, dacă are o temperatură sub 37 de grade Celsius.

După cum este prezentat în figura 4, la intrarea în clădire trebuie instalat un sistem compus din cameră termală, televizor și un calculator.



**Fig. 4. Structura funcțională a aplicației**

Camera termală îndeplinește funcția de măsurare a temperaturii persoanelor care intră în clădire. Camera trimite date care sunt adăugate automat în baza de date și șterse după o anumită perioadă de timp, în dependență de caz. În timpul procesului de măsurare a temperaturii, persoana, care tradițional măsoară manual temperatura, este înlocuită de camera termală, ceea ce facilitează procesarea și salvarea datelor. Ulterior, persoanei i se oferă accesul de a intra în clădire. După acordarea permisiunii, se poate vedea dacă persoana dată se află sau nu în clădire. Sistemul va afișa o listă cu persoanele care nu au acces la clădire. După partea cu identificarea persoanei, măsurarea temperaturii și atribuirea acesteia unui identificator unic universal personal, în cazul în care temperatura este mai mare decât cea autorizată, persoana este înregistrată în baza de date pentru o perioadă de carantină, în care nu poate vizita compania în mod repetat.

Cazul este mai întâi înregistrat în baza de date și apoi se decide dacă persoana are sau nu acces la el în funcție de restul cazurilor. Sistemul automat șterge cazurile mai vechi, în funcție de data la care au fost identificate. Transmiterea datelor prelucrate (temperatura și identificatorul persoanei) are loc prin intermediul ecranului de afișare, printr-o interfață către administratori. Un administrator care face parte din companie are dreptul de a modifica anumite configurații. Astfel, administratorul poate modifica limita de temperatură (după caz) și restricția de intrare în clădire (perioadă de timp). De asemenea, administratorului i se dă posibilitatea să modifice și setările unei companii. Pentru a redacta detaliile specifice ale unei companii, administratorul trebuie să completeze un formular. Un rol important în acest sistem îl joacă partea statistică. Pentru a menține situația sub control este necesar să se prezinte zilnic și săptămânal grafice care să arate numărul de cazuri înregistrate de persoane care au fost depistate cu febră față de numărul total de persoane care au intrat în clădire. Administratorul poate astfel să compare și să ia o decizie pe baza rezultatului statisticilor. Numărul total de persoane al căror acces a fost restricționat deoarece au fost depistate cu febră poate fi indicat separat.



În **Concluzii generale și recomandări** sunt expuse cele mai importante realizări și rezultate ale tezei. Concluziile generale asupra rezultatelor obținute sunt după cum urmează:

1. A fost dezvoltată o nouă metodă pentru rezolvarea problemelor de optimizare pătratică binară neconstrânsă, care permite transformarea acestora în probleme de optimizare continuă cu doar două constrângeri convexe, în rezultat fiind posibilă reducerea dimensiunii problemei.
2. A fost dezvoltată o metodă de rezolvare a problemei de programare pătratică cu constrângeri inegalități liniare, care, în urma unor transformări judicioase a condițiilor de optimalitate Karush-Kuhn-Tucker, a fost redusă la rezolvarea unui sistem de ecuații, care, la rândul său, poate fi rezolvat cu ajutorul metodei celor mai mici pătrate.
3. A fost dezvoltată o metodă de rezolvare a problemei de programare pătratică binară cu matrice circulantă, proprietățile căreia permit diagonalizarea matricei din funcția scop și reducerea problemei inițiale la o problemă de programare separabilă continuă.
4. A fost propusă o metodă și elaborat un algoritm de optimizare a fluxului resursei umane, aplicate în rezolvarea problemei de planificare a zilelor libere consecutive, care au la bază transformări originale ale matricei circulante, ceea ce asigură că matricea din funcția scop rămâne bine condiționată, independent de numărul variabilelor de decizie.
5. A fost propusă o abordare conceptuală pentru construirea unei interfețe web, arhitectura căreia înglobează metoda de optimizare a fluxului resurselor umane și permite conectarea unor posibile sisteme specializate, cum ar fi, de exemplu, un sistem de recunoaștere facială și scanare termică, conferind interfeței elemente de inteligență.
6. A fost elaborat un sistem prototip de monitorizare și validare a resursei umane în cadrul unei întreprinderi, care permite gestionarea personalului în sensul accesului la locul de muncă.
7. A fost elaborată o aplicație web de management al resursei umane, care permite realizarea conceptului de interfață web propus.

## **RECOMANDĂRI**

Ca direcții de cercetare de viitor:

1. Ar fi foarte util de continuat cercetările viitoare pentru rezolvarea problemelor de programare pătratică și cu alte funcții scop și care ar putea fi relaxate la problemele de optimizare semidefinită sau conice de ordinul doi.
2. De perspectivă ar fi extinderea algoritmilor cercetați în evaluarea efectelor pe termen lung ale luării în considerare a rezultatelor obținute în perioadele anterioare.
3. Dezvoltarea în continuare a aplicației web de management al resursei umane cu scopul de a fi implementată la nivelul unor organizații de producere, cercetare și inovare.

## BIBLIOGRAFIE

1. GAINDRIC, C. *Luarea deciziilor. Metode și tehnologii*. Chișinău. Ed. Știința, 1998, 164p.
2. GAREY, M., JOHNSON, D. *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. W.H. Freeman & Company, 1979, 382 p.
3. DAVIS, PH. J. *Circulant matrices*. Wiley, New York, 1979, xv + 250 pp., 2nd ed. Providence (RI): AMS Chelsea Publishing, American Mathematical Society, Providence, Rhode Island 2012.
4. PILLAI, DHASHNA, T., CHATHELY, BRIJI, J. *A Study on Circulant Matrices and its Application in Solving Polynomial Equations and Data Smoothing*, In *International Journal of Mathematics Trends and Technology*, Volume 66, Issue 6, 2020, 275-283.
5. OLIVERIA, W. *The ABC of DC Programming*. In *Theory and Applications and Variational Analysis*, Volume 28, Issue 4, 2020, pp. 679-706.
6. GOULD, N., TOINT, PH. *A Quadratic Programming Page*. [Online]. [Citat 20.08.2022]. Disponibil: <https://www.numerical.rl.ac.uk/people/nimg/qp/qp.html>.
7. LOQMAN, CH., ETTAOUIL, M., HAMI, Y., HADDOUCH, KH. *Convex Quadratic Reformulations for solving days-off scheduling problem*. In *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. Vol. 49, No.1, 2013, pp. 23-31. ISSN: 1992-8645. [online]. [Citat 20.08.2022]. Disponibil: <http://www.jatit.org/volumes/Vol49No1/4Vol49No1.pdf>
8. MORARU, V., ISTRATI, D., ZAPOROJAN, S. *Solving the days-off scheduling problem using quadratic programming with circulant matrix*. In *Journal of Engineering Science*. Vol. XXIX, no. 4 (2022), pp. 97 – 108. [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(4\).05](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(4).05). UDC 519.853.32:004.42
9. KRUPITZER C., MÜLLER S., LESCH V., ZÜFLE M., EDINGER J., LEMKEN A. ET AL. *A Survey on Human Machine Interaction in Industry 4.0*. © 2020 Association for Computing Machinery. Vol. 1, No. 1. 03 februarie 2020 [online]. [accesat 05.02.2023]. Disponibil: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.01025>

## Lista lucrărilor publicate la tema tezei

Articole în reviste științifice (în reviste din Registrul Național al revistelor de profil):

### Categoria B+

1. MORARU, V., ISTRATI, D., ZAPOROJAN, S. Solving the days-off scheduling problem using quadratic programming with circulant matrix. In *Journal of Engineering Science*. Vol. XXIX, no. 4 (2022), pp. 97 – 108. [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(4\).05](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(4).05).  
UDC 519.853.32:004.42
2. ISTRATI, D. Temperature Capture And Image Processing System: A Case Study. In *Journal of Engineering Science*. Vol. XXIX, no. 2 (2022), pp. 108 – 115. [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(2\).10](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(2).10).  
UDC[621.397.424:772.96+004.93]:616.98:578.834.1

### Categoria B

1. ISTRATI, D., CALMÎCOV, I., MORARU, V., ZAPOROJAN, S. Interfaces dans l'organisation des systèmes de production. In *Intellectus*. No. 2 (2023), pp. 145-154. <https://agepi.gov.md/ro/intellectus/intellectus-2-2023>

Articole în culegeri științifice (în lucrările conferințelor științifice internaționale): (Republica Moldova)

1. ISTRATI, D., MORARU, V., ZAPOROJAN, S. A Method for Binary Quadratic Programming with Circulant Matrix. *XIIth Informational Conference on Electronics, Communications and Computing*. 20-21 octombrie 2022, Chișinău, TUM. Pp.154-157. <https://doi.org/10.52326/ic-ecco.2022/CS.01>
2. ISTRATI, D. A Brief Overview of Intelligent Interfaces in Production Systems. *XIIth Informational Conference on Electronics, Communications and Computing*. 20-21 october 2022, Chișinău, TUM. Pp. 158-161. <https://doi.org/10.52326/ic-ecco.2022/CS.02>
3. ISTRATI, D., MORARU, V., ZAPOROJAN, S. A Second Order-Cone Programming Relaxation for Days-Off Scheduling Problem. 21-22 october 2021, Chișinău, TUM. *XIth Informational Conference on Electronics, Communications and Computing*. Pp. 182-186. ISBN 978-9975-45-776-7.
4. ISTRATI, D. MORARU, V., ZAPOROJAN, S. ”Metoda celor mai mici pătrate pentru problema de programare pătratică”. În *Proceedings of the 6-th International Conference "Telecommunications, Electronics and Informatics", ICTEI-2018*, May 24-27, 2018, Chisinau, Moldova, pp. 283-285, ISBN 978-9975-45-540-4.

5. MORARU, V., ZAPOROJAN, S., **ISTRATI, D.** „A modified SQP algorithm for mathematical programming” În: Proceedings of the 9th International Conference of Microelectronics and Computer Science, October 19-21, 2017, Chişinău, Moldova, pp. 531-533. ISBN 978-9975-4264-8-0.
6. MORARU, V., ZAPOROJAN, S., **ISTRATI, D.** Continuous Reformulation for Zero–One unconstrained quadratic optimization. In *Conferința Internațională Modelare Matematică, Optimizare Și Tehnologii Informaționale (MMOTI 2016)*, 22-25 martie, 2016. Ediția a V-a, Volumul I, Evrica, Chişinău, pp. 253-262. ISBN 978- 9975-3099-8-1.

**Articole în culegeri științifice** în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare națională

1. **ISTRATI, D.** ”Influența factorilor fundamentali în sistemele de producție”. În *Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor*, 30 martie 2022, Chişinău, Republica Moldova. Volumul I. Pp. 442-445. ISBN 978-9975-45-829-0 (PDF). <https://utm.md/wp-content/uploads/2022/07/Works-Students-Conference-TUM-2022-vol-I.pdf>
2. IGNATIUC, A., BUFTEA, M., **ISTRATI, D.** ”Module de traitement et d'affichage des données en temps réel pour le système intellst”. În *Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor*, 23-25 martie 2021, Chişinău, Republica Moldova. Pp. 386-389. ISBN 978-9975-45-700-2. <https://utm.md/wp-content/uploads/2021/06/Culegere-Vol-I-Conf-tinerilor-UTM-2021.pdf>
3. ASTAFI, V., **ISTRATI, D.** ”L'interaction L'homme-Machine”. În *Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor*, 1-3 aprilie 2020, Chişinău, Republica Moldova. Volumul I. Pag. 320-323. ISBN 978-9975-45-633-3. <https://utm.md/wp-content/uploads/2020/05/UTM-CTS-SMD-2020-Volumul-I.pdf>

## ADNOTARE

**la teza ”Metode de optimizare și interfețe în organizarea sistemelor de producție”  
prezentată de către Istrati Daniela pentru conferirea titlului de doctor în informatică,  
Chișinău, 2023**

**Structura tezei.** Teza de doctor cuprinde introducerea, patru capitole, concluzii, bibliografia cu 169 titluri, 4 anexe, 103 pagini text de bază, inclusiv 28 figuri. Rezultatele obținute sunt publicate în 12 lucrări, inclusiv unic autor la trei lucrări și trei ca prim autor.

**Cuvinte-cheie:** programare pătratică, optimizare binară pătratică, matrice circulantă, interfață, recunoaștere facială, resursă umană, planificare zile libere consecutive.

**Scopul lucrării** constă în elaborarea unor noi modele și metode de planificare-optimizare a resurselor umane necesare organizării și funcționării sistemelor de producție moderne.

**Obiectivele cercetării** includ analiza și cercetarea abordărilor moderne de construire a interfețelor om-mașină, a modelelor și metodelor de organizare a sistemelor de producție și planificare a resurselor, elaborarea și dezvoltarea unor metode de optimizare și de planificare a resurselor umane.

**Noutatea și originalitatea științifică** constă în elaborarea de noi metode de optimizare și planificare a fluxului resursei umane în sistemele de producție, iar soluția propusă este rezolvarea problemelor de optimizare pătratică binară neconvexă cu matrice circulante, structura căreia permite diagonalizarea ei.

**Problema științifică soluționată** constă în cercetarea și propunerea unei metode originale de rezolvare a problemei de planificare a zilelor libere consecutive, care este formulată ca o problemă binară de programare pătratică neconvexă. Tratarea se bazează pe proprietățile matricei simetrice circulante care formează funcția obiectiv. Problema de programare pătratică se transformă într-o problemă echivalentă de programare pătratică separabilă.

**Semnificația teoretică** o reprezintă elaborarea și dezvoltarea unei metode originale de rezolvare a problemei de planificare a resursei umane, care este formulată ca o problemă binară de programare pătratică. Caracteristica transformării problemei într-o problemă de optimizare separabilă este că problema rămâne bine condiționată independent de numărul variabilelor de decizie. Astfel de abordări cu matrice circulante nu sunt studiate pe larg în literatură.

**Valoarea aplicativă** - modelul și metoda de planificare-optimizare a resurselor umane reprezintă o bază teoretică și practică în organizarea sistemelor de producție moderne.

**Implementarea rezultatelor științifice** constă în utilizarea modelelor și sistemelor elaborate în spațiile companiei ”Pentalog Chișinău” și a FCIM, UTM și în procesul de studiu.

## ANNOTATION

for the thesis "Optimization methods and interfaces in production systems organization ",  
presented by Istrati Daniela for conferring a Ph.D. title in computer science,  
Chişinău, 2023

**Thesis structure.** The Ph.D. thesis comprises the introduction, four chapters, conclusions and bibliography (169 titles), 4 appendixes, 103 pages of main text, 28 figures. The obtained results are published in 12 scientific papers, including sole author on three papers and three as first author.

**Keywords:** quadratic programming, binary quadratic optimization, circulant matrix, interface, facial recognition, human resource, consecutive days off planning.

**The purpose of research** is to develop new models and methods of planning and optimization of necessary human resources for the modern production systems organization and operation.

**The research objectives** include the analysis and research of modern approaches to building man-machine interfaces, models and methods of production systems organization and resource planning, the elaboration and development of optimization and human resource planning methods.

**The scientific novelty and originality** consist in the development of new methods of optimization and planning of the human resource flow in production systems. The proposed solution is the solution of non-convex binary quadratic optimization problems with circulant matrix, the structure of which allows its diagonalization.

**The solved scientific problem** is to research and propose an original method for solving the consecutive days off scheduling problem, which is formulated as a nonconvex binary quadratic programming problem. The problem approach is based on the properties of the circulant symmetric matrix that forms the objective function. The quadratic programming problem turns into an equivalent separable quadratic programming problem.

**The theoretical significance** is the elaboration and development of an original method for solving the human resource planning problem, which is formulated as a binary quadratic programming problem. The characteristic of transforming the problem into a separable optimization problem is that the problem remains well-conditioned independent of the number of decision variables. Such circulant matrix approaches are not widely studied in the literature.

**The applied value** - the model and method of human resources planning and optimization represent a theoretical and practical basis in the organization of modern production systems.

**The implementation of the scientific results** consists in the use of the models and systems developed in "Pentalog Chişinău" company and FCIM, UTM spaces and in the study process.

**ANNOTATION**  
**pour la thèse « Méthodes d'optimisation et interfaces dans l'organisation des systèmes de production », présentée par Istrati Daniela pour obtenir le titre de docteur en informatique, Chisinau, 2023**

**Structure de la thèse.** La thèse comprend l'introduction, 4 chapitres, les conclusions et la bibliographie (169 titres), 4 annexes, 103 pages de texte principal, 28 figures. Les résultats sont publiés dans 12 travaux, dont auteur unique de 3 articles et 3 comme premier auteur.

**Mots-clés :** programmation quadratique, optimisation quadratique binaire, matrice circulante, interface, reconnaissance faciale, ressource humaine, planifier jours repos consécutifs.

**Le but de la recherche** est de développer de nouveaux modèles et méthodes de planification et d'optimisation des ressources humaines requis à l'ordre des systèmes de production.

**Les objectifs de la recherche** englobent l'analyse et la recherche d'approches modernes de construction d'interfaces homme-machine, de modèles et de méthodes d'organisation des systèmes de production et de planification des ressources, l'élaboration et le développement de méthodes d'optimisation et de planification des ressources humaines.

**La nouveauté et l'originalité scientifiques** consistent dans le développement de nouvelles méthodes d'optimisation et de planification du flux de ressources humaines dans les systèmes de production. La solution proposée est la solution de problèmes d'optimisation quadratique binaire non convexe à matrice circulante dont la structure permet sa diagonalisation.

**Le problème scientifique résolu** est de rechercher et de proposer une méthode originale à résoudre le problème de planification des jours de repos consécutifs, qui est formulé comme un problème de programmation quadratique binaire non convexe. Le traitement est basé sur les propriétés de la matrice symétrique circulante qui forme la fonction objective. Le problème de programmation quadratique se transforme en un problème de programmation quadratique séparable équivalent.

**La signification théorique** est l'élaboration et le développement d'une méthode originale de résolution du problème de planification des ressources humaines, qui est formulé comme un problème de programmation quadratique binaire. La particularité de le transformer en un problème d'optimisation séparable est qu'il reste bien conditionné indépendamment du nombre de variables de décision. De telles approches de matrices circulantes sont peu étudiées dans la littérature.

**Valeur applicative** - le modèle et la méthode de planification-optimisation des ressources humaines est une base théorique et pratique dans l'ordre des systèmes de production modernes.

**La mise en œuvre des résultats scientifiques** consiste en l'utilisation des modèles et systèmes développés à « Pentalog » et à FCIM, UTM et dans le processus d'étude.

**ISTRATI DANIELA**

**METODE DE OPTIMIZARE ȘI INTERFEȚE ÎN  
ORGANIZAREA SISTEMELOR DE PRODUCȚIE**

**122.03 “MODELARE, METODE MATEMATICE, PRODUSE PROGRAM”**

**REZUMAT ȘTIINȚIFIC AL TEZEI DE DOCTOR ÎN INFORMATICĂ**

---

Aprobat spre tipar 29.12.2023	Formatul hârtiei 60x84 1/16
Hârtie ofset. Tipar RISO	Tirajul 50 ex.
Coli de tipar 2,0	Comanda nr. 05

---

MD 2004, Chișinău, bd. Stefan cel Mare și Sfânt, 168, UTM  
MD 2045, Chișinău, str. Studenților, 9/9, Editura “Tehnica-UTM”

© UTM, 2023