

# ТЪЛ И СНАБЖЕНИЕ СОВЕТСКИХ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ

## A csapatszállítások tervezése, optimális módszerei

*Irtta: R u g y e n s z k i j Z. mk. ezds.*

*Fordítás a Til i Szabzsényije 1978. évi 6. számból*

A gazdasági-matematikai módszereket a szállításban csak az 50-es évek végétől alkalmazzák. A szovjet matematikusok csak típus feladatokat és modelleket dolgoztak ki. A gazdasági-matematikai módszerek a kibernetikával együtt való alkalmazása a SZU-ban csak napjainkban lett általánosan elismertté.

A gazdasági-matematikai módszereknek a szállításban három fejlődési és alkalmazási szakaszát lehet megjelölni.

Kezdetben a szállítások optimális terveinek a megállapítására a lineáris programozás és a modell módszereit alkalmazták, amelyekben a feladatok feltételei a kiegyenlítő és az egyenlőtlenség rendszere által lettek kiírva. Ezeknek a módszereknek az alkalmazása már az első tapasztalatok alapján élénk érdeklődést váltottak ki a szakemberek körében, azért mert lehetővé tették a szállítási gazdasági kapcsolatok optimalizálásának végrehajtását az országban, valamint a szállítások azon sémájának a kiválasztását, amely maximális népgazdasági hatást ad. A lineáris programozás módszerei ma is a legkedvezőbbek azokban az esetekben, amikor konkrét szállítási feladat megoldásában kell döntést hozni.

A második periódust (a 60-es évek végéig) a nem lineáris és dinamikus modellek kidolgozása és alkalmazása jellemzik, amelyek jobban tükrözik a valódi szállítási folyamatokat és mintegy 7-8%-kal emelik a tervezett döntések hatásfokát. Minél nagyobb méretűek a megoldandó feladatok, annál fontosabb a lyukszalagos programozásról való áttérés végrehajtása a nem lyukszalagosra.

A harmadik periódus – korszerű. Mivel nagyobb fejlődést kapnak a matematikai módszerek, amelyek lehetővé teszik a meghatározatlanság és a valószínű tényezők hatásának figyelembevételét a szállításokra.

Kidolgozzák és megvalósítják a tervezés és az irányítás automatikus rendszerét, többek között az automatizált vezetési rendszer ágazatait a vasúti, tengeri, folyami, gépkocsi, légi és csővezetékes szállításokban, valamint a tervezési számvetések automatikus rendszerét a szállításokban a SZU Állami tervezésének tervszámvetési automatizált rendszere állományában. Ilyen rendszereket hoznak létre most szervezési, információs és módszertani egység elvei alapján, ezek funkcionálása és komplex, szisztematikus megközelítései a szállítási folyamatok modellkésztésének.

Jelenleg állami, minisztériumi szinten sok olyan nehéz szállítási feladatok kidolgozását oldják meg az elektromos számítógépek segítségével, melyeket korábban kézzel csináltak.

Kezdenek elterjedni a gazdasági-matematikai módszerek a csapatszállítások tervezésében is.

A szállítási szervek időben kielégítik a katonai szervek igényléseit, habár ezek nem mindig átgondoltak. Vannak nálunk esetek, amikor szándékosan ésszerűtlen, rövidtávú, ismétlődő szállításokat terveznek, nem eléggé analizálják a szállítási tervet, pontatlanul állapítják meg a követelményeket.

Ezzel együtt az ésszerű szállítás és az eszközökkel való takarékoság megvalósítása optimális tervezési döntések meghozatalával lehetséges, amelyek keresése a gazdasági-matematikai módszerekkel van kapcsolatban.

Amint a gyakorlatok tapasztalatai megmutatják ezeknek a módszereknek az alkalmazása akkor különösen nagy hatású, amikor a gyakran változó helyzetben a sürgős és nagytömegű katonai szállítások sikere érdekében gyorsan kell korrigálni a terveket, a szállítási folyamatokat az egyik irányból a másikba átkapcsolni, különböző helyesbítő intézkedéseket elgondolni és végrehajtani.

Bármilyen esetben elsősorban a feladat tisztázást kell végrehajtani, vagy más szavakkal, meghatározni a feladat operatív felállítását. E körben emlékezni kell arra, hogy a döntés módszerének a kiválasztása közvetlenül a konkrét feladat lényegétől függ. Valójában milyen szállításokról is van szó? Milyen tagozatban kell ezeket végrehajtani? Stabilak-e a kiinduló és a fogadó pontok, vagy azok áttelepülnek a szállítások végrehajtásának a folyamán? Egy vagy több fajta szállítás szerepel? Egyes szállításokat, vagy azok összességét tervezik-e, mikor tekinthető szállítási hálózat teljesen leterheltnak, figyelembe véve a szállítások összes fajtáját? Egy, vagy többféle terhet kell szállítani? Milyen tervet kell kidolgozni: operatívát, vagy perspektívét? Milyen speciális feltételeket és korlátozásokat kell figyelembe venni?

A feladattisztázás függ az ezekre, vagy az ezekhez hasonló kérdésekre adott válaszoktól. És íme a feladat operatív felállítása meg van fogalmazva, hozzá lehet kezdeni a megoldás módszerének a kiválasztásához.

Ha például meg kell keresni az optimális tervét az üzemanyag két raktárból három rendeltetési helyre való szállításának – ez hat ismeretlen nagyság meghatározását jelenti, amikor mint egyenlőséget csak ötöt lehet összeállítani. De már négy feladó pont és öt rendeltetési pont esetén a szállítás 20 keresett terjedelmét kell megállapítani, felállítani, amikor is lehetőség van összesen 9 egyenlet összeállítására. Ilyen feladatokat nem lehet megoldani algebra segítségével, itt már a lineáris programozást kell alkalmazni, ha a szállítások terjedelme és a szállítási költségek lineáris függvénnyel vannak kapcsolatban.

„Szállítási költségen” az üzemanyag szállításának költségét értjük rubelben a feladási pont „i” és a rendeltetési pont „j” között. A két pont közötti távolságot kilométerben, a gördülőanyag menetidejét órában vagy napokban, végül a szállítás munkáját tonna-kilométerben mérjük. A fajlagos szállítási költséget mindig így jelöljük  $C_{ij}$ , az összesítettet az alábbi formula szerint számítjuk.

$$C = \sum_{ij} C_{ij} X_{ij}, \text{ ahol az } X_{ij} \text{ a szállítás tervezett terjedelme meghatározott}$$

két pont között. Ilyen formulát célfüggvénynek nevezünk. A feladatot az optimumkritérium alapján oldják meg, amely kifejezi a célfüggvény minimumának a feltételeit.

Meg kell jegyezni, hogy a megoldás menetének a leírása néhány oldal is lehet még kevés számú feladó és rendeltetési pont esetén is. Viszont a szállítások optimális terve az ESZG-n néhány percben megtalálható.

A gyakorlatban a szállítási feladatok gazdasági-matematikai módszerrel való megoldásának két alapvető fajtája van: matrix és hálós felállítás.

A matrix-ban (táblázatban) a feladat feltételeit jelölik: a feladási és a rendeltetési pontokat, a feladó pontokon a szükséges teher megléte, a rendeltetési pontokon az igény, valamint a szállítási költség mutatói a pontok közötti egészségügyi teher szállításakor.

Ezeknek az adatoknak az alapján összeállítják a szállítási tervének első-kezdő variánsát, amelyet aztán állandóan javítanak, amíg nem találják meg az optimális megoldást.

Nehezebb megoldani a sokindexes szállítási feladatokat. Például össze kell állítani a különböző terhek szállításának optimális tervét a teherfajták indexeivel  $r_1, r_2$  stb. (az indexek száma  $r = \delta_1$ ) különböző szállítási fajták, amelynek indexe  $K_1, K_2$  stb. (a szállítási fajták száma  $= \delta_2$ ), és a szállítóeszközök típusai felhasználásával, amelynek indexe  $\Phi_1, \Phi_2$  stb. (a szállítóeszközök típusainak a száma  $= \delta_3$ ), kiindulva az „ $i$ ” ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) pontokból feladott különböző terhek meghatározott terjedelméből, továbbá az eljuttatásából a „ $j$ ” ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) pontokra, a  $k$  fajta szállítóeszközök  $\varphi$  típusú gördülőanyaga meglétének a figyelembevételével ( $N_{k\varphi}$  a  $k$  fajta szállítóeszközök típusú gördülőanyagában a fajlagos szükséglet az  $r$  fajta teher egységnyi részének az átszállításához az  $i$  pontról a  $j$  pontra ( $P_{ijrk}$ ), ismerve a megfelelő szállítási költséget is ( $C_{ijrk\varphi}$ ).

Ilyen terv összeállítása azt jelenti, hogy meg kell találni a szállítások volumenének optimális értékét ( $X_{ijrk\varphi}$ ), ugyanakkor számításba kell venni a szállítási fajták szállító képességét és gazdaságosságát.

E célból az egyenlőségek és az egyenlőtlenségek segítségével a feladat következő feltételeit kell kifejezni:

- minden  $j$  pont igénye (szükséglete)  $r$  áruban kielégítést nyer;
- minden  $i$  ponton az  $r$  áru mennyisége megegyezik a szükséglettel;
- a szállítás minden fajtájában a felhasználandó szállítóeszköz típus mennyisége nem haladhatja meg a meglévő szállítóeszköz típus park nagyságát;
- egy szállításnak a volumene sem lehet kevesebb nullánál ( $X_{ijrk\varphi} > 0$ ).

A feladat megoldása a célfunkció minimumának a keresésében áll:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^{\delta_1} \sum_{k=1}^{\delta_2} \sum_{\varphi=1}^{\delta_3} C_{ijrk\varphi} \rightarrow \min.$$

Ilyen terjedelmesen néz ki egy ötindexes szállítási feladat matematikai leírása. A feladat megoldásának hatékonysága az alkalmazott számítástechnikai eszköz lehetőségeitől függ.

Előnyei vannak a hálós felállításnak, amikor a szállítási pontok (állomások, tengeri vagy folyami kikötők, repülőterek és az ezek közötti útszakaszok, az egyfajta teher feladásának és eljuttatásának terjedelme és az egységnyi szállítási költség nagysága adottak, de nem teljesek, mint a matrix felállítás esetén. A közlekedési úthálózat ábrázolását fel lehet vázolni matematikai grafikon formájában, amelynek a csúcsai a szállítási pontok, a húrjai pedig az ezek közötti útszakaszok. A feladat megoldása során nemcsak terjedelmek találhatók, hanem szállítási útvonalak is, megállapításra kerül a szállítások sűrűsége tagozatonként és a szállítási költségek közös összege az elfogadott kritériumok szerint. A hálós felállítás kiinduló információjának az előkészítése kevésbé munkaigényes, mint a matrix esetén.

A nagyméretű szállítási feladatok megoldását meg lehet könnyíteni a közlekedési úthálózat önálló területekre való osztásával. De hogy helyesen megtervezzük az egyes területeken belüli szállításokat, tudni kell a csapatok vagy az anyagi eszközök tranzit (központi) szállításoknak a bejáratát e területre, vagy kijáratát a területről. Azonban nagy távolságokra történő központi tranzitszállítások tervezése esetén semmi jelentősége nincs a hálózat részükre való tagolásának.

Mi arra törekedtünk, hogy a lineáris programozással megoldandó olyan szállítási feladat jellegéről adjunk általános képet, amely az összes gazdasági-matematikai módszerek közül a legkidolgozottabb és az esetek többségében alkalmazják a csapatszállítások tervezésének optimalizálására. Azonban vannak olyan feladatok, amikor az egy tonnára eső szállítási költségek a teher áramlása méreteitől függenek és az áramlás növekedése esetén jelentősen megemelkednek (pl. a vasút egyvágányú szakaszaiban a keresztezések számának növekedésével és a szakasz sebességének csökkenésével). Ekkor különösen az áramlások párhuzamos járatok közötti megosztása esetén, a lineáris funkció helyett a nem lineárisat kell megnézni:  $C = \sum f_{ij} (X_{ij})$ , ahol az  $f_{ij} (X_{ij})$  – a szállítási költségek összegének konkrét nem lineáris függőségei az  $i$  és a  $j$  pontok közötti áramlásnak. Megközelítő megoldást lehet kapni akkor, ha helyettesítjük a nem lineáris funkciót ún. darab-lineárisal és ezután a lineáris programozást alkalmazzuk.

Nem ritka az ilyen feladat sem: a csapatszállítás optimális tervét ki kell dolgozni valamilyen meghatározott időszakra, mondjuk egy gyakorlat idejére, azaz meg kell oldani sokszakaszos feladatot.

Ez esetben kétféleképpen lehet megközelíteni a megoldást: kidolgozni minden napra külön-külön az optimális terveket vagy olyant, amely az egész periódusra biztosítja a minimális szállítási költségeket. Az első megközelítés esetén – statikai – nem mindig garantálható az általános optimum. A második megközelítés kapcsolatos a dinamikus programozás módszerének alkalmazásával.

Végül, az olyan optimizált feladatok részére, amelyeket néhány paraméter véletlen jellegének figyelembevételével oldandók meg, a sztochasztikus programozás módszereit alkalmazzák, amikor célfunkcióként kiválasztanak, vagy a keresett (ismeretlen) mutató matematikai várakozását, vagy a valószínűségét annak, hogy a nagysága nem kisebb a megadottnál. Ma még azonban a sztochasztikus programozás kevésbé kidolgozott, mint más módszerek, habár különös figyelmet érdemel mindazok részéről, akik tömeges szállítások tervezésével foglalkoznak. A valószínűségi megközelítésnek a sajátossága abban van, hogy nem meghatározott induló adatok jelentős mennyiségével rendelkezve, mégis határozott tervezési döntéseket kell kapni.

Bármilyen feladat matematikai felállításának formálása esetén nem szabad nem figyelmen kívül hagyni az induló információ megkapásának a reális lehetőségét, továbbá annak hitelességét, valamint a meglévő matematikai módszerek és számítógépek lehetőségét.

Ezen kívül tervezve a szállításokat, kiválasztva a szállítás útvonalát, figyelembe kell venni az utak átbocsátó képességeinek a korlátjait, mivel az összegzett teheráramlás nagysága természetesen nem haladhatja meg az utak átbocsátó képességét.

Úgy tűnik, hogy az „átbocsátó képesség” kifejezést nem kell magyarázni. Azonban a szakirodalomban, utasításokban és szaksegédletekben az „átbocsátó képesség” kifejezést általában úgy alkalmazzák, mint egyjelű méretet, amelyet

csak a közlekedési utak technikai berendezése, technikai állapota határoz meg. Azonban az átbocsátó képesség nemcsak az utak állapotától függ, hanem attól is, hogyan van a forgalom megszervezve, milyen a szállítási áramlat struktúrája. A vasutakra, mint ismeretes, különböző grafikonokat dolgoznak ki, és mindegyik meghatározott méretű forgalmat biztosít.

Egy és ugyanazon autóúton más és más az átbocsátó képesség szervezetlen forgalom esetén, vagy oszlop forgalom esetén. Ismert tények, hogy még az autószeradákon is lehetnek nehézségek a rossz forgalom-szervezés miatt. A csővezeték teljesítménye nemcsak a cső méretétől és az átemelő állomás méretétől, hanem az átemelő berendezések teljesítőképességétől is függ, és így megy ez tovább és tovább.

Hogy milyen hatással volt a forgalom megszervezése az utak átbocsátó képességére a Nagy Honvédó Háború idején, jól illusztrálják „A vonatok a frontmentek” c. könyvben. A szerzők az egyik cikkben leírják, különböző intézkedések foganatosításával, az egész fronton sikeresen alkalmazták egy-egy rövid időre az átbocsátó képesség erőszakos megnövelését. Ilyen intézkedés volt a vonatok forgalma megszervezésének különböző módjai. Például egy sor front vasútszakaszon bevezették a „közvetlenül a nyomában” vonatindítást és „élő” szemaforkat alkalmaztak a forgalom vonatcsoportonkénti módjának bevezetésével. A háborús időszak tapasztalatai bizonyították, hogy az akadályok likvidálásában nagy szerepet játszottak az időben végrehajtott speciális forgalomszabályozó intézkedések.

A katonai autóutakon a jobb kihasználás érdekében forgalomszabályozási rendszert szerveztek.

Így a katonai szállítások tervezése és azok végrehajtása folyamatos és egymástól függő. Ha ez így van, akkor a katonai szállítások optimalizálását nem szabad elkülönítve tekinteni azok szervezésétől. Sőt, mi több, az optimalizált számvetéseket hadművelleti célokra kell alárendelni. A parancsnokság elgondolásával egyeztetett szállítási feladatok megoldására hatással vannak az alábbi követelmények:

- a szállítások adott sorrendjének a biztosítása,
- a szállítandó csapatok vezetésének folyamatossága,
- a csapatok szállítás alatti teljességének és harcképességének megőrzése,
- csak az éjszakai forgalom megszervezése,
- a forgalomszabályozó pontokon való áthaladás a meghatározott időben stb.

Nem mindegyiket kell matematikai, formalizációs és algoritmus számvetésnek alávetni, ezért a katonai szállítások tervezésének és szervezésének optimalizálása emberi-gépi feladat, amelyben a gép funkciója – különböző variációk munkaigényes számvetéseinek a gyors végrehajtása, ezek heurisztikus értékelése az elhatározásra jutás pedig már a szakemberek feladata.

Az elmondottakból olyan következtetést kell levonni, hogy a katonai szállítások tervezése és szervezése hatékonyságának és minőségének növelése érdekében, mindenkinek, aki ebben részt vesz, célszerű állandóan szélesíteni a saját matematikai látókörét. A grafikon elmélet, a matrix elmélet elemeinek az ismerete és a gazdasági-matematikai módszerek alkalmazása a katonai szállítási feladatok megoldása érdekében különösen szükségessé válnak napjainkban, amikor a népgazdaságban és a fegyveres erőknél is mind jobban terjednek a szállítási technikai eszközök és a vezetés automatizált rendszere.