



Digitally signed by
Technical Scientific
Library, TUM
Reason: I attest to the
accuracy and integrity of
this document

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

**Facultatea Calculatoare, Informatică
și Microelectronică
Departamentul Ingineria Software și Automatică**

Ion Bolun

**SISTEME
DE EXECUȚIE A LUCRĂRILOR:
modele și planificări**



2026

CZU 004.4:519.6

B 66

Monografia a fost discutată și aprobată pentru editare la ședința Senatului UTM, proces-verbal nr. 12 din 31.03.2026.

În practica de execuție a unor lucrări există situații multiple. Este importantă eficientizarea unor asemenea activități. Pe cât de multe sunt situațiile, pe atât de diverse sunt aspectele de modelare, analiză și sinteză a sistemelor de execuție a lucrărilor. Unele asemenea aspecte sunt examinate în această monografie din două volume.

Primul volum este axat, preponderent, pe aspectele de inițiere în domeniu, modelarea acestor sisteme și cercetarea mai detaliată a problemei $M \times n$ Bellman-Johnson. În al doilea volum sunt abordate aspecte de analiză și sinteză ale unor sisteme cu așteptare și de aplicare a rezultatelor teoriei așteptării și de planificare a execuției lucrărilor la analiza performanțelor și sinteza componentelor de bază și a rețelelor de calculatoare în ansamblu.

Lucrarea poate fi utilă cercetătorilor și practicienilor interesați de modelarea, analiza, sinteza și valorificarea resurselor sistemelor de execuție a lucrărilor, dar și studenților cu tangență la domeniu, inclusiv rețelele de calculatoare.

Recezenți: prof. univ., dr.hab. Ilie Costăș
prof. univ., dr.hab. Emilian Guțuleac

DESCRIEREA CIP A CAMEREI NAȚIONALE A CĂRȚII DIN RM

Bolun, Ion.

Sisteme de execuție a lucrărilor: modele și planificări / Ion Bolun; Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Departamentul Ingineria Software și Automatică.

– Chișinău: Tehnica-UTM, 2026. – 700 p.: fig., tab.

Ref. bibliogr.: p. 653-672. – În red. aut. – 50 ex. Text: nemediat.

Toate drepturile rezervate autorului

© Ion Bolun, © UTM

ISBN 978-9975-64-662-8

© Marin Bolun: coperta All rights reserved

Soției mele, Dorina

Viața este frumoasă. Ca să o savurăm din plin, trebuie s-o înțelegem. Ca s-o înțelegem, trebuie să cunoaștem. Ca să cunoaștem, trebuie să învățăm, iar prin muncă să facem viața și mai frumoasă.

Prefață

Orice activitate umană implică luarea de decizii. Eficiența activității depinde de calitatea deciziilor luate. În situații netriviiale, luarea unor decizii raționale necesită cunoștințe specifice, experiență, iar deseori chiar cercetări speciale cu aplicarea metodelor și rezultatelor Cercetărilor operaționale. Menirea Cercetărilor operaționale constă în dezvoltarea și aplicarea metodelor matematice și, eventual, a mijloacelor informatice pentru îmbunătățirea deciziilor în diverse situații-problemă.

Pentru cercetări, activitatea în cauză se reprezintă ca sistem de execuție a unor lucrări în condiții concrete. Ulterior, se formulează problema de optimizare aferentă. Aceasta include criteriul de optimizare și una sau mai multe restricții. Criteriul de optimizare definește scopul de bază urmărit, de aceea se mai numește și funcție scop, iar restricțiile caracterizează constrângerile aferente situației-problemă. Problema de optimizare constă în determinarea minimului sau maximului funcției scop în condițiile respectării restricțiilor.

În calitate de funcție scop poate fi, de exemplu, maximizarea profitului obținut de la implementarea unui proiect, iar ca restricții - resursele financiare disponibile, durata maximă de implementare a proiectului ș.a. Un alt exemplu: minimizarea duratei implementării unui proiect în condițiile resurselor financiare date.

Cercetările operaționale pot fi aplicate la orice situație-problemă a activității umane. Din multitudinea de domenii de aplicare a acestora, în lucrare se examinează două. Acestea cuprind activități cu execuția mai multor lucrări și anume activități oportune de reprezentat prin sisteme cu planificarea lucrărilor sau sisteme cu așteptare. În lucrare termenii „planificarea lucrărilor”, „programarea lucrărilor” și „alcătuirea orarelor de execuție a lucrărilor” sunt folosiți, în mare parte, ca sinonime, deși cu

aplicare în situații, de obicei, diferite. De exemplu: planificarea lucrărilor de construire a unei clădiri, rezultată cu planul lucrărilor respective; programarea lucrărilor unei conferințe, rezultată cu programul desfășurării lucrărilor conferinței; alcătuirea orarului transportului auto la o stație auto interurbană, rezultată cu orarul scontat.

Uzual, o tematică se desfășoară de la mai simplu spre mai complicat, cu generalizările respective, îndeosebi atunci când se descriu argumentările, dovezile de rigoare. În această lucrare, preponderent, - invers, mai întâi este definită problema generală urmată de descrierea rezultatelor de bază, iar apoi sunt examinate și probleme particulare, de cele mai multe ori fără dovada rezultatelor. Aceasta permite folosirea rezultatelor problemelor mai generale pentru cazuri particulare ale lor cu referirile respective, fără repetări. Totodată, sunt descrise și mai multe metode de cercetare folosite în domeniu care, la necesitate, ar putea fi aplicate pentru argumentările/dovezile de rigoare.

Lucrarea este structurată în două volume. Primul volum, Modele și planificări, cuprinde aspecte introductive, inclusiv conturarea domeniului de cercetare, modelarea analitică a unor sisteme cu așteptare și unele soluții privind problema $M \times n$ Bellman-Johnson de execuție a lucrărilor. Acesta este constituit din prefață, Capitolele 1-13, lista surselor bibliografice, o anexă, lista abrevierilor și lista unor notații. Cel de al doilea volum, Analiză și sinteză, cuprinde aspecte de analiză și sinteză a unor sisteme cu așteptare și sisteme de calcul, inclusiv rețele de calculatoare, examinate în Capitolele 14-17.

Un *model analitic* constă din relațiile matematice dintre caracteristicile de bază ale obiectului, procesului sau fenomenului (în continuare obiectul) examinat. În baza modelului poate fi efectuată *analiza caracteristicilor* (determinarea valorilor acestora) și, respectiv, a comportamentului obiectului în diferite situații.

Planificarea execuției unor lucrări presupune determinarea ordinii și perioadei/perioadelor în timp (posibil pe etape, operațiuni) de execuție a acestora în funcție de scopul urmărit. În sfârșit, *sinteza unui obiect* ține de determinarea valorilor necesare ale caracteristicilor acestuia care ar asigura atingerea scopului urmărit în condițiile date.

În *primul capitol* sunt descrise noțiunile și conceptele de bază privind sistemele de execuție a lucrărilor, inclusiv este dată o clasificare restrânsă a acestora.

Al *doilea capitol* este unul introductiv în sistemele cu planificarea (programări, orare) lucrărilor. Acesta include esența, definiții majore și forme de reprezentare, un scurt istoric, o clasificare, notația, unele aspecte fundamentale și algoritmi de soluționare a unor probleme de optimizare simple. De asemenea, sunt caracterizate, în mod general, sistemele de lucrări definite stocastic, cele de lucrări definite vag și cele de planificare a proiectelor.

Orientat spre inițierea în sistemele cu așteptare este *Capitolul 3*, care cuprinde: esența, clasificarea, notația și unele aspecte fundamentale privind asemenea sisteme.

Capitolele 4-9 includ rezultate ce țin de ordonarea (secvențierea) lucrărilor în sistemele cu planificarea lucrărilor. Astfel, în *Capitolul 4* este descrisă problema și diverși algoritmi de ordonare a lucrărilor după un parametru denumiți și algoritmi sau metode de sortare, cum ar fi: clasificarea și evaluarea algoritmilor de sortare, sortarea Directă, sortarea prin Selecție, metoda Bulelor, sortarea prin Inserție și dezvoltări ale acesteia, sortarea Shell, sortarea Rapidă și versiuni ale acesteia, sortarea prin Arbore binar complet, sortarea prin Fuziune, sortarea Introspectivă și sortarea Timsort. Este dată, de asemenea, analiza comparativă și sunt sistematizate informații succinte privind folosirea unor algoritmi de sortare.

În *Capitolul 5* sunt descrise rezultatele unor cercetări ce țin de problema $M \times n$ Bellman-Johnson de execuție a lucrărilor atelierelor-flux. Cazuri particulare ale problemei $M \times n$ sunt abordate în *Capitolele 6* (Problema $4 \times n$), *7* (Problema $3 \times n$), *8* (Problema $2 \times n$) și *9* (Problema $1 \times n$).

Diverse abordări, folosite la cercetarea sistemelor cu așteptare, sunt descrise în *Capitolul 10*, inclusiv: metode de modelare, aplicarea teoremei Little, aplicarea formulei mediei Pollaczek-Khincine, aplicarea ecuațiilor Chapman-Kolmogorov, folosirea rezultatelor pentru stațiile markoviene cu rate dependente de stare, esența și folosirea transformatelor ș.a.

Mai multe rezultate pentru analiza sistemelor cu așteptare sunt examinate în *Capitolele 11* (stații non-markoviene), *12* (stații markoviene) și *13* (rețele cu așteptare - aspecte fundamentale).

Capitolul 14 cuprinde aspecte selective de sinteză a unor sisteme cu așteptare cum ar fi: fluxurile decisive în sistemele cu așteptare, sinteza stațiilor monoservor cu fluxuri de solicitări eterogene, sinteza rețelelor cu așteptare hibride (închise-deschise) din stații în inel și a rețelelor cu așteptare hibride din stații în tandem.

Dacă în *Capitolele 3* și *10-14* se examinează diverse sisteme cu așteptare, atunci în *Capitolele 15-17* sunt abordate aspecte de aplicare a rezultatelor teoriei așteptării în cercetarea sistemelor de calcul, inclusiv a rețelelor de calculatoare. Astfel, în *Capitolul 15* sunt descrise mai multe cazuri de analiză și sinteză a unor sisteme de calcul, inclusiv calculatoare cu flux eterogen de solicitări, calculatoare în tandem cu flux eterogen de solicitări, sisteme de calcul cu flux omogen de solicitări și sisteme monoprogram cu flux eterogen de solicitări.

Capitolul 16 cuprinde aspecte de analiză și sinteză a rețelelor locale de calculatoare (LAN - *Local Area Network*, eng.), inclusiv: configurarea seturilor de servere ale LAN, distribuirea fluxurilor de solicitări între servere, distribuirea memoriei disc pentru utilizatori la servere și unele efecte ale segmentării rețelelor locale de tehnologie Ethernet.

Aspecte de analiză și sinteză a rețelelor de calculatoare de arie largă, preponderent regionale, sunt abordate în *Capitolul 17*, inclusiv: amplasarea stațiilor-servere; capacitatea necesară a canalelor, rutelor și stațiilor-servere; gestionarea folosirii resurselor și, în sfârșit, macrosinteza rețelelor informatice regionale în ansamblu.

CUPRINS

| | |
|---|----|
| Prefață | 4 |
| 1. SISTEME DE LUCRĂRI - CONCEPTE DE BAZĂ | 8 |
| 1.1. Sistem de execuție a lucrărilor | 8 |
| 1.2. Lucrare, operațiune, servor | 10 |
| 1.3. Sursă de solicitare a lucrărilor | 11 |
| 1.4. Stație de execuție a lucrărilor | 12 |
| 1.5. Caracteristici generale | 13 |
| 1.5.1. Sisteme și componente constitutive | 13 |
| 1.5.2. Mărimi aleatoare și caracterizarea lor | 15 |
| 1.6. Clasificarea sistemelor de execuție a lucrărilor | 24 |
| 2. SISTEME CU PLANIFICAREA LUCRĂRILOR | 28 |
| 2.1. Esența sistemelor cu planificarea lucrărilor | 28 |
| 2.1.1. Definiții generale | 28 |
| 2.1.2. Caracterizarea lucrărilor | 29 |
| 2.1.3. Mediul resurselor | 32 |
| 2.1.4. Funcții obiectiv - criterii de optimizare | 38 |
| 2.2. Scurt istoric | 42 |
| 2.3. Clasificarea și notația problemelor cu planificarea lucrărilor | 44 |
| 2.4. Aspecte fundamentale | 46 |
| 2.5. Forme de reprezentare a planificărilor | 49 |
| 2.6. Reguli simple de planificare a lucrărilor | 52 |
| 2.6.1. Ateliere monoservor | 52 |
| 2.6.2. Ateliere cu servoare paralele | 55 |
| 2.6.3. Ateliere rutare-fixă | 58 |
| 2.7. Algoritmi simpli de planificare a lucrărilor | 58 |
| 2.7.1. Ateliere monoservor | 58 |
| 2.7.2. Ateliere cu două servoare | 60 |
| 2.7.3. Ateliere cu trei servoare | 62 |
| 2.7.4. Ateliere rutare-fixă cu m servoare | 66 |
| 2.8. Sisteme de lucrări definite stocastic | 68 |
| 2.9. Sisteme de lucrări definite vag | 70 |
| 2.10. Planificarea proiectelor | 71 |
| 2.10.1. Esența problemei de planificare a proiectelor | 71 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 2.10.2. | Reprezentarea grafică a condițiilor problemei | 72 |
| 2.10.3. | Metoda CPM | 74 |
| 2.10.4. | Metoda PERT | 79 |
| 3. | INIȚIERE ÎN SISTEMLILE CU AȘTEPTARE | 83 |
| 3.1. | Scurt istoric | 83 |
| 3.2. | Esența sistemelor cu așteptare | 84 |
| 3.2.1. | Definiții de bază | 84 |
| 3.2.2. | Sursa și fluxul de solicitări | 90 |
| 3.2.3. | Firele de așteptare și disciplinele de servire | 97 |
| 3.2.4. | Servoare, stații și rețele cu așteptare | 101 |
| 3.2.5. | Caracteristicile execuției lucrărilor | 102 |
| 3.3. | Clasificarea și notația sistemelor cu așteptare | 104 |
| 3.4. | Aspecte fundamentale privind stațiile cu așteptare | 110 |
| 3.4.1. | Teorema Little | 110 |
| 3.4.2. | Proprietăți ale repartiției exponențiale | 110 |
| 3.4.3. | Proprietăți ale fluxurilor Poisson | 112 |
| 3.4.4. | Proprietatea, procese și lanțuri Markov | 115 |
| 3.4.5. | Procese naștere-și-moarte | 124 |
| 3.4.6. | Formula Pollaczek-Khinchine | 130 |
| 3.4.7. | Legea conservării în sisteme cu așteptare | 130 |
| 3.4.8. | Concentrarea resurselor în sistemele cu așteptare | 133 |
| 4. | ORDONAREA LUCRĂRILOR DUPĂ UN PARAMETRU | 137 |
| 4.1. | Problema sortării și algoritmi de soluționare | 137 |
| 4.1.1. | Problema sortării | 137 |
| 4.1.2. | Algoritmi de sortare | 138 |
| 4.1.3. | Clasificarea algoritmilor de sortare | 139 |
| 4.1.4. | Evaluarea algoritmilor de sortare | 141 |
| 4.2. | Inserarea unei lucrări într-o listă ordonată - $A_{4.1}$ și $A_{4.2}$ | 142 |
| 4.3. | Sortarea Directă - $A_{4.3}$ | 148 |
| 4.4. | Sortarea prin Selecție - $A_{4.4}$ | 149 |
| 4.5. | Metoda Bulelor - $A_{4.5}$ | 151 |
| 4.6. | Sortarea prin Inserție - $A_{4.6}$, $A_{4.7}$ | 152 |
| 4.7. | Dezvoltări ale sortării prin Inserție | 158 |
| 4.7.1. | Sortarea prin Inserție rezonabilă - $A_{4.8}$ | 159 |

| | |
|--|-----|
| 4.7.2. Sortarea prin Inserție la căutare dihotomică - $A_{4,9}$ | 161 |
| 4.7.3. Sortarea prin Inserție avansată - $A_{4,10}$ | 166 |
| 4.7.4. O dezvoltare a algoritmilor adaptivi..... | 170 |
| 4.8. Sortarea Shell - $A_{4,11}$ | 170 |
| 4.9. Sortarea Rapidă..... | 172 |
| 4.9.1. Sortarea Rapidă de bază - $A_{4,12}$ | 173 |
| 4.9.2. Laboriozitatea: toate lucrările sunt neechivalente..... | 174 |
| 4.9.3. Laboriozitatea: toate lucrările au aceeași cheie..... | 182 |
| 4.9.4. Performanța sortării Rapide de bază..... | 182 |
| 4.9.5. Variante ale sortării Rapide - $A_{4,13}$, $A_{4,14}$, $A_{4,15}$ | 183 |
| 4.9.6. Determinarea elementului reper..... | 184 |
| 4.9.7. Compararea sortărilor Rapide mediana-a-3 și Rapide media-a-3..... | 200 |
| 4.9.8. Generalizări privind sortarea Rapidă..... | 201 |
| 4.10. Sortarea prin Arbore binar complet - $A_{4,17}$ | 203 |
| 4.11.Sortarea prin Fuziune - $A_{4,18}$ | 206 |
| 4.12.Sortarea Introspectivă - $A_{4,19}$ | 207 |
| 4.13.Metoda Timsort - $A_{4,20}$ | 208 |
| 4.14.Analiza și folosirea unor algoritmi de sortare..... | 210 |
| 4.15.Sortarea cu constrângeri..... | 217 |
| 4.15.1. Considerații preliminare..... | 217 |
| 4.15.2. Esența problemei..... | 218 |
| 4.15.3. Regula de bază pentru rezolvarea problemei..... | 219 |
| 4.15.4. O soluție simplă aproximativă a problemei..... | 220 |
| 4.15.5. Reducerea erorii soluțiilor..... | 223 |
| 4.15.6. O abordare îmbunătățită de rezolvare a problemei..... | 226 |
| 4.15.7. Formularea mai detaliată a problemei..... | 229 |
| 4.15.8. Concluzii..... | 232 |
| 5. ORDONAREA LUCRĂRILOR ATELIERELOR-FLUX $M \times n$ | 234 |
| 5.1. Formularea problemei generale..... | 234 |
| 5.2. Ordonarea la primele și ultimele două servoare..... | 236 |
| 5.3. Condiția necesară de optim..... | 240 |
| 5.4. Ordonarea parțială a lucrărilor..... | 244 |
| 5.5.Cazuri particulare de ordonare a lucrărilor..... | 257 |
| 5.5.1. O generalizare a regulii Johnson pentru ateliere $3 \times n$ | 257 |

| | |
|---|-----|
| 5.5.2. Cazul proprietății $F_2(m)$ inverse celei $F_1(m)$ | 259 |
| 5.5.3. Cazuri particulare în baza Afirmațiilor 5.2 și 5.3..... | 262 |
| 5.5.4. Ordonarea lucrărilor monotone..... | 264 |
| 5.5.5. Ordonarea lucrărilor monotone cu cel mult două durate diferite.. | 275 |
| 5.5.6. Ordonarea lucrărilor monotone cu cel mult trei durate diferite..... | 282 |
| 5.6. Algoritmi pentru soluționarea problemei atelier-flux $M \times n$ | 300 |
| 5.6.1. Folosirea metodei „ramuri-și-hotare”..... | 300 |
| 5.6.2. Folosirea programării matematice în întregi..... | 307 |
| 5.6.3. Algoritmul cu fereastră glisantă..... | 309 |
| 5.7. Generarea de orare optime pentru problema $M \times n$ | 311 |
| 5.8. Compararea unor algoritmi pentru problema ateliere-flux $M \times n$ | 315 |
| 5.9. Durata execuției de lucrări identice..... | 324 |
| 5.10. Totalizare privind atelierele-flux $FM prmu F_{\max}=T$ | 325 |
| 6. ORDONAREA LUCRĂRILOR ATELIERELOR-FLUX $4 \times n$ | 332 |
| 6.1. Concretizarea problemei..... | 332 |
| 6.2. Condiția necesară de optim..... | 333 |
| 6.3. Ordonarea parțială a lucrărilor..... | 335 |
| 6.4. Cazuri particulare de ordonare a tuturor lucrărilor..... | 335 |
| 6.5. Totalizare privind atelierele-flux $4 \times n$ | 337 |
| 7. ORDONAREA LUCRĂRILOR ATELIERELOR-FLUX $3 \times n$ | 339 |
| 7.1. Concretizarea problemei..... | 339 |
| 7.2. Condiția necesară de optim..... | 341 |
| 7.3. Clasificarea și caracterizarea lucrărilor..... | 342 |
| 7.4. Ordonarea parțială în perechi a lucrărilor..... | 352 |
| 7.5. Cazuri particulare de ordonare a tuturor lucrărilor..... | 356 |
| 7.5.1. Ateliere-flux $3 \times n$ cu lucrări de aceeași durată la primul server..... | 356 |
| 7.5.2. Ateliere-flux $3 \times n$ cu lucrări de aceeași durată la al doilea server..... | 356 |
| 7.5.3. Ateliere-flux $3 \times n$ cu lucrări de aceeași durată la ultimul server..... | 357 |
| 7.5.4. Ateliere-flux cu lucrări doar de tip D | 357 |
| 7.5.5. Un caz particular mai general..... | 361 |
| 7.5.6. Compararea unor cazuri particulare..... | 362 |
| 7.6. Un algoritm euristic pentru problema ateliere-flux $3 \times n$ | 366 |
| 7.7. Totalizare privind atelierele-flux $3 \times n$ | 368 |
| 8. ORDONAREA LUCRĂRILOR ATELIERELOR-FLUX $2 \times n$ | 371 |

| | |
|--|-----|
| 8.1. Concretizarea problemei | 371 |
| 8.2. Soluția Johnson | 374 |
| 8.2.1. Teorema Johnson | 374 |
| 8.2.2. Algoritmul Johnson | 378 |
| 8.3. O modificare a algoritmului Johnson | 378 |
| 8.4. Încă două modificări ale algoritmului Johnson | 379 |
| 8.5. Algoritmul direct | 385 |
| 8.6. Compararea laboriozității algoritmilor | 386 |
| 8.7. Totalizare privind ordonarea lucrărilor atelierelor-flux $2 \times n$ | 397 |
| 9. ORDONAREA LUCRĂRILOR ATELIERELOR $1 \times n$ | 399 |
| 9.1. Gama problemelor de ordonare a lucrărilor atelierelor $1 \times n$ | 399 |
| 9.2. Concretizarea problemei | 401 |
| 9.3. Problema de ordonare a lucrărilor atelierelor $1 \times n$ | 403 |
| 9.4. Minimizarea duratei medii de execuție a unei lucrări | 403 |
| 9.5. Minimizarea duratei medii ponderate de execuție a unei lucrări | 405 |
| 9.6. Minimizarea pierderilor sumare cu execuția lucrărilor | 407 |
| 9.6.1. Minimizarea pierderilor proporționale sumare | 407 |
| 9.6.2. Minimizarea pierderilor liniare sumare | 408 |
| 9.6.3. Minimizarea pierderilor exponențiale sumare | 409 |
| 9.6.4. Minimizarea pierderilor crescătoare sumare | 410 |
| 9.6.5. Minimizarea pierderilor nedescrescătoare sumare | 411 |
| 9.7. Minimizarea pierderilor maxime cu execuția unei lucrări | 412 |
| 9.7.1. Minimizarea pierderilor proporționale maxime | 412 |
| 9.7.2. Minimizarea pierderilor liniare maxime | 416 |
| 9.7.3. Minimizarea pierderilor exponențiale maxime | 417 |
| 9.7.4. Minimizarea pierderilor crescătoare maxime | 421 |
| 9.7.5. Minimizarea pierderilor nedescrescătoare maxime | 424 |
| 9.8. Totalizare privind ordonarea lucrărilor în ateliere $1 \times n$ | 425 |
| 10. ABORDĂRI LA CERCETAREA SISTEMELOR CU AȘTEPTARE ... | 428 |
| 10.1. Metode de modelare | 428 |
| 10.2. Aplicarea teoremei Little | 431 |
| 10.2.1. Esență, condiții și exemple de aplicare | 431 |
| 10.2.2. Stații cu flux omogen de solicitări fără pierderi | 433 |
| 10.2.3. Stații cu flux omogen de solicitări și pierderi | 435 |

| | |
|--|-----|
| 10.2.4. Rețele cu fluxuri omogene de solicitări fără pierderi | 437 |
| 10.2.5. Rețele cu fluxuri omogene de solicitări și pierderi | 439 |
| 10.2.6. Stații cu flux eterogen de solicitări fără pierderi | 440 |
| 10.3. Aplicarea formulei mediei Pollaczek-Khintchine | 442 |
| 10.4. Aplicarea ecuațiilor Chapman-Kolmogorov..... | 443 |
| 10.5. Stații markoviene cu rate dependente de stare..... | 444 |
| 10.6. Metoda valorilor medii | 447 |
| 10.7. Transformate în cercetarea sistemelor cu așteptare..... | 450 |
| 10.7.1. Transformate | 451 |
| 10.7.2. Funcții generatoare..... | 451 |
| 10.7.3. Funcția generatoare de probabilități | 452 |
| 10.7.4. Funcția generatoare de momente | 457 |
| 10.7.5. Transformata Laplace..... | 460 |
| 10.7.6. Transformata Laplace-Stieltjes..... | 461 |
| 10.7.7. Funcția caracteristică | 462 |
| 10.8. Folosirea rezultatelor pentru stații de categorii mai generale | 464 |
| 10.9. Alte abordări, metode, modalități | 464 |
| 11. STAȚII CU AȘTEPTARE NON-MARKOVIENE..... | 465 |
| 11.1. Stații cu așteptare de categoria G/G | 465 |
| 11.1.1. Stații $G/G/m$ | 466 |
| 11.1.2. Stații cu așteptare $G/G/1$ | 468 |
| 11.1.3. Stații cu așteptare $GI/G/1$ | 471 |
| 11.1.4. Stații $G_n/G_n/m$ fără priorități | 472 |
| 11.1.5. Stații $G_n/G_n/1$ fără priorități | 473 |
| 11.1.6. Stații cu așteptare $GI_n/G_n/1$ | 474 |
| 11.1.7. Stații $GI_2/G_2/1$ cu priorități relative | 474 |
| 11.1.8. Stații $GI_n/G_n/1$ cu priorități fără întrerupere..... | 475 |
| 11.1.9. Stații cu așteptare $G/G/1/N/N/PS$ | 476 |
| 11.2. Stații cu așteptare de categoria M/G | 477 |
| 11.2.1. Stații cu așteptare $M/G/\infty$ | 477 |
| 11.2.2. Stații cu așteptare $M/G/1$ | 477 |
| 11.2.3. Stații cu așteptare $M_n/G_n/1$ | 480 |
| 11.2.4. Stații cu așteptare $M/G/m$ | 495 |
| 11.2.5. Stații cu așteptare $M_n/G_n/m$ fără priorități | 497 |
| 11.3. Stații cu așteptare de categoria G/M | 498 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 11.3.1. | Stații cu așteptare $G/M/1$ | 498 |
| 11.3.2. | Stații cu așteptare $GI/M/1$ | 499 |
| 11.3.3. | Stații cu așteptare $G/M/m$ | 499 |
| 11.3.4. | Stații cu așteptare $G/M/m/N/N$ | 501 |
| 11.4. | Stații cu așteptare $M/E_k/1$ | 502 |
| 11.5. | Stații cu așteptare $D/M/1$ | 503 |
| 11.6. | Stații cu așteptare de categoria M/U | 503 |
| 11.6.1. | Stații $M/U/1$ | 504 |
| 11.6.2. | Stații $M_n/U_n/1$ cu priorități zonate | 504 |
| 11.7. | Stații cu așteptare de categoria M/D | 505 |
| 11.7.1. | Stații $M/D/\infty$ | 505 |
| 11.7.2. | Stații $M/D/1$ | 505 |
| 11.7.3. | Stații $M/D/m$ | 507 |
| 11.7.4. | Stații $M_n/D_n/1$ cu priorități zonate | 507 |
| 11.8. | Stații cu așteptare de categoria D/D | 508 |
| 11.8.1. | Stații $D/D/1$ și $D/D/m$ | 508 |
| 11.8.2. | Stații $D/D/m/K/K$ | 509 |
| 12. | STAȚII CU AȘTEPTARE MARKOVIENE | 511 |
| 12.1. | Stații markoviene cu servoare identice | 511 |
| 12.1.1. | Stații $M/M/\infty$ | 512 |
| 12.1.2. | Stații $M/M/1$ | 512 |
| 12.1.3. | Stații $M/M/1/K$ | 514 |
| 12.1.4. | Stații $M/M/1/K/N$ | 518 |
| 12.1.5. | Stații $M/M/1/N/N$ | 521 |
| 12.1.6. | Caracteristici ale stațiilor cu așteptare $M_n/M_n/1$ | 523 |
| 12.1.7. | Stații $M/M/m$ | 541 |
| 12.1.8. | Stații $M/M/m/K$ | 546 |
| 12.1.9. | Stații $M/M/m/m$ | 549 |
| 12.1.10. | Stații $M/M/m/K/N$ | 550 |
| 12.1.11. | Stații $M/M/m/N/N$ | 553 |
| 12.1.12. | Stații $M/M/m/m/N$ | 555 |
| 12.1.13. | Stații $M/M/m/m/m$ | 556 |
| 12.1.14. | Stații $M_n/M_n/m$ | 557 |
| 12.2. | Stații markoviene cu două servoare diferite | 558 |
| 12.2.1. | Stații $M/M/(1,1)///$ servoare diferite de capacitate sumară dată | 559 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 12.2.2. | Stații $M/M/(1,1)$ ///servoare cu rate de servire diferite date..... | 561 |
| 12.2.3. | Stații $M/M/(1,1)$ ///servoare diferite și repartizare proporțională | 562 |
| 12.2.4. | Stații $M/M/(1,1)/N/N$ /repartizare proporțională..... | 563 |
| 12.2.5. | Stații $M/M/(1,1)$ ///servoare diferite și disciplina FFS | 563 |
| 12.2.6. | Stații $M/M/(1,1)$ ///servoare diferite și disciplina de servire RFS | 565 |
| 12.2.7. | Stații $M/M/(1,1)/(\infty, l)$ ///servoare diferite și firaș suplimentar | 567 |
| 12.2.8. | Compararea stațiilor cu așteptare cu două servoare diferite..... | 568 |
| 12.3. | Stații markoviene cu mai multe servoare diferite | 569 |
| 12.3.1. | Stații $M/M/(n,m)/N$ //prioritate absolută | 570 |
| 12.3.2. | Stații $M/M/(n,m)$ ///prioritate absolută | 573 |
| 12.3.3. | Stații $M/M/(n,m)/N$ //prioritate relativă | 574 |
| 12.3.4. | Stații $M/M/(n, m)$ ///prioritate relativă | 581 |
| 12.3.5. | Stații $M/M/(n,m)/N$ //disciplină generalizată | 581 |
| 12.3.6. | Compararea unor discipline pentru stații $M/M/(n,m)/N$ | 584 |
| 12.3.7. | Stații $M/M/(n,1)/N$ //prioritate relativă | 590 |
| 12.3.8. | Stații $M/M/(n,1)$ ///prioritate relativă | 591 |
| 12.3.9. | Stații $M/M/(n,m)/(N,r,l)$ ///prioritate relativă și firaș suplimentar | 591 |
| 12.3.10. | Stații $M/M/(n,1)/(N,r,l)$ ///prioritate relativă și firaș suplimentar | 594 |
| 12.3.11. | Stații $M/M/(n,m)/N$ //prioritate cu orientare | 604 |
| 13. | REȚELE CU AȘTEPTARE: ASPECTE FUNDAMENTALE..... | 612 |
| 13.1. | Fluxurile de solicitări în rețelele cu așteptare | 612 |
| 13.2. | Rețele cu soluții formă-produs | 613 |
| 13.3. | Rețele deschise din stații exponențiale în serie | 616 |
| 13.4. | Rețele deschise cu rutare aciclică | 619 |
| 13.5. | Rețele cu așteptare Jackson..... | 625 |
| 13.6. | Rețele cu așteptare Gordon-Newell | 630 |
| 13.7. | Algoritmul Buzen | 632 |
| 13.8. | Algoritmul MVA | 634 |
| 13.9. | Rețele cu așteptare BCMP | 636 |
| 13.10. | Rețele cu așteptare echivalente | 639 |
| | CONCLUZII | 650 |
| | Referințe..... | 653 |
| | Anexa 1. Lista unor probleme cu regulile sau algoritmi de planificare a lucrărilor..... | 673 |
| | Lista abrevierilor..... | 677 |
| | Unele notații | 680 |

Referințe

- [Ada015] Adan, I.; Resing, J. *Queueing Systems*. Eindhoven University of Technology, 2015. 182 p.
- [All990] Allen, A. O. *Probability, statistics, and queueing theory with computer science applications*. 2nd ed. Boston: Academic Press, Inc., 1990.
- [Art1982] Артамонов И.М. Об одном алгоритме решения задачи Беллмана-Джонсона. В сб.: *Модели и алгоритмы решения задач планирования и управления*. Кишинев: Штиинца, 1982.
- [Aug018] Auger, Nicolas; Jugé, Vincent; Nicaud, Cyril; Pivoteau, Carine. On the Worst-Case Complexity of TimSort. In: *26th Annual European Symposium on Algorithms (ESA 2018)*. *Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs)*. 2018, vol. 112, pp. 1-13. <https://doi.org/10.4230/LIPIcs.ESA.2018.4>.
- [Aum016] Aumüller, M.; Dietzfelbinger, M.; Klaue, P. How good is multipivot quicksort? *ACM Trans. Algorithms*. 2016, 13(1), pp. 1–47.
- [Avi964] Avi-Itzhak, B.; Brosh, I.; Naor, P. On discretionary priority queueing. *Z. Angew. Math. und Mech.* 1964, vol. 44, no. 6.
- [Bak019] Baker, K.R.; Trietsch, D. *Principles of Sequencing and Scheduling*. 2nd ed. Hoboken: Wiley, 2019. 638 p.
- [Bak974] Baker, K.R. *Introduction to Sequencing and Sheduling*. Wiley, 1974.
- *Bara982+ Bárány, I.; Fiala, T. Többgépes ütemezési problémák közel optimális megoldása. *Szisma Mat. Közgazdasági Folyóirat*. 1982, 15, pp. 177-0191.
- [Bart978] Bartsch, B.; Bolch, G. A conservation law for G/G/m queueing systems. *Acta Informatica*. 1978, 10, pp. 105–109.
- [Bask975] Baskett, F.; Chandy, K.M.; Muntz, R.R.; Palacios, F.G. Open, closed and mixed networks of queues with different classes of customers. *Journal of the ACM*. 1975, 22 (2), pp. 248–260.
- [Bel955] Bellman, R.E. *Mathematical Aspects of Scheduling Theory*. P-6512. Santa Monica, California: Rand Corporation, 25 May 1955.
- [Bend006] Bender, Michael A.; Farach-Colton, Martín; Mosteiro, Miguel A. Insertion Sort is $O(n \log n)$. *Theory of Computing Systems*. 2006, 39(3), pp. 391–397.

- [Bla019] Blazewicz, J.; Ecker, K. H.; Pesch, E.; Schmidt, G.; Sterna, M.; Weglarz, J. *Handbook on Scheduling: from Theory to Practice*. 2nd ed. Cham: Springer, 2019.
- *Bol003a+ Bolun, I. Cercetarea domeniului de definiție pentru un algoritm de ordonare optimă a lucrărilor. În: *Rolul științei și învățământului economic în realizarea reformelor economice din Republica Moldova*, conf. internaț., 25-26 septembrie 2003. Chișinău: Editura ASEM, 2003, pp. 451-455.
- *Bol004a+ Bolun, I. Cu privire la concentrarea rațională a resurselor infrastructurii informatice pentru iMoldova. În: *Integrarea europeană și competitivitatea economică: simp. șt. internaț.*, 23-24 sept., 2004. Chișinău: Editura ASEM, 2004. vol. 3, pp. 192-196.
- [Bol007a] Bolun, I. Jobs ordering for some particular cases of the $M \times n$ Bellman-Johnson problem. In: *Pro-active partnership in creativity for the next generation: Proceedings of the 31st Annual Congress of the American Romanian Academy of Arts and Science*, July 31-August 10, 2007. Montreal: Presses Internationales Polytechnique, 2007, pp. 489-492.
- [Bol007b] Bolun, I. Ordering of jobs with three different processing times in the $M \times n$ Bellman-Johnson problem. *Computer Science Journal of Moldova*. 2007, vol. 15, no. 1(43), pp. 88-110.
- *Bol007c+ Bolun, I. Ordonarea lucrărilor monotone cu cel mult două durate de prelucrare diferite în sisteme secvențiale. *Analele Academiei de Studii Economice din Moldova*. 2007, vol. 5, pp. 204-310.
- *Bol007d+ Bolun, I. Ordonarea lucrărilor monotone în problema $M \times n$ Bellman-Johnson. *Economica*. 2007, nr.1(57), pp. 103-108.
- [Bol007e] Bolun, I. Partial ordering of jobs in the $3 \times n$ Bellman-Johnson problem. În: *Informatics in Knowledge Society: Proc. Of the 8th Intern. Conf. on Informatics in Economy*. Bucharest: ASE Publishing House, 2007, pp. 824-830.
- [Bol017a] Bolun, I. Selectarea proiectelor de investiții cu informatizarea. În: *Rolul investițiilor în dezvoltarea economiei digitale în contextul globalizării financiare*, confer. șt. intern., 22-23 decembrie 2016. Chișinău: Editura ASEM, 2017, pp. 108-109.
- [Bol017b] Bolun, I. Organizing the discussion of collective decision options. *Economica*. 2017, no.3(101), pp. 118-128.

- [Bol017c] Bolun, I. *Efficiency of investments in informatization*. Saarbrücken: Scholars' Press, 2017. 162 p. ISBN 978-620-2-30270-8.
- [Bol021] Bolun, I. Prioritization of cybersecurity measures. In: *Proceedings of The 11th International Conference on Electronics, Communications and Computing ECCO-2021*, October 21-22, 2021. Chisinau: UTM, 2021, pp. 194-199. ISBN 978-9975-45-776-7.
- [Bol024a] Bolun, I. Mean-of-2-4 Quicksort. *Journal of Engineering Science*. 2024, vol. 31(1), pp. 18-33.
- *Bol976a+ Болун, И.Ф.; Патратий, И.З.; Храмов С.А. Исследование однопроцессорной совместимой вычислительной системы с разделением времени. В: *Математическое моделирование и экономические процессы*. Кишинев: Штиинца, 1976, сс.122-129.
- *Bol977a+ Болун, И.Ф. О трактах из разнотипных каналов передачи. В: *Передача данных в АСУ*. Кишинев: Штиинца, 1977, сс. 89-96.
- *Bol977b+ Болун, И.Ф. О целесообразности введения приоритетов в системах массового обслуживания из разнотипных приборов. В: *Достоверность и эффективность информационных процессов*. Кишинев: Штиинца, 1977, сс. 65-69.
- *Bol977с+ Болун, И.Ф. Сравнение систем массового обслуживания из разнотипных приборов с приоритетами. В: *Достоверность и эффективность информационных процессов*. Кишинев: Штиинца, 1977, сс. 93-100.
- [Bol979a+ Болун, И.Ф. Исследование одномашинного ВЦКП с многомерным потоком запросов. В: *Создание Республиканской автоматизированной системы управления*. Кишинев: Штиинца, 1979, сс. 143-154.
- *Bol981b+ Болун, И.Ф. Одна модификация алгоритма упорядочения Джонсона. В: *Системы и средства интегрированной обработки информации*. Кишинев: НИИП, 1981, сс. 43-46.
- *Bol981e+ Болун, И.Ф. Система массового обслуживания из разнотипных приборов с дополнительной очередью. В: *Моделирование различных процессов в АСУ*. Кишинев: Штиинца, 1981, сс. 65-73.
- *Bol984b+ Болун, И.Ф. Алгоритм упорядочения работ в конвейрной системе из двух станков. В: *Математическое обеспечение АСУ*. Кишинев: Штиинца, 1984, сс.102-112.

- [Bol984c+ Болун, И.Ф. Очередность выполнения работ в конвейерных системах. В: *Проблемы создания и развития общесистемных средств АСУ*: Тезисы докладов республиканского семинара. Кишинев, 1984, сс.106-109.
- *Bol985f+ Болун, И.Ф.; Мартин, В.Г. Комплекс программ определения характеристик вычислительных комплексов и трактов передачи данных. *Инф. бюлл. Алгоритмы и программы*, №(69). М.: ГосФАП СССР, 1985. 77 с. N гос.рег. 50850000363.
- *Bol985g+ Болун, И.Ф.; Бортник, М.И. Аналитико-имитационное моделирование вычислительных комплексов. В: *Проблемы совершенствования планирования и управления народным хозяйством Молдавской ССР*, тезисы докл. респ. конф. Кишинев: НИИП, 1985, сс. 155-156.
- *Bol986a+ Болун И.Ф. К задаче упорядочения работ в многофазных системах обслуживания. В: *Модели и алгоритмы АСУ*. Кишинев: Штиинца, 1986, сс. 29-58.
- *Bol986b+ Болун, И.Ф.; Урсу, Б.П. К оценке качества алгоритмов составления расписаний для конвейерных систем. В: *Проблемы интенсификации общественного производства Молдавской ССР*, тезисы докл. респ. конф. Кишинев, 1986, сс. 126-128.
- *Bol995+ Bolun, I. The Optimization of Work's Arranging in the Sequential Systems. In: *Software Engineering and Application: Proceedings of the 2nd International Symposium of Economic Informatics*, May 10-13, 1995. Bucharest: ASE Printing House, 1995, pp. 542-546.
- *Bol996a+ Bolun, I.; Ursu, B. Analiza unor algoritmi de soluționare a problemei de ordonanțare $M \times n$ Bellman-Johnson. În: *Cibernetica și Informatica Economică I*. Chișinău: Editura ASEM, 1996, pp. 184-203.
- [Bol996c] Bolun, I.; Ursu, B. Caracteristicile unor algoritmi de soluționare a problemei de ordonanțare $M \times n$ Bellman-Johnson. În: *Rezumatelile comunicărilor științifice la Conferința Națională de Cibernetică*, ed. VII, 27-29 noiembrie 1996. București: ASE, 1996, pp. 14-15.
- [Bol999a] Bolun, I. *Macrosinteza rețelelor de calculatoare*. Chișinău: Editura ASEM, 1999. 265 p.
- [Bol999c] Bolun, I. *Macrosinteza și valorificarea resurselor rețelelor de calculatoare regionale*: teză de dr.hab. în șt. tehn. Chișinău: ASEM, 1999. 265 p.

- [Bolc006] Bolch, G.; Greiner, S.; Meer, H.; Trivedi, K. *Queueing networks and Markov chains*. 2nd ed. New York: Wiley & Sons, 2006.
- [Boll996] Bollobás, B.; Fenner, T. I.; Frieze, A. M. On the Best Case of Heapsort. *Journal of Algorithms*. 1996, 20 (11), pp. 205–217.
- [Bos002] Bose, S.K. *An Introduction to Queueing Systems*. New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2002. 286 p.
- [Boy972] Boyse, J.W.; Warn, D.R. A straightforward model of computer performance prediction. *ACM Comput. Surveys*. 1972, 7(2).
- *Brai013+ Brăilă, A.; Calin, Iu.; Grigor, R.; Platon, V.; Prodan, N. *Econometrie: suport de curs*. Chişinău: CEP USM, 2013. 210 p.
- [Bran974] Brandwain, A. A Model of a Time-Sharing Virtual Memory System Solved Using Equivalence and Decomposition Methods. *Acta Informatica*. 1974, N 4, pp. 11-47.
- [Bran977] Brandwain, A. A Queuing Model of Multiprogrammed Computer System Under Full Load Conditions. *Journal of ACM*. 1977, vol. 24, N 2, pp. 222-240.
- *Bron971+ Бронштейн, О.И.; Розенталь, Г.О. Приоритетная система обслуживания с зонами прерываний. *Автоматика и телемеханика*. 1971, nr. 7.
- *Bron976+ Бронштейн, О.И.; Духовный, И.М. *Модели приоритетного обслуживания в информационно-вычислительных системах*. М.: Наука, 1976. 220 p.
- [Bros963] Brosh, I.; Naor, P. On optimal discipline in priority queueing. *Bull. Inst. Internat. Statist.* 1963, vol. 40, pp. 593-609.
- [Bru969] Brumelle, S.L. *Some inequalities for MultiServer Queues*. ORC 69-17. Berkley: Operations Research Center, University of California, 1969.
- [Bru971] Brumelle, S.L. Some Inequalities for Parallel Service Queues. *Operations Research*. 1971, vol. 19, pp. 402-413.
- [Burd969] Burdick, V.I. On the problem of m servers ($m \geq 2$). *Cybernetics*. 1969, no. 3, pp. 74.
- [Burk956] Burke, P.J. The output of a queueing system. *Operations Research*. 1956, 4, pp. 699 – 704.
- [Buz973] Buzen, J.P. Computational algorithms for closed queueing networks with exponential servers. *Communications of the ACM*. 1973, vol. 16, no. 9, pp. 527-531.

- [Cam970] Campbell, J.; Dunnette, M.; Lawler, E.; Weick, K. *Managerial Behavior, Performance and Effectiveness*. New-York: McGraw-Hill, 1970.
- [Car991] Carlier, J.; Latapie, B. Une methode arborescente pour resoudre les problemes cumulatifs. *R.A.I.R.O. Recherche Operationnelle / Operations Research*. 1991, 25(3), pp. 311-340.
- [Cas991] Casas, P.F.; Casanovas, J. JGPSS, an open source GPSS framework to teach simulation. In: *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*. 2009, pp. 256- 267.
- [Chana981] Chanas, S.; Kamburowski, J. The use of fuzzy variables in PERT. *Fuzzy sets and systems*. 1981, vol. 5, no. 1, pp. 11-19.
- [Chand972a] Chandy, K.M. The analysis and solutions for general queueing networks. In: *Proc. Sixth Annual Princeton Conf. on Inform SOI and Systems*. Princeton, N J.: Princeton U., March 1972, pp. 219-224.
- [Chand972b] Chandy, K. M.; Howard, J.H., Jr; Towsley, D.F. Product form and local balance in queueing networks. *Journal of the ACM*. 1977, **24** (2), pp. 250–263.
- [Cob954] Cobham A. Priority Assignment in Waiting Line Problems. *Operations Research*. 1954, 2, pp. 70-76.
- [Coh976] Cohen, W. *On regenerative processes in queueing theory*. Berlin: Springer, 1976.
- [Coh979] Cohen, J. The multiple phase service network with generalized processor sharing. *Acta Informatica*. 1979, 12, pp. 245-284.
- [Coh985] Cohen, J. W.; Boxma, O. J. A survey of the evolution of queueing theory. *Statistica Neerlandica*. 1985, 39, pp. 143-158.
- [Conw967] Conway, R.W.; Maxwell, W.L.; Miller, L.W. *Theory of scheduling*. Addison-Wesley, 1967. 193 p.
- [Conw989a] Conway, A.; Georganas, N.D. *RECAL – Queueing Networks - Exact Computational Algorithm: A Unified Theory Based on Decomposition and Aggregation*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1989.
- [Conw989b] Conway, A.E.; De Souza E Silva, E.; Lavenberg, S.S. Mean Value Analysis by Chain of Product-Form Queueing Networks. *IEEE Transactions on Computers*. 1989, vol. 38, no. 3.
- [Conf024] *Configuring Multilink Frame Relay*. Juniper Networks, 24.06.2024.

<https://www.juniper.net/documentation/us/en/software/junos/interfaces-security-devices/topics/topic-map/security-interface-config-multilink-frame-relay.html> (accessed on 20.08.2024).

*Corm009+ Cormen, Thomas H.; Leiserson, Charles E.; Rivest, Ronald L.; Stein, Clifford. *Introduction To Algorithms*. 3rd ed. Cambridge, MA: MIT Press. 167 p.

*Corm984+ Корня, С.К.; Болун, И.Ф.; Недельчук, В.П. Концепция информационно-вычислительной системы аграрно-промышленного комплекса МССР. В: *Проблемы создания и развития общесистемных средств АСУ*, тезисы докл. респ. семинара. Кишинев, 1984, сс. 23-26.

[Cosm976] Cosmetatos, G. Some Approximate Equilibrium Results for the Multiserver Queue (M/G/r). *Operations Research Quarterly*. 1976, 27, pp. 615-620.

[Cox955] Cox, D.R. A use of complex probabilities in the theory of stochastic processes. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. 1955, 51, pp. 313-319.

[Cro932] Crommelin, C.D. Delay probability formulae when the holding times are constant. *Post Office Electrical Engineers Journal*. 1932, 25, pp. 41–50.

[Cro934] Crommelin, C.D. Delay probability formulae. *Post Office Electrical Engineers Journal*. 1934, 26, pp. 266–274.

[Cyb025] *Cybersecurity Spending Boosts Technology Sector Growth*. FitchRatings, 29 May, 2025. <https://www.fitchratings.com/research/corporate-finance/cybersecurity-spending-boosts-technology-sector-growth-29-05-2025> (accessed 28.06.2025).

[Cyp992] Cypher, Robert; Sanz, Jorge L.C. Cubesort: A parallel algorithm for sorting N data items with S-sorters. *Journal of Algorithms*. 1992, 13 (2), pp. 211–234.

[De S989] De Souza E Silva, E.; Lavenberg, S.S. Calculating Joint Queue-Length Distributions in Product-Form Queueing Networks. *Journal of the ACM*. 1989, vol. 36, no. 1.

[Dij981] Dijkstra, E.W. *Smoothsort, an alternative for sorting in situ*. Nuenen: Burroughs Corp., 1981. 16 p.

- [Dub003] Dubois, D. Fuzzy scheduling: Modelling flexible constraints vs. coping with incomplete knowledge. *European Journal of Operational Research*. 2003, 147, pp. 231–252.
- [Dub988] Dubois, D.; Prade, H. *Possibility Theory*. New York: Plenum Press, 1988.
- [Dub996] Dubois, D.; Fargier, H.; Prade, H. Possibility theory in constraint satisfaction problems: Handling priority, preference and uncertainty. *Applied Intelligence*. 1996, 6, pp. 287–309.
- [Erl909] Erlang, A.K. Probability and telephone calls. *Nyt Tidsskr. Mat.* 1909, Ser. B, vol. 20, pp. 33-39.
- [Erl917] Erlang, A.K. Solution of some probability problems of significance for automatic telephone exchanges. *Elektroteknikerren*. 1917, vol. 13, pp. 5-13.
- [Fel971] Feller, W. *An introduction to probability theory and its applications*. Vol. II. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1971. 751 p.
- [Fer978] Ferrari, D. *Computer systems performance evaluation*. New-Jersey: Prentice Hall, 1978.
- *Fil990+ Фильчаков, П.Ф. *Численные и графические методы прикладной математики*. Киев: Наукова думка, 1990.
- [Film023] Filmus, Y. Solving recurrence relation with two recursive calls. *Computer Science Stack Exchange*. <https://cs.stackexchange.com/q/31930> (accessed 20.10.2023).
- [Fri956] Friend, E.H. Sorting on Electronic Computer Systems. *Journal of the ACM*. 1956, 3 (3), pp. 134–168.
- [Fry928] Fry, T.C. The theory of Probability as Applied to Problems of Congestion. In: *Probability and Its Engineering Uses*. Princeton, New-York: D. Van Nostrand, 1928.
- *Gam015+ Gamețchi, A.; Solomon, D. *Cercetări operaționale*. Chișinău: Evrica, 2015, vol. 2. 608 p.
- [Gan903] Gantt, H.L. A graphical daily balance in manufacture. *ASME Transactions*. 1903, 24, pp. 1322–1336.
- [Gare976] Garey, M. R.; Johnson, D. S.; Sethi, Ravi. *The complexity of flowshop and jobshop scheduling*. *Mathematics of Operations Research*. 1976, 1 (2), pp. 117–129.
- [Gav962] Gaver, D.P. Embedded Markov chain analysis of a waiting-line process in continuous time. *Ann. Math. Stat.* 1959, 30, pp. 698-720.

- [Gaz983] Dazdik, I. Fuzzy-network planning-FNET. *IEEE Tranz, Reliab.* 1983, R-32, pp. 304-313.
- [Gel002] Gelenbe, Erol; Fourneau, Jean-Michel. G-Networks with resets. *Performance Evaluation*. 2002, **49**(1), pp. 179–191. doi:10.1016/S0166-5316(02)00127-X.
- [Gel989] Gelenbe, Erol. Random Neural Networks with Negative and Positive Signals and Product Form Solution. *Neural Computation*. 1989, **1**(4), pp. 502–510. doi:10.1162/neco.1989.1.4.502.S2CID 207737442.
- [Gel991] Gelenbe, Erol. Product-form queueing networks with negative and positive customers. *Journal of Applied Probability*. 1991, **28** (3), pp. 656–663. doi:10.2307/3214499. JSTOR 3214499.
- [Gel993a] Gelenbe, Erol. G-networks with triggered customer movement. *Journal of Applied Probability*. 1993, **30** (3), pp. 742–748.
- [Gel993b] Gelenbe, Erol. G-Networks with triggered customer movement. *Probability in the Engineering and Informational Sciences*. 1993, **7** (3), pp. 335–342.
- [Get018] Getting things sorted. In: *V8 · V8.v8.dev*. Retrieved 21 December 2018, 8.dev/blog/array-sort (accessed 24.06.2025).
- *Гму972+ Гмурман В.Е. *Теория вероятностей и математическая статистика*. Изд. 4-е, доп. Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1972.
- [Gor967] Gordon, W.J.; Newell, G.F. Closed queueing systems with exponential servers. *Operations Research*. 1967, vol. 15, pp. 254-265.
- [Gor981] Gordon, G. The development of the General Purpose Simulation System (GPSS). In: *History of programming languages*. Academic Press, Inc. 1981, pp. 403-426).
- [Gorr012] Gorroochurn, P. Some Laws and Problems of Classical Probability and How Cardano Anticipated Them. *Chance*, 2012, vol. 25.4, pp. 13-20.
- [Gra966] Graham, R.I. Bounds for certain multiprocessor anomalies. *Bell System Technical Journal*. 1966, **45**, pp. 1563-1581.
- [Gra969] Graham, R.I. Bounds in multiprocessor anomalies. *SIAM Journal of Applied Informatics*. 1969, **17**, pp. 263-269.
- [Gra979] Graham, R. L.; Lawler, E. L.; Lenstra, J. K.; Rinnooy Kan, A. H. G. Optimization and approximation in deterministic sequencing and

- scheduling: a survey. *Annals of Discrete Mathematics*. 1979, 5, pp. 287-326.
- *Gri962+ Григелионис, Б.И. О точности приближения композиции процессов восстановления пуассоновским процессом. *Литовский математический сборник*. 1962, Т. 2, № 2, сс. 135-143.
- [Gro953] Grosch, H.R.J. High Speed Arithmetic: The Digital Computer as a Research Tool. *Journal of the Optical Society of America*. 1953, 43(4), pp. 306-310.
- [Gui021] *Guide to Understanding the Total Impact of Fraud*. International Public Sector Fraud Forum, February 2020. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/866608/2377_The_Impact_of_Fraud_AW_4_.pdf (accessed 04.08.2021).
- [Gup010] Gupta, V.; Harchol-Balter, M.; Dai, J.G.; Zwart, B. On the inapproximability of M/G/K: why two moments of job size distribution are not enough. *Queueing Systems*. 2010, 64(1), pp. 5-48.
- [Gus984] Gusfield, D. Bounds for naive multiple scheduling with release times and deadlines. *Journal of Algorithms*. 1984, 5, pp. 1-6.
- [Gut019] Guțuleac, E. *Sisteme și rețele de așteptare markoviene*. Chișinău: Tehnica-UTM, 2019. 284 p.
- [Harc013] Harchol-Balter, M. *Performance modeling and design of computer systems: queueing theory in action*. Cambridge University Press, 2013.
- [Hei015] Heineman, G.T.; Pollice, G.; Selkow, S. *Algorithms in a Nutshell*, 2nd Edition. O'Reilly Media, Inc., 2015. 435 pag.
- [Hen990] Henderson, W.; Taylor, P. G. Product form in networks of queues with batch arrivals and batch services. *Queueing Systems*. 1990, 6, pp. 71–87.
- [Hoa961] Hoare, C. A. R. Partition (Algorithm 63); Quicksort (Algorithm 64); Find (Algorithm 65). *Comm. ACM*. 1961, 4, pp. 321-322.
- [Hor974] Horn, W. Some simple scheduling algorithms. *Naval Research Logistics Quarterly*. 1974, 21, pp. 177-185.
- [Hsi989] Hsiao M.-T.T.; Lazar A.A. An Extension to Norton's Equivalent. *Queueing Systems*. J.C.Baltzer A.G. Publishing Co., 1989, vol. 5.
- [Hui990] Hui, J.Y. Queueing for Multi-Stage Packet Networks. *Switching and Traffic Theory for Integrated Broadband Networks*. The Kluwer

- International Series in Engineering and Computer Science*. 1990, vol. 91, pp. 313–341.
- [Ind963] *Industrial Scheduling*. Muth, J. F.; Thompson, G. L., eds. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1963, Chapter 2.
- [Intr023] *Introsort – C++’s Sorting Weapon*. <https://www.geeksforgeeks.org/introsort-cs-sorting-weapon/> (accessed 25.10.2023).
- [Jac955] Jackson, J.R. *Scheduling a production to minimize maximum tardiness*. 1955.
- *Jac956+ Jackson, J. R. An Extension of Johnson’s Results on Job-Lot Scheduling. *Nav Res. Log. Quart.* 1956, vol. 3, no. 3.
- [Jac957] Jackson, J.R. Networks of waiting lines. *Operations Research*. 1957, vol. 5, pp. 518-521.
- [Jac960] Jackson, J.R. Some problems in queueing with dynamic priorities. *Naval Research Logistics Quarterly*. 1960, 7, pp. 235-249.
- [Jac961] Jackson, J.R. Queues with dynamic priority disciplines. *Management Science*. 1961, 8, no. 1, pp. 18-34.
- [Jac962] Jackson, J.R. Waiting-Time distributions for queues with dynamic priorities. *Naval Research Logistics Quarterly*. 1962, 9, pp. 31-36.
- [Jac963] Jackson, J.R. Job Shop Like Queueing Systems. *Management Sciences*. 1963, vol. 10, no. 1, pp. 131-142.
- [Jai968] Jaiswal, N.K. *Priority queues*. New York: Academic Press, 1968.
- [Joh953] Johnson, S.M. *Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included*. P-402. Santa Monica, California: Rand Corporation, 5 May 1953.
- [Joh954] Johnson, S.M. *Optimal two- and three-stage production schedules with set-up times included*. 1954.
- [Kad014] Kadam, P.; Kadam, S. Root to Fruit (2): An Evolutionary Approach for Sorting Algorithms. *Oriental Journal of Computer Science & Technology*. 2014, vol.7, no.(3), pp. 369-376.
- *Kauf965+ Кофман, А.; Крюон, Р. *Массовое обслуживание*. М.: Мир, 1965.
- [Kel959] Kelley, James E.; Walker, Morgan R. Critical-path planning and scheduling. *Eastern joint IRE-AIEE-ACM computer conference on IRE-AIEE-ACM '59 (Eastern)*, December 1-3, 1959. 1959, pp. 160–173.

- [Ken951] Kendall, D.G. Some Problems in the Theory of Queues. *J. Roy Statist. Soc.* 1951, Ser. B, vol. 13, no. 2, pp. 151-186.
- [Ken953] Kendall, D.G. Stochastic Processes Occuring in the Theory of Queues and Their Analysis by the Method of the Imbedded Markov Chain. *Ann. Math. Statist.* 1953, vol. 24, pp. 338-354.
- [Khi932] Khintchine, A.Y. Mathematical theory of a stationary queue. *Matematicheskii Sbornik.* 1932, 39 (4), pp. 73–84.
- [Kie955] Kiefer, J.; Wolfowitz, J. On the Theory of Queues with Many Server. *Transactions of the American Mathematics Society.* 1955, 78, pp. 1-18.
- [Kin961] Kingman, J. F. C. The *single* server queue in heavy traffic. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society.* 1961, 57 (4), pp. 902-904.
- [Kin964] Kingman, J.F.C. On Queues on Heavy Traffic Approximation in the Theory of Queues. In: *Proceedings of the Simposium on Congestion Theory.* Chapel Hill: University of North Carolina, 1964, pp. 137-169.
- *Ки975+ Кирток, О.В.; Патратий, И.З.; Болун, И.Ф. и др. *Техническое задание на проектирование комплекса вычислительных центров министерств и ведомств Молдавской ССР (ВЦКП).* Кишинев: РВЦ ЦСУ МССР, 1975. 56 с.
- [Kle964a] Kleinrock, L.A. Delay Dependent Queue. *Naval Research Logistics Quarterly.* 1964, 11, pp. 329-341.
- [Kle964b] Kleinrock, L.A. *Communication Nets: Stochastic Message Flow and Delay.* New-York: McGraw-Hill, 1964. 209 p.
- [Kle965] Kleinrock, L.A. Conservation Law for a Wide Class Queueing Disciplines. *Naval Research Logistics Quarterly.* 1965, 12, pp. 181-192.
- [Kle966] Kleinrock, L. Queueing with Strict and Lag Priority Mixtures. *Proceedings of the 4th International Conference on Operational Research.* Boston, Mass.: 1966, K-I-46 – K-I-67.
- [Kle967] Kleinrock, L.; Finkelstein, R.P. Time Dependent Priority Queues. *Operations Research.* 1967, 15, pp. 104-116.
- [Kle975] Kleinrock, L. *Queueing systems, vol I: Theory.* New York: Willey, 1975.
- [Kle976] Kleinrock, L. *Queueing systems, vol II: Computer applications.* New York: Willey, 1976.

- [Kli983] Климов Г.П. *Теория вероятностей и математическая статистика*. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1983. 328 с.
- [Knu997] Knuth, D. Shell's method. *The Art of Computer Programming*. Volume 3: *Sorting and Searching*. 2nd ed. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1997, pp. 83–95. ISBN 978-0-201-89685-5.
- [Knu998] Knuth, D. *The Art of Computer Programming*, Volume 3: *Sorting and Searching*. 2nd ed. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1998, Section 5.4: External Sorting, pp. 248–379. ISBN 0-201-89685-0.
- [Kolm933] Kolmogorov, Andrey. *Foundations of the theory of probability*. New York: Chelsea Pub. Co., 1950 (1933), 71 p.
- [Koll974+ K llerstr m, J. Heavy Traffic Theory for Queues with Several Servers. *Journal of Applied Probability*. 1974, 11, pp. 544-552.
- [Korn998] Korn, G.A.; Korn T.M. *Mathematical handbook*. N.W.: McGrawHill, 1998.
- [Koro985] Королюк, В.С.; Портенко, Н.И.; Скороход, А.В.; Турбин, А.Ф. *Справочник по теории вероятностей и математической статистике*. М.; Наука, 1985. 640 с.
- [Kov022] Kovko, E. *Quicksort vs. Timsort*. Last updated: November 29, 2022. <https://www.baeldung.com/cs/quicksort-vs-timsort> (accessed 04.05.2025).
- [Kutz008] Kutzner, Arne; Kim, Pok-Son. Ratio Based Stable In-Place Merging. *Lecture Notes in Computer Science*. 2008, vol. 4978, pp. 246–257.
- [Law973] Lawler, E.L. Optimal sequencing of a single machine subject to precedence constraints. *Management Science*. 1973, 19, pp. 544-546.
- [Laz998] Lazarev, A. *Scheduling Theory and Applications*. 1998. Moscow: LMSU. 324 p.
- [Lee959] Lee, A.M.; Longton, P.A. Queueing Processes Associated with Airline Passenger Check. *Journal of the Operational Research Society*. 1959, 10, pp. 56–71.
- [Lee966] Lee, A. *Applied Queuing Theory*. New York: St. Martin's Press, 1966.
- *Lev'y954+Lev'y P. Proceesus semi-markoviens. In: *Proc. Int. Cong. Math.* Amsterdam, 1954, pp. 416–426.
- [Levi013] Levintin, A. *Introduction to Design and analysis of Algorithms*. 2nd ed. New Delhi: Pearson, 2013.

- [Lit961] Little, J.D.C. A Proof of the Queuing Formula $L = \lambda W$. *Operations Researc.* 1961, vol. 9, pp. 383-387.
- [Lor996] Lorterapong, P.; Moselhi, O. Project-network analysis using fuzzy sets theory. *Journal of Construction Engineering and Management.* 1996, vol. 122, no. 4.
- [Mai009] Mairesse, J.; Nguyen, H. T. Deficiency Zero Petri Nets and Product Form. Applications and Theory of Petri Nets. *Lecture Notes in Computer Science.* 2009, vol. 5606, p. 103.
- [Mal959] Malcolm, Donald G.; Roseboom, John H.; Clark, Charles E.; Fazar, Willard. Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation. *Operations Research.* 1959, vol. 7, no. 5, pp. 646–669.
- [Marc976] Marchal, W.G. An approximation formula for waiting times in single-server queues. *AIE Transactions.* 1976, 8, p. 473.
- [Mark906] Markov, A.A. Extension of the Law of Large Numbers to Dependent Events. *Bulletin of the Society of the Physics Mathematics.* 1906, 2, pp. 155-156.
- [Mars974] Marsh, E.R. The Harmonogram of Karol Adamiecki. *Academy of Management Proceedings.* 1974, 32.
- [Mati024] Maticiuc, L. *Teoria probabilităților. Teorie și aplicații.* Iași, 2024. 678 p.
- *Ma978+ Майоров, С.А.; Новиков, Г.И.; Алиев, Т.И. и др. *Основы теории вычислительных систем.* М.: Высшая Школа, 1978. 408 с.
- [McK981] McKenna, J.; Mitra, D.; Ramakrishnan, K.G. A Class of Closed Markovian Queueing Networks: Integral Representation, Asymptotic Expansions, and Generalizations. *The Bell System Technical Journal.* 1981, vol. 60, no. 5.
- [McK986] McKenna, J.; Mitra, D. Asymptotic Expansions for Closed Markovian Networks with State-Dependent Service Rates. *Journal of the ACM.* 1986, vol. 33, no. 3.
- [McL986] McLuckie, Keith; Barber, Angus. Binary Tree Sort. *Sorting routines for microcomputers.* Basingstoke: Macmillan, 1986. ISBN 0-333-39587-5. OCLC 12751343.
- [Med003] Medhi, J. *Stochastic Models in Queueing Theory.* 2nd ed. Amsterdam: Academic Press, 2003.

- [Mer013] *Mercurial repository of Octave source code. Lines 23-25 of the initial comment block.* Retrieved 18 February 2013. <https://www.octave.org/hg/octave> (accessed 03.02.2025)
- [Misc009+ Мишкой, Георгий. *Обобщенные приоритетные системы.* Chişinău: Ştiinţa, 2009. 209 p.
- [Mise931] Mises, R. *Wahrscheinlichkeitsrechnung.* Leipzig u. Wien: Fr. Deuticke, 1931.
- *Mi986+ Мизин, И.А.; Богатырев, В.А.; Кулешов, А.П. *Сети коммутации пакетов.* М.: Радио и связь, 1986.
- [Mol922] Molina, E. C. The theory of Probability as Applied to Telephone Trunking Problems. *Bell Systems Tech. J.* 1922, vol. 1, p. 68.
- [Moo968] Moore, J. M. An n job, one machine sequencing algorithm for minimizing the number of late jobs. *Management Science.* 1968, 15(1), pp. 102-109.
- [Mor019] Morgan, S.. Cybersecurity Ventures' 2019 Cybersecurity Market Report. *Cybercrime Magazine.* Jun. 10, 2019.
- [Mor020] Morgan, S. Cyberwarfare in the C-Suite. *Cybercrime Magazine.* Nov. 13, 2020.
- [Mun972] Muntz, R.R. Poisson departure processes and queuing networks. *IBM Res. Rep. RC-4145.* Yorktown Heights, NY: IBM Thomas J Watson Research Center, 1972.
- [Mus997] Musser, David R. Introspective Sorting and Selection Algorithms. *Software: Practice and Experience.* 1997, 27 (8), pp. 983–993.
- [Naw983] Nawaz, M.; Enscore, E.E.; Ham, I. A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flow-shop sequencing problem. *Omega.* 1983, vol. 11, issue 1, pp. 91-95.
- [Nyg981] Nygaard, K.; Dahl, O-J. The development of the SIMULA languages. In: *History of programming languages.* Academic Press, Inc., 1981, pp. 439-480.
- [O'De920] O'Dell, C.F. Theoretical Principles of the Traffic Capacity of Automatic Switches. *P. O. Elec. Engrs. J.* 1920, vol. 13, pp. 209-223.
- [Pap965] Papoulis, A. *Probability, Random Variables and Stochastic Processes,* 2nd Edition. New York: McGraw-Hill, 1965.

- [Pete021] Peters, O.R.L. *Pattern-defeating Quicksort*. arXiv:2106.05123v1 [cs.DS] 9 Jun 2021. <https://arxiv.org/pdf/2106.05123.pdf> (accessed 15.05.2023).
- [Peter002] Peters, Tim. [Python-Dev] Sorting. *Python Developers Mailinglist*, 20 July 2002. <https://mail.python.org/pipermail/python-dev/2002-July/026837.html> (accessed 28.06.2025).
- *Рetre972+ Петряков, Ю.А.; Ревельс, В.П.; Симонов, М.В. Метод анализа многоканальных двухполюсных систем связи. *Электросвязь*. 1972, N 3.
- [Petro025] Petrosyan, Ani. Annual cost of cybercrime worldwide 2018-2029. *Statista*, Jun 23, 2025. <https://www.statista.com/forecasts/1280009/cost-cybercrime-worldwide> (accessed 28.06.2025).
- [Pin016] Pinedo, M. *Scheduling - Theory, Algorithms, and Systems*. 5th ed. New York: Springer, 2016. 674 p.
- [Pol930] Pollaczek, F. Über eine Aufgabe der Wahrscheinlichkeitstheorie. I. *Mathematische Zeitschrift*. 1930, 32, pp. 64–100.
- [Pol930a] Pollaczek, F. Über eine Aufgabe der Wahrscheinlichkeitstheorie. II. *Mathematische Zeitschrift*. 1930, 32, pp. 729–750.
- [Pot000] Potts, C.; Kovalyov, M. Scheduling with batching: A review. *European Journal of Operational Research*. 2000, 120(2), pp. 228-249.
- [Ram967] Ramachadran, B. *Advanced theory of characteristic functions*. Calcutta: Statistical Publishing Society, 1967. 224 p.
- [Rei980] Reiser, M.; Lavenberg, S.S. Mean Value Analysis of Closed Multichain Queueing Networks. *J. Of the ACM*. 1980, vol. 27, no. 2, pp. 313-322.
- [Rei981] Reiser, M.; Lavenberg, S.S. Mean-value Analysis and Convolution Method for Queue-Dependent Servers in Closed Queueing Networks. *Performance Evaluation*. 1981, vol. 1.
- *Rer056+ Rényi A. Poisson-folyamat egy jellemzése. *Analele Institutului de Matematică al Academiei de Științe a Ungariei*. 1956, vol. 1, nr. 4, pp. 519-527.
- [Rep014] Replace "modified mergesort" in java.util.Arrays.sort with timsort. *JDK Bug System*. Retrieved 11 June 2014. <https://bugs.openjdk.org/browse/JDK-6804124> (accessed 07.03.2024).

- [Rob994] Robertazzi, T.G. *Computer networks and systems: queuing theory and performance evaluation*. New York: Springer-Verlag, 1994, 368 p.
- [Saa961] Saaty, T.L. *Elements of Queueing Theory*. New York: McGraw-Hill, 1961.
- [Sah022] Saha, S.; Sarkar, S.; Patra, R.; Bhattacharjee, S. New Sorting Algorithm - RevWay Sort. In: Mitra, M., Nasipuri, M., Kanjilal, M.R. (eds) *Computational Advancement in Communication, Circuits and Systems. Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2022, vol 786. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4035-3_18 (accessed 28.05.2024).
- [Sche967] Scherr, A.L. *An Analysis of Time-Shared Computer Systems*. MIT Press, 1967. 115 p.
- [Schr970] Schrage, L. An Alternative Proof of a Conservation Law for the Queue G/G/1. *Operations Research*. 1970, 18, pp. 185-187.
- [Schwe993] Schweitzer, P. J.; Serazzi, G.; Broglia, M. A survey of bottleneck analysis in closed networks of queues. Performance Evaluation of Computer and Communication Systems. *Lecture Notes in Computer Science*. 1993, vol. 729. p. 491.
- [Sed975] Sedgewick, R. Quicksort. *Stanford University, Stanford Computer Science Report STAN-C.S~75-492*, Ph.D. Thesis, May 1975.
- [Sed977] Sedgewick, Robert. The Analysis of Quicksort Programs. *Acta Informatica*. 1977, 7. pp. 327-355.
- [Sed998] Sedgewick, Robert. *Algorithms in C: Fundamentals, Data Structures, Sorting, Searching, Parts 1–4. 3th ed.* Pearson Education, 1998.
- [Sev981] Sevcik, K.C.; Mitrani, I. The Distribution of Queuing Network States at Input and Output Instants. *Journal of the ACM*. 1981, 28 (2), pp. 358-371.
- [She959] Shell, D.L. A High-Speed Sorting Procedure. *Communications of the ACM*. 1959, 2 (7), pp. 30–32.
- [Ski008] Skiena, Steven S. *The Algorithm Design Manual*. Springer, 2008, 129 p.
- [sli022] slice - Rust. [doc.rust-lang.org](https://doc.rust-lang.org/std/primitive.slice.html#method.sort). Retrieved 8 December 2022, <https://doc.rust-lang.org/std/primitive.slice.html#method.sort> (accessed 06.02.2024).

- [Smit956] Smith, W.E. Various optimizers for single-stage production. *Naval Research Logistics Quarterly*. 1956, Vol. 3, No. 1. pp. 59-66.
- [Sor020] *Sorting Algorithms Explained*. <https://www.freecodecamp.org/news/sorting-algorithms-explained/> (accessed 06.02.2025).
- [Sot010] Sotskov, Yu.N.; Sotskova, N.Yu.; Lai, T.-C.; Werner, F. *Scheduling under uncertainty: theory and algorithms*. Minsk: RUE "Publishing House Belorusskaya nauka", 2010. 326 p.
- [Stal995] Stallings, W. *Queuing analysis*. 2020, 30 p. <https://WilliamStallings.com/StudentSupport.html> (accessed 06.05.2024).
- [Stal997] Stallings W. *Local and Metropolitan Data Network*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1997. 603 p.
- [Swi019] Is sort() stable in Swift 5?". *Swift Forums*, 4 July 2019. <https://forums.swift.org/t/is-sort-stable-in-swift-5/21297/9> (accessed 06.08.2024).
- [Szt021] Sztrick, J. *Basic Queueing Theory*. University of Debrecen, 2021. 254 p.
- [Szw977] Szwarc, W. Optimal two machine orderings in the $3 \times n$ flow shop problem. *Operations Research*. 1977, 25, pp. 70–77.
- *Т'ki006] T'kindt, Vincent; Bill, Jean-Charles. *Multikriteria Scheduling: Theory, Models and Algorithms*. 2nd ed. Berlin: Springer, 2006. 369 p.
- [Tai993] Taillard, E. Benchmarks for basic scheduling problems. *European Journal of Operational Research*. 1993, 64 (2), pp. 278–285.
- [Tak962] Takacs, L. *Introduction to the theory of queues*. New York: Oxford University Press, 1962.
- *Тана975+Танаев, В.С.; Шкурба, В.В. *Введение в теорию расписаний*. М.: Наука, 1975.
- [Tana994] Tanaev, V.S.; Gordon, V.S.; Shafransky, Y.M. *Scheduling Theory. Single-Stage Systems*. Springer, 1994. 382 p.
- [Tane021] Tanenbaum, A.S.; Feamster, N.; Wetherall, D. *Computer networks*. 6th ed. Pearson Education Limited, 2021. 922 p.
- [Tann995] Tanner, M. *Practical Queueing Analysis*. New York: McGraw-Hill, 1995.
- [Tho969] Thomas, J.B. *An Introduction to Statistical Communication Theory*. New York: Wiley, 1969.

- [Tij981] Tijms, H. C.; Van Hoorn, M. H.; Federgruen, A. Approximations for the Steady-State Probabilities in the M/G/c Queue. *Advances in Applied Probability*. 1981, 13 (1), pp. 186–206.
- [Tok992] Tokuda, Naoyuki. An Improved Shellsort. In: *Proceedings of the IFIP 12th World Computer Congress on Algorithms, Software, Architecture*. Amsterdam: North-Holland Publishing Co., 1992, pp. 449–457.
- [Tom981] Tomko, J. On sojourn times for semi-Markov processes. In: *Proceeding of the 14th European Meeting of Statisticians*. Wroclaw, 1981.
- [Triv002] Trivedi, K. *Probability and Statistics with Reliability, Queuing, and Computer Science Applications*. 2nd ed. New York: Wiley & Son, 2002.
- [Vai023] Vaibnav, Khandelwal. *What is Merge Sort Algorithm: How does it work, and More*. 25.10.2023. <https://www.simplilearn.com/tutorials/data-structure-tutorial/merge-sort-algorithm#:~:text=Merge%20sort%20is%20one%20of,sublists%20into%20a%20sorted%20list> (accessed 21.04.2024).
- [Ven866] Venn, John. *The Logic of Chance*. London: Macmillan & Co., 1866. 550 p.
- [Wai022] *The State of Waiting in Line*. June 2022. <https://waitwhile.com/assets/pdf/waiting-in-line-consumer-survey.pdf?ref=waitwhile-blog> (accessed 28.12.2024).
- [Whi983] Whitt, W. The queueing network analyzer. *Bell System Technical Journal*. 1983, 62(9), pp. 2779–2815.
- [Will964] Williams, J. W. J. Algorithm 232 – Heapsort. *Communications of the ACM*. 1964, 7 (6), pp. 347–348.
- [Wils003] Wilson, James M. Gantt charts: A centenary appreciation. *European Journal of Operational Research*. 2003, 149 (2), pp. 430–437.
- [Wins004] Winston, W.L.; Goldberg, J.B. *Operations Research: Applications and algorithms*. 4th ed. Belmont: Brooks/Cole, 2004. 1434 p.
- [Wol982] Wolff, R.W. Poisson Arrivals See Time Averages. *Operations Research*. 1982, vol. 30, no 2.

- [Yan004] Yang, L.; Dantu, R.; Anderson, T.; Gopal, R. *RFC 3746 Forwarding and Control Element Separation (ForCES) Framework*. Internet Engineering Task Force, 2004. doi:10.17487/RFC3746.
- [Yas987] Yashkov, S. Processor-sharing queues: some progress in analysis. *Queueing Systems: Theory and Applications*. 1987, 2, pp. 1–17.
- [Zad965] Zadeh, L.A. Fuzzy Sets. *Information and Control*. 1965, vol. 8, pp. 338-353.
- [Zad978] Zadeh, L.A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*. 1978, pp. 13–28.