

MODELAREA MATEMATICĂ A REȚELOR TRANSPORTULUI PUBLIC DE PASAGERI



DRD. GHEORGHE AMBROSI,
BRANDEIS UNIVERSITY (MASSACHUSETTS, SUA),
UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

ÎN PREZENT OMENIREA SE CONFRUNTĂ CU EFECTELE FENOMENULUI URBANIZĂRII, UNA DIN CONSECINȚE FIIND CREȘTEREA NECESITĂȚILOR DE TRANSPORT. PLANIFICAREA ȘTIINȚIFICĂ A TRANSPORTURILOR ESTE PRIORITARĂ ÎN SPECIAL PENTRU SATISFACTAREA CALITATIVĂ A NECESITĂȚILOR DE DEPLASARE ZILNICĂ A POPULAȚIEI ÎN AGLOMERAȚIILE URBANE.

1. Introducere

Problema planificării optime a transporturilor publice de persoane în aglomerațiile urbane este dintre cele mai complexe și de mare actualitate științifică, preocupările privind starea, structura și funcționarea rețelelor de transport devenind subiecte de importanță vitală pentru orașe [1], [2], [3].

Actualmente, formularea problemei transportului în comun este diferită de abordările precedente datorită solicitărilor firești ale pasagerilor de a se deplasa în condiții de rapiditate, confort, economie, siguranță și protecție a mediului [1], [3].

Este de remarcat că în țările în tranziție municipalitățile direcționează 10-20% din bugetele anuale pentru acoperirea costurilor operaționale ale transportului public, populația orașelor cheltuieste cu transportul până la 15% din bugetul familiei, iar investițiile în dezvoltarea rețelelor de transport urban însumează circa 25% din totalul necesar unui oraș modern [4].

De peste 20 de ani planificarea științifică a transportului public în țara noastră stagnează. Struc-

turile responsabile nu se implică în planificarea sistemică a rețelelor de transport din cauza lipsei unor metodologii științifice naționale moderne și a pachetelor accesibile și ieftine de software pentru modelarea transporturilor. În cadrul elaborării planurilor urbanistice generale și a schemelor complexe de transport ale municipiilor și orașelor compartimentul organizării transporturilor publice intraurbane este abordat relativ superficial. În ultimul timp, interesul administrativ față de modernizările urbane și impactul acestora asupra utilizării terenurilor, transporturilor urbane și dimensionării mediului a crescut. Conexiunile între aceste domenii, realizate prin politici publice, conduc la realizarea unor strategii de dezvoltare urbană durabilă [5], [6], [7].

Metodele matematice sunt utilizate pe larg în încercările de a reduce complexitatea și a înlesni înțelegerea aspectelor funcționale ale structurilor urbane. Modelele teoretice contribuie la clarificarea principiilor prioritare ale dezvoltării urbane, totuși o parte însemnată a activității de modelare a devenit prea simplă în ceea ce privește ipotezele și prea abstractă pentru ca valoarea sa directă să fie utilă pentru fundamentarea deciziilor. Cu regret, multe metode analitice s-au îndepărtat treptat de la ideea unei dezvoltări coerente și nu mai scot în evidență consecințele negative ale planurilor de transformare a infrastructurii urbane [8], [9].

Prin urmare, sub aspect științific prezintă un inte-

res major perfecționarea metodelor de planificare a transporturilor de pasageri în orașe, elaborarea și aplicarea practică pe scară largă a unor metode adecvate, care să reproducă fidel caracteristicile funcționale și tehnologice ale sistemelor de transport urban și să asigure optimizarea rețelelor de transport în comun.

2. Formularea problemei. Condiții generale de proiectare a rețelelor de transport public

Chiar dacă între timp în acest domeniu s-au acumulat informații extrem de prețioase și au fost formulate valoroase generalizări științifice, o teorie analitică completă privind proiectarea rețelelor de transport public de pasageri, care să țină seama de complexitatea sistemelor și fenomenelor de transport, nu există până în prezent [1], [2], [10].

Formularea sumară a problemei proiectării rețelelor de transport este următoarea. Se cere ca pentru un oraș dat, pentru care se cunosc caracteristicile teritoriale, demografice, economice, sociale și de trafic, să se aprecieze cererea de transport public și să se proiecteze o astfel de structură (morfologie) a rețelei de linii de transport în comun de persoane

care să satisfacă integral, calitativ și în condiții de siguranță necesitățile de transport ale publicului călător și, în același timp, să asigure atingerea valorii optime a criteriului prestabilit de eficiență a sistemului proiectat [10], [11].

Bazele metodologiei moderne a planificării transporturilor urbane au fost puse în SUA, la mijlocul anilor 50 ai sec. XX [1]. Toate procedeele practice moderne de proiectare și corectare a rețelelor de transport public de pasageri aplică metodele euristice de sinteză și alegere a variantei optime prin compararea variantelor posibile de rețea de transport în baza criteriilor tehnico-economice de optimizare [8], [9].

Cererea de transport public Q_j^{nkr} este caracterizată cu categoria n de pasageri, locurile i de generație și j de destinație, genul k de transport public și linia (traseul) r utilizate de publicul călător și poate fi relativ ușor exprimată ca funcție de diverși parametri economico-sociali ai urbei [9].

Pentru o tratare unitară în studiul rețelelor de transport se utilizează procedura de zonificare a teritoriului urban (Fig. 1).

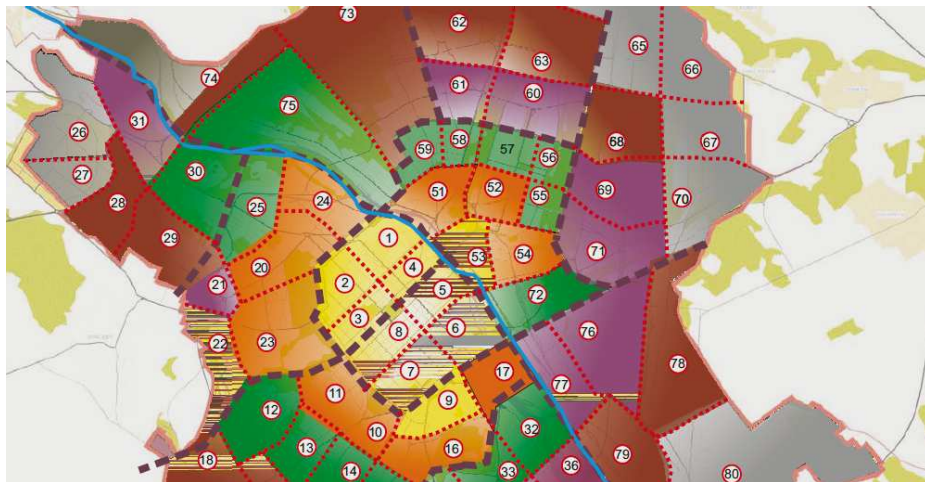


Fig. 1. Zonificarea orașului Chișinău

Pentru fiecare zonă distinctă se determină:

- populațiile totală și activă,
- numărul de locuri de muncă în zonă,

- structurile socială și pe grupe de vârstă ale populației,
- diverse alte informații utile pentru modelare.

Paradigmele științifice ale teoriei transporturilor stabilesc că rețelele de transport public de pasageri trebuie să corespundă următoarelor condiții generale [1], [10]:

- să satisfacă integral cererea reală de transport de persoane și să se suprapună cu exactitate diagramei fluxurilor urbane de pasageri (Fig. 2), să

genereze o astfel de distribuție a publicului călător în rețea, care să asigure deplasarea lui pe cele mai scurte drumuri, numărul minim de transferuri, timpul minim de transport și corespunderea intensității circulației cu capacitățile de transport ale arterelor urbane;



Fig. 2. Exemplu de diagramă a fluxurilor de pasageri (cererea de transport) în orele de vârf pentru condițiile sistemului de transport public al orașului Chișinău, pasageri/oră

- să asigure nivelul optim de coordonare în timp și spațiu a rețelei urbane cu transporturile extraurbane de orice gen în toate nodurile de transfer, precum și un nivel înalt de coordonare între genurile de transport intraurban în toate punctele rețelei proiectate;

- să prezinte un grad înalt de flexibilitate funcțională, astfel ca să nu necesite investiții și cheltuieli semnificative la corectarea rețelei din cauza modificării cererii de transport, intervențiile realizându-se cât mai operativ și fără să genereze disfuncționalități majore ale rețelei de transport;

- să asigure distribuția cât mai uniformă a fluxului de pasageri pe traseul fiecărei linii a rețelei de transport public în perioadele de vârf și pe toate orele zilei, precum și echilibrarea naturală a distribuției fluxului de pasageri pe linii, sectoare și genuri de transport public;

- să asigure valorificarea potențialului dinamic al vehiculelor și valorile maxime ale indicatorilor de viteză, să creeze premise pentru majorarea vitezei prin modificarea regimurilor de activitate la linie, cu excluderea din rețea a tuturor sectoarelor cu probleme cronice majore de circulație;

- morfologia rețelei de transport să poată fi optimizată conform criteriului general al cheltuielilor integrale de timp de deplasare a publicului călător în condiții de coliniaritate maximă a rețelei, număr minim de transferuri și frecvențe înalte de circulație;

- să admită optimizarea rețelei conform criteriului economic de exploatare, să minimizeze necesarul de personal operațional, parcursurile nule și neproductive, să genereze utilizarea maximă a capacității de îmbarcare a vehiculelor și nivelul înalt de confort;

- să asigure optimizarea rețelei conform cri-

terului de minim al investițiilor de capital în infrastructura rețelei proiectate.

Ca funcție obiectiv (criteriu tehnologic) de optimizare a rețelelor de transport public de pasageri servește minimumul cheltuielilor integrale de timp de călătorie a pasagerilor în sistemul proiectat, valoarea căruia se determină cu relația [11]:

$$C_T = \sum_{r=1}^u \sum_{s=1}^f Q_s t_{ar} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m Q_j (t_{dij} + t_{ij}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

în care: $r = 1, 2, \dots, u$ sunt liniile (rutele) care formează varianta analizată de rețea de transport;

$s = 1, 2, \dots, f$ - stațiile de oprire ale rutei r ;

Q_{sr} - numărul de călători în așteptare la stația s a liniei (rutei) r , pasageri;

t_{ar} - timpul mediu de așteptare a transportului la ruta r , în minute;

Q_{ij} - numărul de pasageri care se deplasează din zona i în zona j (cererea de transport), pasageri;

t_{dij} - timpul de deplasare a pasagerilor din zona i în zona j , în minute;

t_{ij} - timpul de transfer în nodurile rețelei pe relația dintre zonele i și j .

Proiectarea rețelelor de transport public de pasageri se bazează pe aplicarea procedurii clasice de calcul în patru pași, după cum urmează [1], [10]:

1) generarea călătoriilor (traficului) - pentru fiecare zonă a urbei se determină numărul total de călătorii, sosiri și plecări pe baza indicatorilor de mobilitate și datelor socio-economice aferente zonei respective;

2) distribuția călătoriilor – deplasările publicului călător sunt distribuite pe perechi de zone (i, j) în baza unui algoritm de calcul, constituindu-se matricea origine-destinație a urbei;

3) distribuția (splitarea) modală – călătoriile sunt distribuite în funcție de tipul de transport folosit pe baza unor curbe de distribuție modală, obținându-se matricea origine-destinație pentru fiecare mod de transport;

4) repartizarea traficului (afectarea rețelei) – este estimat volumul călătoriilor aferente modului de transport considerat pentru fiecare sens de circulație a arcurilor grafului stradal.

3. Modelarea matematică a rețelelor de transport public de pasageri

Modelarea matematică și simularea pe modele validate este unica soluție viabilă în cazurile în care experimentarea directă pe obiectul sau sistemul real nu este posibilă, principiu valabil și pentru rețelele de transport [1].

Modelul matematic este o reprezentare simplificată, dar suficient de fidelă pentru a fi utilă investigării entității modelate. Pe lângă reducerea complexității, modelul urmărește comprimarea timpului, minimizarea costurilor de evaluare a variantelor decizionale și evitarea situațiilor critice în sistemul real.

Un model reprezentativ este elaborat printr-un proces iterativ pornind de la un model cât mai simplu posibil, cu considerarea caracteristicilor fundamentale ale sistemului și în baza unor ipoteze simplificatoare argumentate.

Simularea reprezintă procesul practic de elaborare a modelului matematic al unui sistem real și realizarea de experimente cu acest model în scopul înțelegerii comportamentului sistemului și evaluării diferitor strategii de dezvoltare. În prezent, se constată o creștere a utilizării simulării în diverse domenii.

Simularea este în special valoroasă pentru problemele care nu pot fi abordate prin metode matematice analitice și pentru cele în care intervin mărimi probabiliste sau interacțiuni dinamice cu feedback [2], [10]. Simularea imită modul de lucru al unui sistem real prin generarea unei istorii artificiale și observarea acesteia pentru a determina dinamica funcțională a sistemului real.

Ciclul procesului complex de modelare și simulare a rețelelor de transport public de pasageri este prezentat în Fig. 3. Structural ciclul în cauză include opt etape de simulare pe model, anticipate de faze de colectare de date de intrare pentru modelare și alte proceduri pregătitoare. Conform consecutivității stabilite de simulare, fiecare etapă a ciclului prevede obținerea unor rezultate concrete, care ulterior sunt aplicate pentru modelare și pentru găsirea soluției optime.

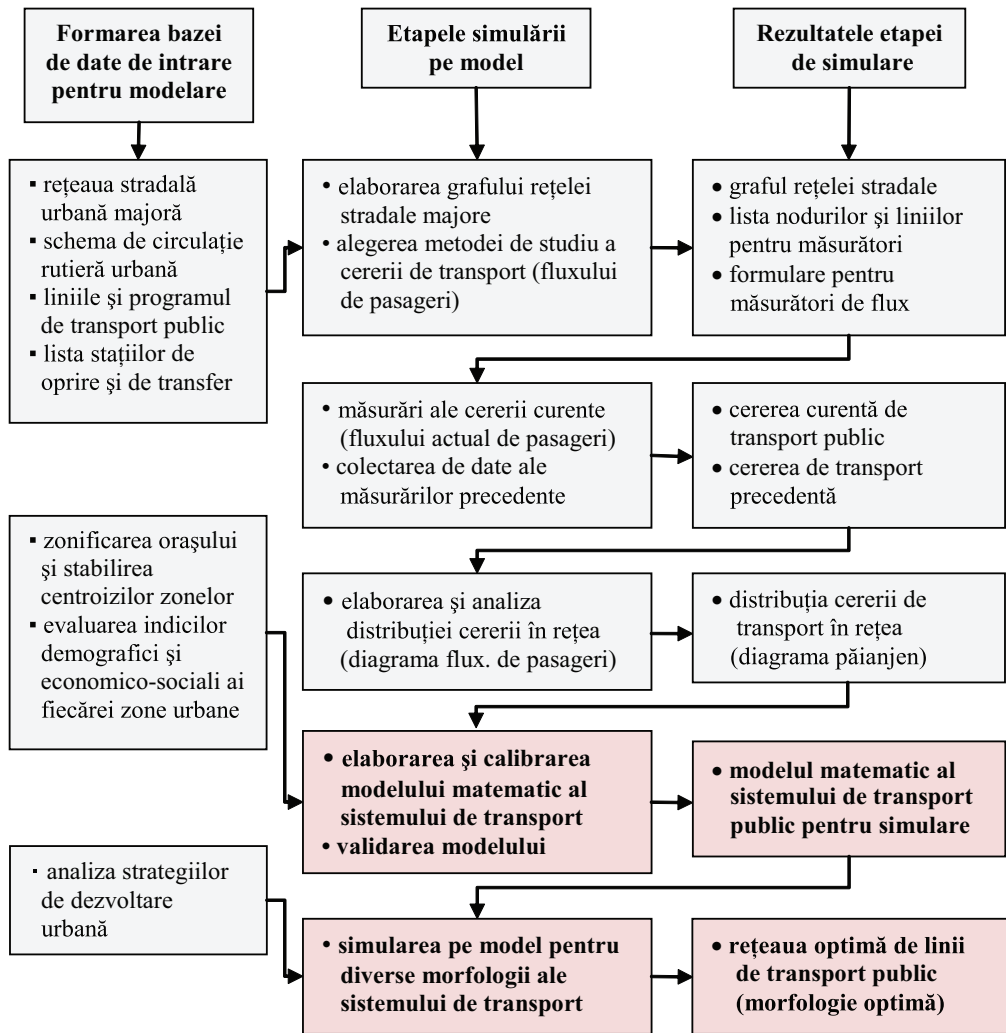


Fig. 3. Ciclu modelării rețelelor de transport public de pasageri

Datele inițiale necesare pentru simularea pe modelul elaborat [12] sunt:

- numărul de noduri ale rețelei stradale de transport (centrozii ai zonelor, vârfuri ale grafului), m ,
- matricea (graful) rețelei stradale de transport L_{ij} , cu componentele l_{ij} , km,
- matricea fluxului de călători (cererii de transport) Q_{ij} , cu componentele sectoriale q_{ij} , pas.,
- capacitățile unităților de transport public, q , locuri,
- timpii de transfer pentru fiecare nod de transport (vârf al grafului), t_{tx} min.,

- intervalul maxim admisibil de circulație a unităților de transport, l_{max} , min.,
- coeficientul neuniformității sosirii pasagerilor în stație, k_s ,
- intervalul de timp pentru care se efectuează calculul, T_c , min.,
- coeficientul de neuniformitate, k_n .

În continuare se expune esența ultimei etape a ciclului de modelare a rețelelor de transport public de pasageri – simularea pe model pentru diverse morfologii ale rețelei de transport.

Prima fază a calculului pe model constă în de-

terminarea drumurilor de lungime minimă. Pentru matricea (graful) rețelei stradale de transport L_{ij} (Fig. 4) cu ajutorul algoritmilor clasici (Kruskal, Dijkstra) sunt calculate cele mai scurte drumuri dintre nodurile rețelei analizate. Astfel, se obține matricea L_{ijmin}

cu valorile celor mai scurte drumuri dintre nodurile rețelei (centrozii zonelor), precum și matricea L_{ijtin} care indică pentru fiecare nod în parte vârfurile grafului prin care trece cel mai scurt drum.

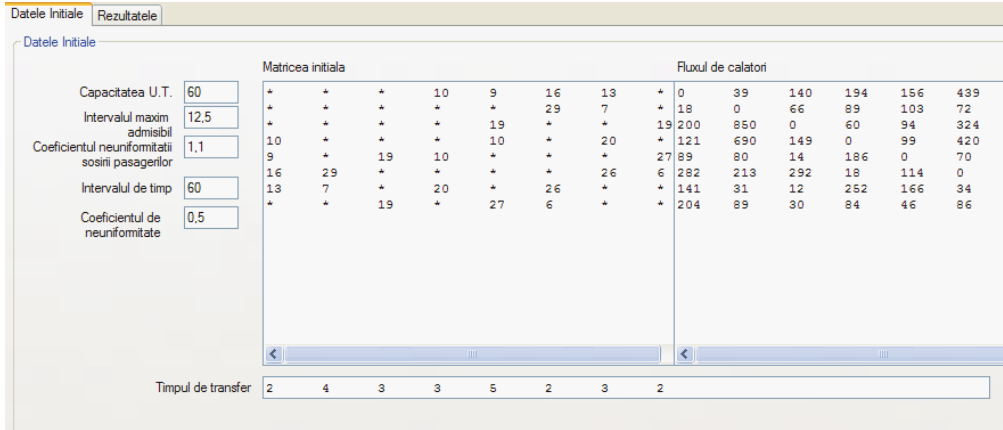


Fig. 4. Meniul programului elaborat în baza modelului [12]

A doua fază a sintezei rețelei de transport în comun constă în determinarea prin analiză combinatorie a listei liniilor inițiale, în care se includ toate combinațiile posibile de linii, în afară de rutele scurte, care unesc nodurile învecinate ale rețelei. Din lis-

ta liniilor inițiale, generate prin analiza combinatorie, se exclud unele rute pentru care nu se respectă un șir de condiții prestabilite [1], [10], astfel se obține prima parte a rețelei inițiale de linii de transport public (Fig. 5).

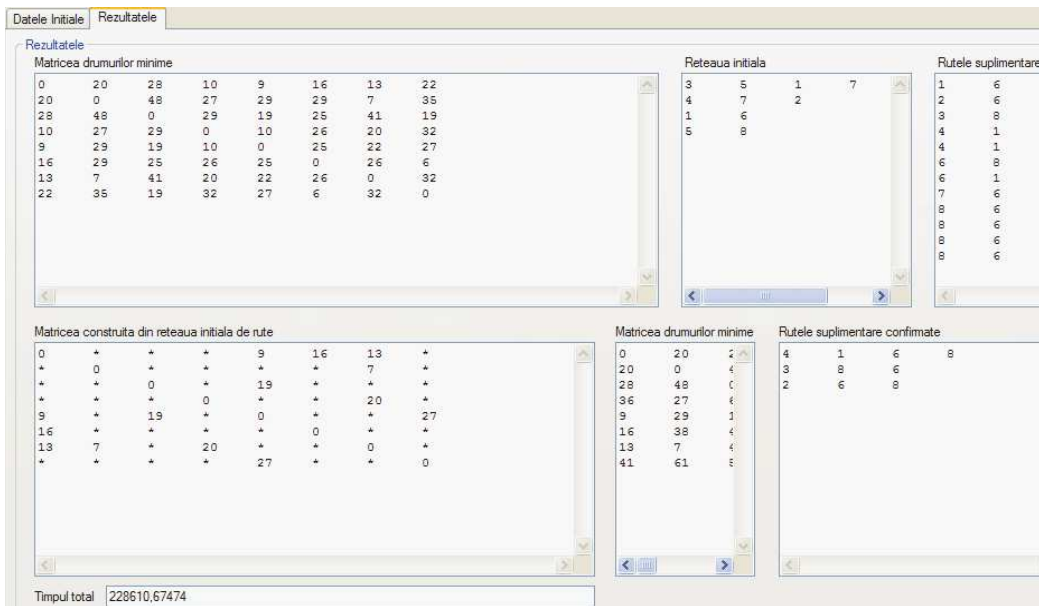


Fig. 5. Rezultatele unui experiment de simulare pe model

A treia etapă de calcul abordează problema sin-tezei listei de linii scurte, care unesc direct nodurile vecine ale grafului urbei, toate combinațiile de tra-see scurte posibile fiind verificate la condiția res-pectării valorii critice a intervalului de circulație în rețeaua proiectată.

Ca rezultat al analizei combinatorii, la etapele doi și trei este sintetizată rețeaua inițială de linii de transport în comun de persoane pentru zonificarea dată a urbei.

Eta pa a patra a modelării constă în controlul ra-ționalității introducerii în rețeaua inițială de linii a unor linii suplimentare, alese din lista celor excluse din analiză la etapa a doua de sinteză. Linia supli-mentară analizată poate fi inclusă în lista finală a rețelei dacă în urma simulării se constată micșora-rea timpului total de deplasare a publicul călători în rețea (minimizarea funcției obiectiv (1)).

Modelul prezentat în lucrarea de față a fost veri-ficat cu rezultatele de calcul pentru exemplele pre-zentate în monografiile de specialitate [10], [11]. Va-lidarea acestui model s-a realizat pentru condițiile planurilor de mobilitate urbană a unor orașe, reali-zate de compania Search Corporation în anii 2009 și 2010 în România, în baza celui mai performant soft pentru planficarea transporturilor - VISUM.

4. Distribuția călătoriilor. Elaborarea matricei "origine-destinație" a orașului

Un aspect dintre cele mai importante ale mode-lării rețelelor de transport public de pasageri constă în stabilirea distribuției călătoriilor pentru fiecare dintre perechile de zone ale orașului și elaborarea matricei "origine-destinație" a urbei analizate.

Cel mai utilizat procedeu determinist de aprecie-re a schimbului de călători dintre oricare două zone i și j ale unui oraș este modelul gravitațional, co-respondența în acest caz se determinată cu relația [10]:

$$Q_{ij} = k \cdot \frac{Q_i^\alpha \cdot Q_j^\beta}{R_{ij}^\gamma}, \text{ pasageri} \quad (2)$$

în care: Q_i, Q_j reprezintă populația zonelor i și, re-spectiv, j , în locuitori,

R_{ij} – funcția de rezistență, reprezentată cu valo-a rea dificultății comunicației dintre zonele i și j ,

α, β, γ – coeficienți empirici de calibrare a mo-

delului, determinați din măsurările fluxurilor de pasageri.

De obicei se adoptă $\alpha=\beta=1$, iar γ se calculează din datele măsurărilor și ia valori între 0,5 și 3,5 [10].

O categorie distinctă de metode de evaluare, bazate pe determinarea probabilistică a co-respon-denței de pasageri dintre zone, sunt modelele en-tropice.

Conform modelului entropic clasic, se obține:

$$Q_{ij} = Q_i \cdot Q_j \cdot P_{ij}, \text{ pasageri} \quad (3)$$

unde: P_{ij} este probabilitatea că deplasarea inițiată în zona i se va finaliza în zona j , considerând com-plexitatea deplasării și pornind de la ipoteza că de-plasările din zona i se distribuie pe destinațiile j în dependență de cota numărului de locuri de muncă (studiu, odihnă etc.) în sectoarele j din totalul re-spectiv de locuri.

$$P_{ij} = k_E \cdot \frac{Q_j}{\sum_{j=1}^m Q_j} \quad (4)$$

în care: k_E este coeficientul de echilibru, determinat prin calcul iterativ, și adoptă valori între 0,85 și 1,15.

În modelul [12] probabilitatea deplasării din zona i în zona j se poate calcula și cu metoda opor-tunității, care presupune că există o probabilitate constantă P ca o destinație să poată deveni scop al unei deplasări. Pentru aceasta, distanțele de la fiecare zonă la toate celelalte sunt ordonate de la cea mai apropiată "prima" - la cea mai depărtată "ultima". O deplasare până la "prima" zonă va avea probabilitatea P , la a doua $P(1-P)$, iar la a n -a $(1-P)^{n-1}$.

Practic, pentru a se repartiza Q_i călători din zona i către zona j este necesară ordonarea distanțelor de la zona i la toate zonele j . Pentru i dat, dacă nu-mărul de destinații posibile este m , iar numărul de destinații cuprinse între i și j este n , corespondența probabilă va fi:

$$Q_{ij} = Q_i \cdot e^{-Pn} \cdot (1 - e^{-Pm}) \text{ pasageri.} \quad (5)$$

Interesant este faptul că în acest model în calculul traficului nu contează valoarea distanțelor dintre zone, ci rangul pe care-l capătă acestea în șirul cres-cător al valorii lor.

5. Splitarea modală. Elaborarea matricei "origine-destinație" pentru genurile de transport

Etaapa de splitare modală, în cadrul modelului în patru pași de estimare a cererii de transport, clasifică matricea inițială "origine-destinație", obținută în urma repartiției pe destinații, în matricea "origine-destinație" corespunzătoare fiecărui mod de transport pe care utilizatorii îl au la dispoziție. Astfel, se obține proporția din totalul deplasărilor care, provenind dintr-o zonă de origine, i , se efectuează către o zonă de destinație, j , pentru un anumit motiv, când se utilizează modul de transport k .

Modelele cele mai simple de alegere modală simulează o alegere binară, tipică între mijloacele private individuale și cele publice, colective. Cele mai complexe consideră deplasările din zonele urbane efectuate: pietonal, cu bicicletă, în automobil ca un pasager, în automobil ca șofer, cu autobuzul, troleibuzul, microbuzul sau cu o combinație de diferite mijloace.

În teoria transporturilor se disting diverși factorii care determină modul de alegere a genului de transport de către publicul călător, dintre care sunt de menționat [1], [10]:

- caracteristicile funcționale și de confort ale genurilor disponibile de transport,
- statutul social-economic al pasagerului,
- caracteristicile procesului de deplasare.

Majoritatea metodelor empirice de splitare modală stabilesc ca criteriu principal de alegere a genului de transport durata deplasării, publicul călător alege ca regulă cel mai operativ mod de deplasare [3], [9]. Modelele empirice moderne iau în considerație statutul social-economic al pasagerului și caracteristicile procesului și traseului de deplasare, de exemplu criteriul Mihailov [11] de alegere a genului de transport k de către pasagerul p se determină cu următoarea relație:

$$K_{kp} = a_{1t} + a_{2t} \cdot L + \frac{(a_{3t} \cdot L + a_{4t})}{V_p}, \text{ ore} \quad (6)$$

în care: a_{1t} reprezintă pierderile de timp constante, care nu depind de lungimea traseului, ore,

a_{2t} – pierderi de timp variabile, care sunt funcție de lungimea L a deplasării, ore·km⁻¹,

a_{3t} – costurile operaționale variabile, care depind de lungimea traseului, lei-oră⁻¹·km⁻¹,

a_{4t} – costurile operaționale constante, care nu depind de lungimea deplasării, lei-oră⁻¹,

V_p – venitul mediu orar al pasagerului j , lei-oră⁻¹.

Cele mai moderne metode de alegere modală sunt modelele probabilistice, care au înlocuit cu succes modelele empirice [1], [11].

Structura cu z moduri de transport, des întâlnită în practica modelelor dezagregate este relativ simplă. Modelul logit multinomial, aplicat în [12] estimează probabilitatea alegerii unui anumit mod k de transport cu următoarea relație:

$$P_k = \frac{e^{-\mu C_{ij}}}{\sum_{k=1}^t e^{-\mu C_{kj}}}, \quad (7)$$

în care: C_{ij} este costul generalizat pentru efectuarea deplasării utilizând mijlocul de transport t ,
 μ - coeficientul modelului.

6. Aplicații practice ale modelării matematice a rețelelor de transport public

Scopul major al planificării transporturilor este de a integra armonios traficul și planificarea urbană. Modelul matematic a fost elaborat în particular pentru optimizarea practică a sistemelor de transport public în municipii și orașe, prioritar în capitala țării.

Având în vedere creșterea rapidă a motorizării private, un obiectiv de bază al modelării a fost recuperarea spațiului public, care în prezent se găsește într-o condiție necorespunzătoare. Strategia adoptată urmărește atragerea utilizatorilor autoturismelor spre transportul în comun, prin crearea unor noi niveluri de calitate și atractivitate a transportului public.

Aplicarea modelului matematic la condițiile rețelei de transport în comun a orașului Chișinău permite formularea următoarelor constatări și recomandări practice:

- rețeaua actuală de transport public a capitalei, din punct de vedere structural, tehnologic și funcțional, nu corespunde cu standardele minime de performanță și eficiență și necesită o reorganizare cardinală;
- sistemul de transport public al capitalei este supradimensionat și funcționează haotic și nesigur, fiind necesară micșorarea semnificativă a numărului de linii de transport în comun;

- infrastructurile stradale și tehnologică a liniilor de transport public nu corespund exigențelor moderne de calitate și siguranță și necesită îmbunătățiri;
- scenariile de reorganizare și perfecționare a rețelei de transport public trebuie să fie eșalonate în timp și structurate pe etape, astfel ca să se asigure corelarea cu posibilitățile financiare ale municipalității;
- planificarea transporturilor trebuie realizată reieșind din necesitatea obiectivă de coordonare sistemică a acestora nu doar în orașul Chișinău, ci integrat pentru aglomerația municipală, reieșind din rolul regional important al capitalei;
- în prezent fluxurile reale de pasageri în orele de vârf în orașul Chișinău, precum și prognozele de flux pentru perioada 2020-2025 nu argumentează necesitatea implementării proiectelor extrem de costisitoare de linii de tramvai de viteză înaltă;
- soluția optimă a configurației rețelei de transport este determinată de decizia administrației locale privind structura parcului de vehicule pentru transportul public;
- eficiența funcționării sistemului de transport public este puternic subminată de lipsa unui sistem modern de management al traficului rutier municipal.

REFERINȚE

1. ORTUZAR, J.D., WILLUMSEN, L.G., *Modelling Transport*. London: 2011, 608 p.
2. СЕМЕНОВ, В.В., *Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса*. Москва: Институт прикладной математики М. Келдыша. Предпринт 34. 2004, 44 p.
3. ВУКИЧ, Т., ВУКАН, Р., *Транспорт в городах, удобных для жизни*, Москва, Территория будущего, 2011, 413 с.
4. *Cities on the Move*. A World Bank Urban Strategy Review, Washington, 2002, 234 p.
5. *Planul Urbanistic General al orașului Chișinău*, 2007, 144 p.
6. *White Paper on transport - Roadmap to a single European transport area - Towards a competitive and resource-efficient transport system*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. 28 p.

7. Concluzii

Modelarea și simularea rețelelor de transport public de pasageri reprezintă cel mai modern și performant procedeu de optimizare a structurii și funcționării acestor elemente urbane vitale. Un model matematic adecvat oferă cele mai fiabile soluții de reorganizare și modernizare a sistemelor de transport în comun.

Ciclul de modelare și simulare, propus în lucrare, reflectă consecutivitatea logică general acceptată de analiză și sinteză a rețelelor raționale de transport public, adaptate la cererea reală de transport.

Modelul matematic utilizează cele mai moderne metode probabilistice de distribuție a călătoriilor și de repartiție modală, fiind validat cu planurile de mobilitate elaborate în baza celui mai performant soft modern.

Modelul matematic și softul elaborat pentru planificarea transporturilor urbane poate fi de un real folos pentru structurile specializate ale administrațiilor locale din municipiile Chișinău, Tiraspol, Bălți, precum și din alte orașe din țară.

7. AHRENS, G.A., *Sustainable urban transport plans*. București: Buletinul AGIR, nr. 4., 2009. p. 20-27

8. RAICU, S., *Strategii de dezvoltare integrată a modurilor de transport și de amenajare a teritoriului*. București: Buletinul AGIR, nr. 3., 2005. p. 32-40

9. BONSALL, P.W., ș.a., *Transport modelling: sensitivity analysis and policy testing*, Oxford, Pergamon Press, 1977, 198 p.

10. ЕФРЕМОВ, И.С., КОБОЗЕВ, И.М., ЮДИН, В.А., *Теория городских пассажирских перевозок*. Москва: Высшая школа, 1980. 535 с.

11. ГУДКОВ, В.А., ș.a., *Пассажирские автомобильные перевозки*, Москва: Горячая линия-Телеком, 2006, 448 с.

12. AMBROSI, Gr., AMBROSI, Gh., POROSEATCOVSCHII, V., *Contribuții privind modelarea rețelelor de transport public de persoane*. In: "Transport: economie, inginerie și management", Conferință UTM, Chișinău, 2012, p.16-19

REZUMAT

Prezenta lucrare abordează problematica complexă a modelării matematice și simulării pe modele a structurii rețelelor de transport public de pasageri în aglomerațiile urbane. Sunt formulate condițiile generale de proiectare și funcția obiectiv de optimizare a rețelelor de transport în comun. Este elaborat ciclul de modelare și simulare, modelul matematic și softul necesar pentru sinteza rețelilor optime de transport public, adaptate structural și funcțional la cererea reală de transport. Distribuția călătoriilor și splitarea modală sunt realizate prin metode probabilistice. Modelul matematic a fost aplicat pentru sinteza soluțiilor optime de reorganizare a rețelei de transport public a orașului Chișinău.

Cuvinte-cheie: transport, rețea, model, simulare, zonificare, diagramă, flux, optimizare, soft, distribuție.

ABSTRACT

This paper addresses the complex problem of mathematical modeling and simulation on models for the structure of public passenger transport networks in urban agglomerations. General conditions for networks design and the objective function for public transport networks optimization are formulated. The paper develops the modeling and simulation cycle, the mathematical model, and the software required for the analysis of optimal public transport networks adapted structurally and functionally to actual transportation demand. Trip distribution and modal split are realized using probabilistic methods. The mathematical model was applied for the analysis of optimal solutions for Chisinau's public transport network reorganization.

Keywords: transport, network, model, simulation, zoning, diagram, flows, optimization, software, distribution.