



EFICIENTIZAREA ACȚIUNILOR MILITARE UTILIZÂND TEORIA GRAFURILOR

INCREASING THE EFFICIENCY OF MILITARY ACTIONS THROUGH GRAPH THEORY

Lect. univ.dr. Florentina-Loredana DRAGOMIR*

O largă utilizare în organizarea, planificarea și optimizarea activităților desfășurate la nivelul structurilor de conducere o au metodele cercetării operaționale, printre care se numără și teoria grafurilor, care oferă o multitudine de algoritmi, metode, procedee, tehnici, având la bază un suport științific.

A wide range of operational research methods, including graph theory, which are made up of a lot of algorithms, methods, procedures, techniques, based on scientific support, can be used in the organization, planning and optimization of activities carried out at the level of management structures.

Cuvinte cheie: decizie militară; drum critic; teoria deciziei.

Keywords: military decision; critical path; decision theory.

În domeniul militar se folosesc metode ce urmăresc succesiunea activităților care limitează executarea unei anumite operații în funcție de anumiți factori, care pot fi: timp, resurse umane, resurse financiare și materiale etc. Activitățile care nu sunt pe drumurile critice nu pun probleme în ceea ce privește realizarea proiectului la termen. Totuși, dacă se fac redistribuiri de resurse, activitățile necritice pot deveni critice și viceversa.

Drumul critic atrage atenția managerului proiectului asupra acelor activități critice care trebuie îndeplinite strict conform planului și asupra cărora trebuie să se materializeze întregul efort material și intelectual, întrucât întârzierea oricărei activități de pe drumul critic provoacă întârzierea întregului proiect. Astfel, drumul critic previne echipa de management a proiectului asupra greutăților ce le vor întâmpina pe timpul desfășurării proiectului și totodată îl ajută să ia din timp măsuri pentru înlăturarea problemelor apărute.

Optimizarea activităților, prin metoda drumului critic, se realizează, în principal, prin executarea succesivă a următoarelor etape:

- identificarea activităților care se desfășoară pentru planificarea și organizarea acțiunilor pentru pregătirea unei misiuni, stabilirea responsabilităților și a duratei fiecărei activități;
- corelarea activităților desfășurate de statul major al unei unități (mari unități) cu cele ale eșalonului superior;
- ierarhizarea activităților, elaborarea graficului rețea și stabilirea în cadrul acestuia a *drumului critic*;
- analiza și refacerea graficului în vederea redistribuirii unor activități care se află pe drumul critic.

Ca rezultat al optimizării activităților, se va obține un *timp minim* necesar pentru realizarea misiunii. Dintre metodele teoriei grafurilor cea mai folosită metodă este (Critical Path Method) – metoda drumului critic.

Analiza prin grafuri a unor activități complexe presupune o ordonare a operațiilor în care intervin variabile ce influențează executarea acestora. Ordonarea constă în stabilirea în raport cu timpul a diverselor operații care compun activitatea care urmează să se execute. Practic, ordonarea presupune realizarea unui proiect care să reprezinte mulțimea

*Universitatea Națională de Apărare „Carol I”
e-mail: dragomir.florentina@myunap.net

operațiilor ce conduc la realizarea obiectivului propus.

Proiectul obținut în urma ordonării activităților se concretizează printr-un graf, în care arcele reprezintă activitățile, iar vârfurile, evenimentele. Prin evenimente se înțeleg momentele importante în care se realizează obiectivele parțiale ale proiectului, adică momentele în care se termină unele operații și încep altele. Evident, un proiect are un eveniment inițial și unul final.

Metoda drumului critic (CPM – Critical Path Metod) evidențiază interdependențele dintre evenimente și activitățile unui proiect în desfășurarea lui. Prin utilizarea acestei metode se stabilesc cu exactitate timpii necesari diferitelor activități și, odată cu acestea, măsurile legate de controlul executării lor pentru evitarea compromiterii proiectului.

Analiza drumului critic are ca obiectiv realizarea și conducerea unui proiect sau unei acțiuni complexe în vederea obținerii unei eficiențe maxime. Conducerea unui proiect presupune trei aspecte: programarea desfășurării în timp, controlul

Prin activitate se înțelege o parte dintr-un proiect care poate consuma timp, eventual resurse. Durata unei activități reprezintă timpul necesar pentru efectuarea ei; aceasta poate fi exprimată în orice fel de unități de timp.

Reprezentarea activitate-nod. Fiecare activitate se reprezintă printr-un nod. Arcele vor simboliza relațiile de precedență între activități.

Deci, structura unui proiect se reprezintă printr-un grafic rețea $G = (X, U)$ în care nodurile $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ semnifică activitățile proiectului, iar $\Gamma : X \rightarrow P(X)$ relațiile de precedență între activități.

Reprezentarea activitate-arc. Fiecare activitate se reprezintă printr-un arc a cărui orientare indică desfășurarea în timp a activității respective. Lungimea fiecărui arc, în general, nu este proporțională cu durata activității, înclinarea arcului are în vedere numai considerente grafice, pentru urmărirea ușoară a întregului grafic-rețea. Un arc este limitat prin două noduri care simbolizează evenimentele de început și de terminare a execuției.

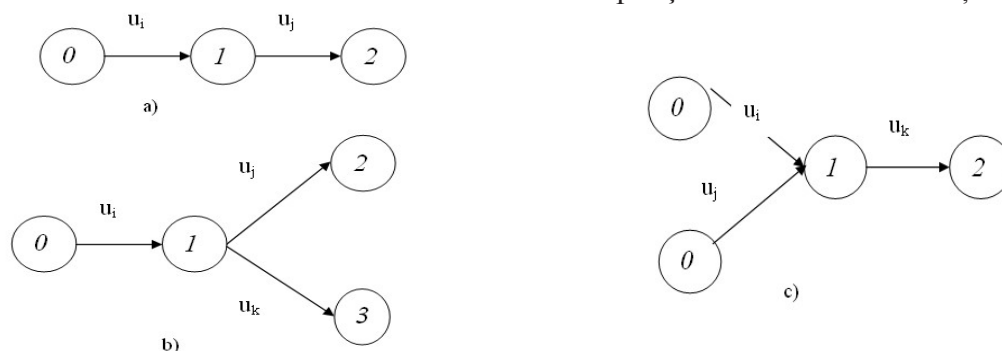


Fig. 1 Reprezentarea activităților

execuției activităților și reactualizarea proiectului (dacă este necesar).

Analiza drumului critic utilizează noțiuni elementare din teoria grafurilor, dispunând de procedee matematice specifice, care concură la identificarea drumului critic într-un graf.

Un proiect reprezintă o mulțime de activități înzestrată cu o relație de ordine numită relație de precedență directă.

Prin urmare, la un proiect trebuie să deosebim:

- o mulțime de activități, a căror executare permite realizarea proiectului;
- un proces tehnologic, care impune ordinea de execuție a activităților, adică determinată de relația de precedență.

În acest caz², graficul rețea se mai notează $G = (X, U)$, unde U este mulțimea arcelor, deci a activităților. Prin urmare o activitate se reprezintă prin perechea (x_i, x_j) .

În reprezentarea activitate-arc putem avea următoarele situații de precedență directă:

- 1) o activitate u_i este direct precedență activității u_j , $u_i \leq u_j$, fig. 1. a);
- 2) două sau mai multe activități u_j , u_k au aceeași activitate precedentă u_i ; $u_i \leq u_j$, $u_i \leq u_k$, fig. 1. b);



3) două sau mai multe activități u_i, u_j sunt precedente direct unei activități $u_k, u_i \leq u_k, u_j \leq u_k$, fig. 1. c);

Pentru a permite o reprezentare grafică a tuturor cazurilor de precedență se pot utiliza „activități fictive”, care sunt utile pentru a putea reprezenta precedentele activităților în structura proiectului.

Dacă avem o relație de precedență între două activități în graficul rețea trebuie să existe un drum care să treacă prin arcele corespunzătoare acestor activități.

Un grafic rețea este numerotat dacă se poate identifica fiecare dintre nodurile sale. Numerotarea ne permite să identificăm o activitate oarecare prin perechea nodurilor ce delimitează arcul corespunzător.

Vârfulurile se notează cu $x_i, x_i, i = 0, 1, \dots, n$, iar arcele cu (x_i, x_j) . Fiecărui arc i se atașează o valoare t_j care reprezintă durata corespunzătoare unei operații.

Deasupra arcului se poate scrie simbolul activității (A, B,), iar sub arc timpul de desfășurare a activității (t_j). Activitățile care necesită timp și resurse umane se numesc activități efective și sunt reprezentate prin linii continue, orientate și marcate cu simbolul activității și timpul mediu de execuție.

Activitățile fictive nu necesită resurse și nici timp, dar se introduc în graf pentru a reprezenta distinct activități care se execută în paralel, indiferent de natura lor. Activitatea fictivă se poate marca prin linie întreruptă, cu durata egală cu zero. Pentru o activitate fictivă, arcele trebuie să fie orientate de la activitatea cu timp mediu de desfășurare mai mic, către activitatea cu timp mediu de desfășurare mai mare, iar dacă timpii medii de desfășurare sunt egali, orientarea este oarecare. În graf mai putem identifica și activități de așteptare care nu necesită resursă, ci numai timp de așteptare, și anume timp necesar terminării activității anterioare sau care se execută în paralel.

Reprezentarea prin grafice-rețea a structurii unui proiect. Structura unui proiect poate fi redată printr-un graf orientat numit rețea sau grafic-rețea.

Vom nota graficul rețea prin $G = (X, \Gamma)$, unde X este mulțimea nodurilor, iar Γ o aplicație care indică ordinea de precedență a activităților. În

funcție de modalitatea de reprezentare a activităților unui proiect putem avea grafice rețea cu activități pe arce și grafice rețea cu activități în noduri.

Determinarea drumului critic

În graficul obținut se caută drumul de valoare maximă, dintre vârful x_0 și x_n . Acest drum coincide cu durata minimă de realizare a evenimentului x_n , în ipoteza că evenimentul x_0 începe la timpul $t = 0$. Căutarea drumului de durată maximă se explică prin faptul că această durată asigură realizarea tuturor activităților prevăzute în proiect.

Fiecărei activitate i se asociază anumite termene ce reprezintă momentele caracteristice de începere și de terminare ale activității.

Pentru a determina momentul realizării evenimentelor x_i se caută drumul de durată maximă între x_0 și x_i care este dat de suma valorilor arcelor acestui drum maxim, astfel: fiecărui vârf al grafului i se atribuie o valoare care reprezintă durata maximă a drumului din x_0 până în acest vârf. Drumul se alege din mulțimea tuturor drumurilor care pleacă din x_0 și ajung în vârful considerat.

Astfel, marcarea începe cu vârful x_0 căruia i se atribuie valoarea $t = 0$. Se pornește de la nodul inițial, x_0 , și se calculează, pentru fiecare activitate, având în vedere toate arcele care intră în nodul x_j (arcele incidente spre interior vârfului x_j), termenul

$$\text{minim, notat cu } t_j^0, \text{ cu ajutorul relației:}$$

$$t_j^0 = \max \{ t_i^0 + t_j \}$$

Deci, pentru fiecare dintre aceste arce, adăugăm la intervalul de timp afectat arcului pe cel afectat vârfului de origine al arcului; comparăm rezultatele și alegem valoarea cea mai mare pentru a o asocia vârfului considerat.

Termenul minim t_j^0 reprezintă timpul cel mai devreme în care se poate produce evenimentul x_j .

Dacă n este nodul final al grafului de rețea, atunci durata totală a proiectului este $T_n = t_n^0$.

După ce sunt marcate toate vârfulurile grafului cu valorile termenului minim t_j^0 se procedează la



marcarea vârfurilor grafului cu valoarea termenului maxim, notat t_i^l , calculate cu ajutorul formulei:

$$t_i^l = \min \{t_j^l - t_j\}$$

În acest caz se pornește de la nodul final către nodul inițial, având în vedere toate arcele care ies din nodul x_i (toate arcele incidente spre exterior vârfului x_i).

Termenul maxim t_i^l al evenimentului i este termenul cel mai târziu admisibil la care trebuie să se încheie activitățile care au nodul i ca nod terminal. Este evident că $T_n = t_n^0 = t_n^l$.

Calculul rezervelor de timp³

Pentru fiecare activitate ce se desfășoară se poate calcula:

- rezerva totală de timp $R_T(i, j)$;
- rezerva liberă de timp $R_L(i, j)$;
- rezerva independentă de timp $R_I(i, j)$.

În mod deosebit ne interesează rezerva totală de timp notată $R_T(i, j)$ ce reprezintă timpul maxim cu care se poate mări durata activității sau se poate întârzia începerea acesteia în funcție de cel mai scurt timp posibil de începere a activității, fără a depăși timpul critic de îndeplinire a proiectului, adică fără a se modifica valoarea drumului critic.

Se determină cu relația:

$$R_T(i, j) = t_j^l - (t_i^0 + t_j)$$

Dacă $R_T(i, j) = 0$ rezultă că operația este critică.

Rezerva liberă de timp se notează cu $R_L(i, j)$. Aceasta reprezintă valoarea maximă admisibilă a duratei activității respective, care nu trebuie să afecteze rezerva de timp a activității următoare. Se calculează cu relația:

$$R_L(i, j) = t_j^0 - (t_i^0 + t_j)$$

Rezerva de timp independentă, notată cu $R_I(i, j)$ constituie cantitatea de timp maximă admisibilă cu care poate fi mărită durata activității sau poate fi întârziată începerea acesteia, astfel încât să nu se modifice termenul minim de începere a activității următoare. Se calculează cu relația:

$$R_I(i, j) = \max \{0, t_j^0 - t_i^l - t_j\}$$

Activitățile necritice au rezerve de timp, adică permit decalarea termenelor de începere. La activitățile necritice, existența rezervelor de timp dă posibilitatea să se manevreze liber resursele interne pe seama măririi duratei de îndeplinire a unor activități necritice (în limita rezervelor de timp) și prin aceasta, să se urgenteze îndeplinirea activităților critice.

O activitate critică îndeplinește simultan următoarele condiții:

$$1) t_i^0 = t_i^l \text{ și } t_j^0 = t_j^l$$

$$2) R_T(i, j) = t_j^l - t_i^0 - t_j = 0, \text{ unde } R_T(i, j)$$

este rezerva totală de timp.

Drumul critic va fi format din activitățile critice rezultate din analiza efectuată, având la bază

timpii caracteristici (egalitatea termenul minim t_j^0

cu termenul maxim t_i^l) și rezerva totală de timp $R_T(i, j) = 0$.

Deci, un drum critic este o succesiune de activități critice, care formează un drum între nodul inițial și nodul final al graficului rețea, a căror execuție este obligatorie în termenul stabilit, deoarece nu dispun de rezervă de timp. Toate celelalte drumuri care sunt mai scurte, se numesc drumuri necritice. Drumurile foarte apropiate ca durată de valoarea timpului critic se numesc drumuri subcritice.

Drumul critic între x_0 și x_n conduce la determinarea drumului care asigură realizarea în timp optim a proiectului, cu durata cea mai mică, în care toate activitățile sunt executate.

Lungimea drumului critic reprezintă durata totală de execuție a proiectului. Durata calculată în acest mod este cea mai scurtă în condițiile date, întrucât nu este posibilă realizarea proiectului într-un timp mai scurt decât cel rezultat din drumul critic.

Determinarea corectă a drumului critic permite conducerii să determine activitățile în care ar fi indicat să se folosească eventualele rezerve de forțe și materiale ca și asupra momentului folosirii lor.

Aplicarea metodei drumului critic (CPM – Critical Path Metod) pentru un anumit tip de problemă implică stabilirea cu precizie a timpilor necesari diferitelor activități, precum și conexiunile și interdependențele dintre evenimentele și



activitățile ce conduc la realizarea problemei respective. Astfel, pentru fiecare activitate se stabilește o *durată precis determinată* pe baza experienței dobândite sau a unor normative.

Pentru exemplificarea determinării *drumului critic*, se răspunde nevoilor unei organizații militare ce dorește eficientizarea derulării unei misiuni ale cărei activități sunt precizate în tabelul nr. 1.

Tabelul nr. 1 prezintă conținutul activităților, simbolul activității, relația dintre activități, precum și durata corespunzătoare fiecărei activități.

1. *Analiza obiectivului de îndeplinit*

Este activitatea care se desfășoară și aparține ofițerului de stat major și specialiștilor militari în probleme ce urmează să fie rezolvate cu ajutorul metodei CPM.

2. *Elaborarea graficului rețea*

Se întocmește un graf în care sunt considerate evenimentele ca vârfuri, iar activitățile, ca arce. Pe baza conținutului tabelului nr. 1 s-a definit structura grafului asociat activităților și a relațiilor dintre

Tabelul nr. 1

CONȚINUTUL ACTIVITĂȚILOR

Nr. crt.	Conținutul activității	Simbol activitate	Activitate direct precedentă	Durăta activitate (minute)
1	Primirea misiunii	nodul x_0	-	-
2	Înșușirea misiunii. Informarea comandantului	A	-	30
3	Analiza misiunii și reformularea acesteia. Îndrumarea planificării	B	A	150
4	Estimările statului major	C	B	60
5	Elaborarea cursurilor de acțiune. Selectarea cursului optim de acțiune	D	B	360
6	Elaborarea concepției managerului	E	C	240
7	Pregătirea planului de operații	F	D, E	180
8	Pregătirea ordinului de operații	G	D, E	240
9	Analiza factorilor de risc	H	G	160
10	Aprobarea planului și a ordinului de operații	I	F, H	30
11	Gata de luptă	nodul x_7	I	

În continuare, lucrarea prezintă *etapele* ce implică determinarea drumului critic. Printre acestea enumerăm analiza obiectivului, elaborarea grafului de rețea și calculul parametrilor grafului⁴:

activități, prezentat în fig. 2., la care s-a notat cu literele mari ale alfabetului activitățile parțiale, iar cu valori numerice timpul mediu de realizare corespunzător fiecărei activități parțiale.



Se constată cu ușurință că reprezentarea sub forma grafului de rețea (fig. 2) este mult mai expresivă decât descrierea prin tabelul de activități (tabelul nr. 1).

3. Calculul parametrilor graficului

Se calculează următoarele termene caracteristice:

Pentru calculul termenului minim se aplică relația $t_j^0 = \max \{t_i^0 + t_j\}$, pornindu-se de la nodul

$$t_i^1 = \min \{t_j^1 - t_j\}$$

4. Identificarea activităților critice

Din analiza timpilor caracteristici (fig. 4) și a rezervei totale de timp $R_T(i, j) = t_j^1 - (t_i^0 + t_j)$, tabelul nr. 1, se vor identifica activitățile critice, prin îndeplinirea simultană a condițiilor:

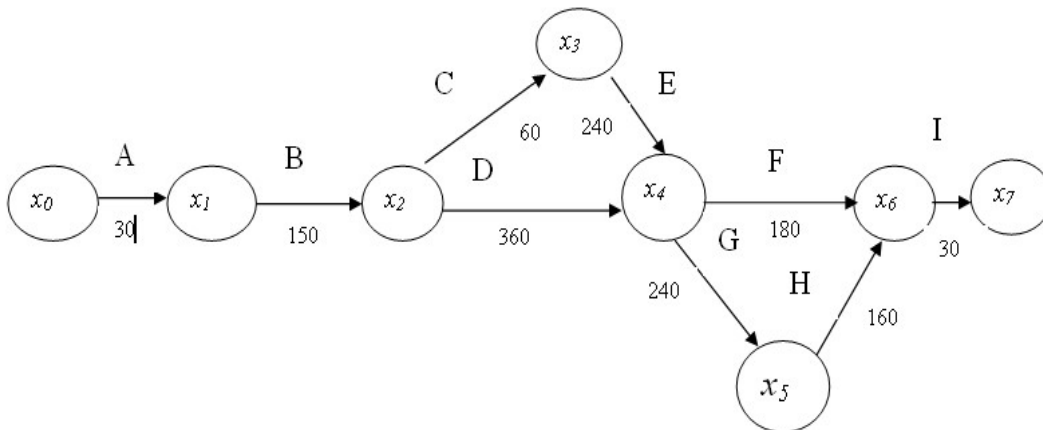


Fig. 2 Graful de rețea asociat activităților

inițial, având în vedere toate arcele care intră în nodul x_j , astfel:

- 1) $t_i^0 = t_i^1$ și $t_j^0 = t_j^1$
- 2) $R_T(i, j) = t_j^1 - t_i^0 - t_j = 0$

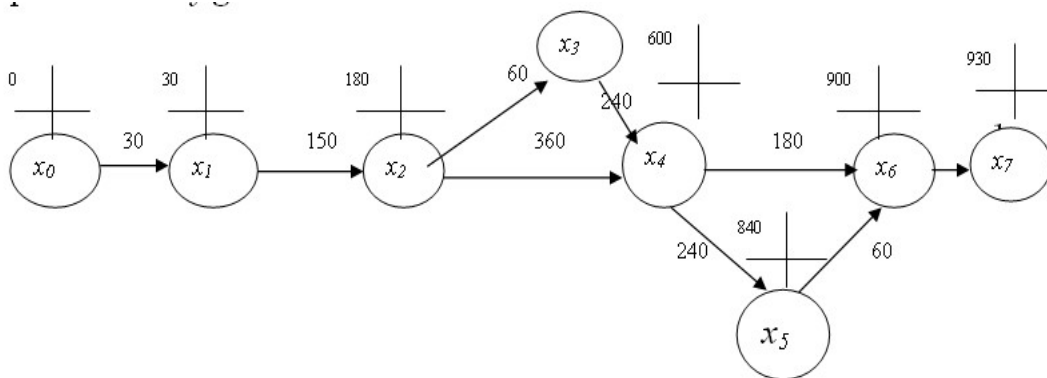


Fig. 3 Graful de rețea corespunzător încărcării minime

Pentru calculul termenului maxim se aplică relația $t_i^1 = \min \{t_j^1 - t_j\}$, pornindu-se de la vârful final, pentru toate arcele care ies din vârful x_i , astfel:

Calculul rezervei de timp ne oferă indicii despre traiectoria drumului critic.

$$R(2,3)=0; R(2,4)=180; R(4,6)=140; R(4,5)=0.$$

Astfel, rezultă drumul critic, care este reprezentat în fig. 5 prin arce boldite. Pe drumul critic nu apar rezerve de timp.

Pe drumul critic nu apar rezerve de timp.

Astfel, rezultă drumul critic (fig. 5) care este reprezentat de succesiunea nodurilor $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ are durata minimă

management al acțiunii militare înainte de începerea activităților; pe timpul executării acestora, metoda drumului critic permite un control permanent al desfășurării execuției.

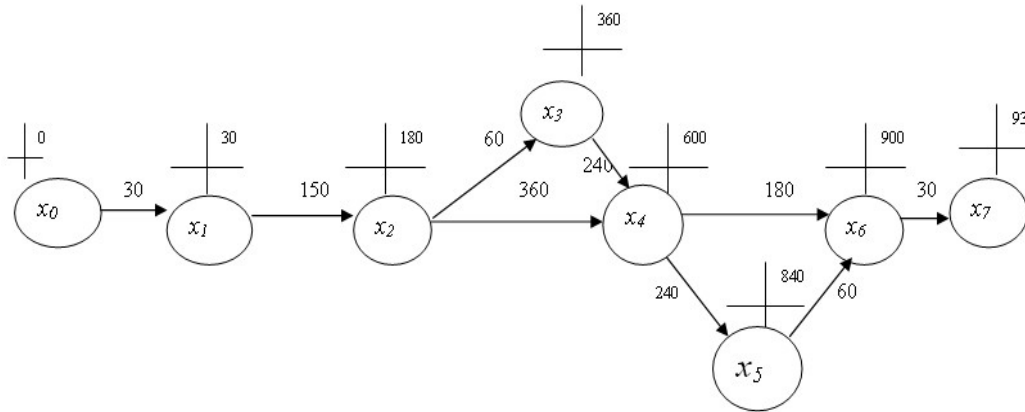


Fig. 4 Graful de rețea corespunzător încărcării maxime

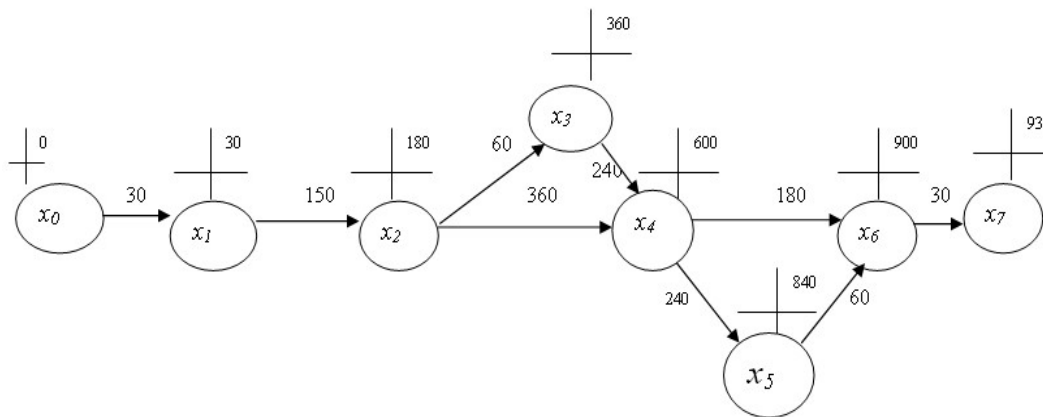


Fig. 5 Drumul critic (arce boldite)

de realizare dată de lungimea drumului critic $30+150+60+240+240+60+30=810' = 13h 30'$.

Concluzii

Pentru a putea stabili o structură și un comportament cât mai corect pentru un sistem militar conflictual este necesar să se țină seama de cât mai mulți factori, ceea ce, din cauza numărului mare al acestora și a posibilităților tehnice actuale, este destul de dificil. Astfel, metoda drumului critic servește la stabilirea eficientizării procesului de

Dacă durata activităților ce compun procesul de management al acțiunii militare determinată cu ajutorul drumului critic nu coincide cu valoarea planificată (este mai mare), este inutil să se încerce accelerarea activităților necritice pentru a micșora această durată.

Metoda permite întocmirea, coordonarea și controlul execuției programelor și dă posibilitatea, pe baza cunoașterii în fiecare moment a stadiului operațiilor, să se ia măsurile corespunzătoare de normalizare a lucrărilor.



NOTE:

1 A. Kaufmann, G. Desbazeille, *Metoda drumului critic*, Editura Tehnică, București, 1972.

2 Titus Lupescu, *Metodele determinării drumului critic în planificarea și conducerea proceselor complexe*, Editura Militară, București, 1969.

3 A. Kaufmann, G. Desbazeille, *Metoda drumului critic*, Editura Tehnică, București, 1972.

4 G. Alexandrescu, *Elemente ale teoriei grafurilor cu aplicații în domeniul militar*, Editura Universității Naționale de Apărare „Carol I”, București, 2016.

BIBLIOGRAFIE

Alexandrescu G., *Elemente ale teoriei grafurilor cu aplicații în domeniul militar*, Editura Universității Naționale de Apărare „Carol I”, București, 2016.

Dumitru Vasile, Rugină N., Stoian I., *Modelarea matematică a acțiunilor militare*, Editura Diagonal, Bacău, 2002.

Filip Florin Gheorghe, *Decizia asistată de calculator*, Editura Tehnică, București, 2002.

Kaufmann A., Desbazeille G., *Metoda drumului critic*, Editura Tehnică, București, 1972.

Lupescu Titus, *Metodele determinării drumului critic în planificarea și conducerea proceselor complexe*, Editura Militară, București, 1969.

Owayjan Michel, Dergham Amer, Haber Gerges, Fakih Nidal, Hamoush Ahmad, Abdo Elie, *Face recognition security system*, in "New Trends in Network-ing, Computing, E-learning, Systems Sciences and En-gineering", Springer, 2015.

Yi Sun, Ding Liang, Xiaogang Wang, Xiaou Tang, *DeepID3: Face Recognition with Very Deep Neural Networks*, February 2015.