

## Жүктерді тасымалдау маршруты есебінің тиімді жоспарлануы

### Optimum planning of problem of transportation cargoes routing

Омаров А.М., Есендаулетова Ж.Т.

*Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті (E-mail: dalibiev@mail.ru)*

В статье рассматриваются сети перевозок рациональной поставки грузов и сборочные алгоритмы. Представленный алгоритм определяет рациональность поставки и сборочный маршрут. Рассмотрена одна из важных задач оперативного планирования перевозок и маршрутизации перевозок — составление маршрутов движения подвижного состава. Практика постановки и решения задач маршрутизации перевозки грузов учитывает множество ограничений, вызываемых конкретными условиями работы.

In the article networks of rational transportations delivery of cargoes and assembly algorithms are considered. The presented algorithm defines and considers rationality of delivery and assembly route. One of important problems of operational planning of transportations and routing is considered. It is drawing up of movement routes of rolling stock. Practice of statement and decision of problems router transportations of cargoes considers set of the restrictions caused by concrete working conditions.

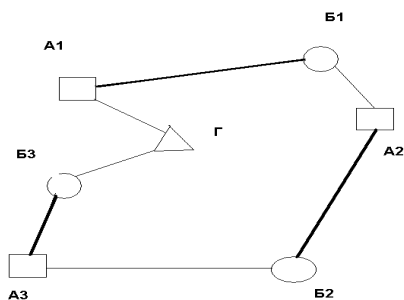
Тасымалдауды оперативті жоспарлаудың ең маңызды есептері қозғалмалы құрам қозғалысының маршрутының құрылуы болып табылады. Тасымалдау маршрутизациясы деп қозғалу құрамының барлық бос жүрісінің еріксіз қысқартылуын қамтамасыз ететін автокөлік қозғалысының рационалды маршрутын құруды атайды.

Үлкен массалы жүктердің тасымалдануында рационал маршрутты құру есебі өте маңызды болып табылады. Мысал қарастырайық [1]. Өндіріс пункттері мен жүктер қажеттілігі, автокөліктердің орналасу пункттері, сонымен қатар олардың арасындағы арақашықтық берілсін. Сондай-ақ тасымалдау тапсырыстары мен олардың өлшемдері белгілі болсын. Маркалар және автокөліктік мекемелер бойынша автокөліктер саны берілген. Жүксіз автокөлік жүрісінің минималды қосындысын қамтамасыз ететін маршруттар жиынтығын табу керек.

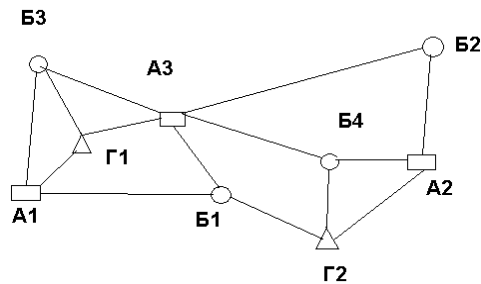
Осы жерде маршруттарға кейбір шектеулер қойылады, мысалы: маршрут жұмысының максималды жалғастырылуы; жүрісті пайдалану коэффициентінің максималды мәні және т.с.с. Әрбір нақты есеп үшін шектеулер жиынтығына жауап беретін маршрут жіберуші болады. Тасымалдау жоспарына тек жіберуші шешімді енгізу керек.

Шектеулі мәні бар маршрут бойынша жүрісті пайдалану коэффициентін салыстыратын ерекше тәсіл енгізейік [2].  $\beta$ -жүрісті пайдалану коэффициенті жүктелген жүрістің жалпыға қатынасына тең болады, ол жүктелген  $L_{zp}$  және бос  $L_{nop}$  жүрістен тұрады, яғни  $\beta = L_{zp} / (L_{zp} + L_{nop})$  тең. Бұдан  $L_{zp} = L_{nop} \beta / (1 - \beta)$  шығады.  $\lambda = \beta / (1 - \beta)$ -ны белгілейік, онда  $L_{zp} = \lambda L_{nop}$  аламыз.

Егер де жіберуші маршрутта жүрісті пайдалану коэффициентінің минималды мәнін  $\bar{\beta}$ -мен белгілесек, онда  $\bar{\lambda} = \bar{\beta} / (1 - \bar{\beta})$  болады. Маршрутты жіберудің қажетті шартын  $(L_{zp} - \bar{\lambda} L_{nop}) \geq 0$  қатынасы анықтайды. Егер де ол орындалмаса, онда жүрісті пайдалану коэффициенті берілген  $\bar{\beta}$  мәнінен кіші болады. Ондай маршрут жіберілмейді. Мысалға, 1-суретте келтірілген маршруттың жүрісін пайдалану коэффициентіне сәйкес жіберілетінін анықтайық.



1-сур.



2-сур.

Маршрут схемасы: *тұтас сызық* — жүктелген жүріс, *итрихталған* — бос жүріс. Айталық,  $\bar{\beta}=0,55$  болса, онда  $\bar{\lambda}=0,55/(1-0,55)=1,2$ .  $C=L_{cp}-\bar{\lambda}L_{nop}$  белгілеуін енгізейік. Сонда  $L_{cp}=12+16+10=38$  және  $L_{nop}=6+5+15+5=31$  сәйкес  $C=38-1,2*31=0,8$ , яғни маршрут жіберуші болады.

Егер алдын ала бос жүрісті  $\bar{\lambda}$ -ға көбейтсек, онда  $C$  мәнін оңай алуға болады, яғни  $C=-7,2+12-6+16-18+10-6=0,8$ .

Маршрутты құру процесінде  $C$  өлшемі жүктелген жол жүрісіне қосылу арқылы өзгереді. Маршрутқа алғашқыларының бірін  $A_1B_1$  қосқанда, өлшем мынаған тең:  $c^{(1)}=-7,2+12=4,8$ , мұндағы жоғарыда орналасқан жақшадағы индекс жүктелген жол жүрудің қосылу нөмірін көрсетеді. Бірінші қосылғыш — автотранспорттық мекемелердегі (АТП) 0-дік жол жүріс, мұндағы  $A_1$  пунктiсiне  $\Gamma$  пунктiсi, екiншi —  $A_1$  пунктiсiнен  $B_1$  пунктiсiне дейiнгi жүктелген жол жүрісi.  $A_2B_2$  жол жүрісін қосу арқылы мән мынаған тең:  $c^{(2)}=-7,2+12-6+16=c^{(1)}-6+16=14,8$ . Автокөліктің АТП-ға қайтарылатынын ескере отырып,  $C=c^{(3)}-6=0,8$  аламыз. Көрініп тұрғандай, маршрутқа келесі жол жүрісті енгізу арқылы жаңа екі қосындыны аламыз: (-) таңбасы бар бос (порожний) және (+) таңбасы бар жүктелген жол жүрісінің өлшемі.

$C$  мәні ұлғайған сайын маршрут бойынша жол жүрісті пайдалану коэффициенті де жоғарлай түседі. Маршрутизация есебін шешудің мақсаты ретінде барлық маршруттар бойынша  $C$  максимумды қамтамасыз ететін, тасымалдау жоспарын құруды есептеуге болады.

Есепті шешу барысында бірыңғай құрылатын ( $j=1,2,\dots, n$ ) маршруттарының және ( $i=1,2,\dots, m$ ) тасымалдау тапсырыстардың барлық жиындары қарастырылады.

*Мысал* [2]. 2-суретте тасымалдау схемасы келтірілген. Екі  $\Gamma_1$  және  $\Gamma_2$  автотранспорттық мекеме, үш жабдықтаушы  $A_1, A_2, A_3$  және төрт қабылдаушы  $B_1, B_2, B_3, B_4$  бар болсын. АТП  $\Gamma_1$  жолға жүк сыйымдылығы 10 т болатын КамАЗ-550, ал АТП  $\Gamma_2$  жолға жүк сыйымдылығы 8 т болатын МАЗ-500 екі автокөлікті жібереді. Тасымалдау тапсырыстары 1-кестеде, ал пунктiлер арасындағы арақашықтық 2-кестеде көрсетiлген. Ендi  $\beta \geq 0,55$  және  $\gamma=1,0$  болғандағы, әрбiрiнiң жалпы ұзындығы 100–120 км-ге созылған жіберуші маршрутты құрамыз.

1 - кесте

Жабдықтаушы	Тұтынушы	Жүктер саны, т	Жабдықтаушы	Тұтынушы	Жүктер саны, т
$A_1$	$B_1$	28	$A_3$	$B_3$	28
$A_2$	$B_2$	26		$B_4$	18

2 - кесте

Тұтынушы	Жабдықтаушы					
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	
$B_1$	15	20	10	15	10	
$B_2$	30	35	20	25	40	
$B_3$	10	45	20	10	35	
$B_4$	40	15	30	30	5	
$\Gamma_1$	5	35	5	-	-	
$\Gamma_2$	25	10	20	-	-	

Берілген төрт автокөлік үшін маршрутты құру барысында матрица толтырылады (3-кесте), оның жолдары — тасымалдау тапсырыстары, ал бағаны маршруттар болады. Алғашқы екі маршрут АТП  $\Gamma_1$ -ге, ал екінші екеуі АТП  $\Gamma_2$ -ге қатысты деп келесіп алайық. 3-кесте торларына  $i$  жүктелген жол жүрісін  $j$  маршрутына қосуда тиімді болатын  $c_{ij}$  бағалары жазылады.  $c_{ij}$  бағаларын есептеуді қыстарту үшін, теріс мәндерімен алынған,  $\bar{\lambda}$  ( $\bar{\lambda}=1,2$   $\bar{\beta}=0,55$  болған жағдайда) коэффициенттеріне көбейтілгеннен кейінгі нәтижелерді 4-кестеде бос жол жүру арақашықтықтары жазылған.

3 - кесте

Тасымалдау тапсырыстары	Маршрут				Жүктер саны, т
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
$A_1B_1$	9	9	-15	-15	28
$A_2B_2$	-7	-7	23	23	26
$A_3B_3$	14	14	-4	-4	28
$A_3B_4$	24	24	6	6	18
Ең үлкен бағалар айырмашылығы	10	10	17	17	-

Есептеудің бірінші қадамында кез келген бағананы таңдау екі жол жүрістен тұратын: порождық және жүктелеген маршруттық фрагментінің ұйымдастырылуын білдіреді.

4 - кесте

Тұтынушы	Жабдықтаушы				
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$
$B_1$	-18	-24	-12	-18	-12
$B_2$	-36	-42	-24	-30	-48
$B_3$	-12	-54	-24	-12	-42
$B_4$	-48	-18	-36	-36	-6
$\Gamma_1$	-6	-42	-6	-	-
$\Gamma_2$	-30	-12	-24	-	-

№ 1 маршрутымен  $A_1B_1$  жол жүруді байланыстыратын бағананы санау үшін,  $\Gamma_1$  пунктiсiнен  $A_1$  пунктiсiне (4-кесте) дейiнгi порождық жол жүру ұзындығына  $A_1B_1$  (2-кесте) жүктелген жол жүрiсiнiң ұзындығын қосу керек. Сонда  $c_{11} = -6 + 15 = 9$  аламыз. № 4 маршрутына  $A_3B_3$  жол жүрiсiн қосу бағасы үшін жоғарыдағы амалдарды қайталап,  $c_{34} = -24 + 20 = -4$  аламыз. Матрицаны бірiншi рет толтырғаннан кейiн 3-кестенi аламыз, келесi амалдарды орындау керек:

- 1) матрицаның әрбiр бағанасынан екi үлкен бағалар  $c_{i1,j}$  және  $c_{i2,j}$  табу;
- 2) матрицаның әрбiр бағанасынан  $\Delta_j = c_{i1,j} - c_{i2,j}$  есептеу;
- 3)  $\Delta_{j_0}$  мәнiнiң әрқайсысы үшін максималды  $j_0$  бағанасын табу;
- 4)  $j_0$  маршрутына  $i_1$  жол жүрiсiн тағайындау;
- 5)  $j_0$  маршрутының жалғасы болатындығын анықтау. Егер де жалғасатын болса, онда  $j_0$  бағанасының  $c_{i_1,j_0}$  бағаларын қайта есептеу керек, керiсiнше жағдайда,  $j_0$  бағанасының барлық  $c_{i_1,j_0}$  бағаларына үлкен терiс санын меншiктеу;
- 6)  $i_1$  (матрицаның соңғы бағанасы) тапсырысы бойынша жоспарланбаған тасымалдаудың көлемiн  $j_0$  маршруттың орындайтын автокөлiктiң жүктердi көтеру өлшеменi азайту;
- 7) барлық маршруттарға  $i_1$  тапсырысын келесiде енгiзуде мүмкiн болатынын тексеру керек. Сәйкес келетiн  $c_{i_1,j}$  бағаларына (-M) мәндерiне меншiктеу;
- 8) матрицаларда  $c_{i_1,j} \neq -M$  бағасы бар екендiгiн тексеру. Егер де бар болса — 1-пункт, керiсiнше жағдайда 9-пункт орындалады;
- 9) есептеулер тоқтатылады.

$c_{23}=23$  бағасымен  $\Gamma_2-A_2B_2$  маршрут фрагменті алынады. Матрицадағы тордың ортасында тасымалдау жүрісінің саны жазылады.  $A_2B_2$  тапсырысы бойынша 18 т тасымалдау ғана қалады. Бұл мәндерді келесі матрицаға жазамыз (5-кесте).

5 - кесте

Тасымалдау тапсырыстары	Маршрут				Жүктер саны, т
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
$A_1B_1$	9	9	2	-15	28
$A_2B_2$	-7	-7	16	23 8	18
$A_3B_3$	14	14	19	-4	28
$A_3B_4$	24	24	29	6	18
Ең үлкен бағалардың айырмашылығы	10	10	10	17	-

№ 3 маршрут жалғасатын болғандықтан, 5-кестеде бағалар бойынша қайта есептеулерді келесі формула бойынша жүргіземіз:

$$c_{i,j0} = c_{i1,j0} + l_{nop} + l_{cp}, \quad (1)$$

мұндағы  $c_{i1,j0}$  — берілген қадамдағы таңдалынған баға;  $l_{nop}$  — тұтынушыдан жабдықтаушыға дейінгі бос жүрісі (4-кесте);  $l_{cp} - i$  жүктелген жол жүрудің ұзындығы (2-кесте).

Тексерістен кейін  $A_2B_2$  тапсырысын кез келген маршрутқа тағайындауға болады. Матрицада (5-кесте) барлық бағалар  $c_{i,j} \neq -M$  болғандықтан, барлық сипатталған амалдар қайталанатын.  $\Delta_j$  есептеулерінен кейін 5-кестеде оның максималды мәнін анықтаймыз. Нәтижесінде № 4 және № 3 маршруттарына  $A_2B_2$  жол жүрісін қосамыз.

Кестеге тасымалдау көлемін жазамыз. № 4 және № 3 маршруттары жалғасу керек, сондықтан оның бағалары (1) формула бойынша қайта есептелінеді және жоспарланбаған  $A_2B_2$  тасымалдануы өлшемінің кемуімен бірге келесі матрица жазылады (6-кесте).

6 - кесте

Тасымалдау өтініштері	Маршрут				Жүктер саны, т
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
$A_1B_1$	9	9	2	2	28
$A_2B_2$	-7	-7	16	16	10
$A_3B_3$	14	14	19	19	28
$A_3B_4$	24	24	29	29	18
Ең үлкен бағалар айырмашылығы	10	10	10	10	-

Тексеру нәтижесі бойынша  $A_2B_2$  өтініші кез келген маршрутқа енгізілуіне болады.

Үшінші қадам шешімінде 6-кестедегі барлық  $\Delta_j$  мәндері өзара тең болып табылады, сондықтан кез келген маршрутқа жолды тағайындауға болады.  $A_3B_4$  жолын қосқан № 1-маршрутты таңдаймыз. Тордың дәл ортасынан тасымалдау өлшемін бекітеміз. № 1-маршрут қайталануды талап ететініне көзіміз жетіп, № 1-бағана бағаларын қайта есептеп жаңа 7-кестеге жазамыз. Маршруттың мүмкін болатын тексерілуі бойынша,  $A_3B_4$  өтінішінің жоспарланбаған қалдығы № 1 және № 2-маршруттардағы 10 т жүкті көтеретін автокөлікпен жеткізуге мүмкін болмайтынын көрсетеді, яғни

$$c_{41} = c_{42} = -M.$$

7 - кесте

Тасымалдау өтініштері	Маршрут				Жүктер саны, т
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
$A_1B_1$	-9	-9	2	2	28
$A_2B_2$	41 10	-7	16	16	10
$A_3B_3$	8	14	19	19	28
$A_3B_4$	-M	-M	29	29	8
Ең үлкен бағалар айырмашылығы	33	5	10	10	-

7-кестеде № 1 маршруттағы ең үлкен мәні  $\Delta_1 = 33$ , оған  $A_2B_2$  жолы тағайындалады. Енді № 1-маршрут 85 км-ге созылған  $\Gamma_1-A_3B_4-A_2B_2$  екі жүктелген жолдан тұрады.  $B_2$  пунктiсiнен АТН  $\Gamma_1$  пунктiсiне қайтып келуiн ескере отырып, оның ұзындығы 110 км-ден тұрады. № 1-маршруттағы жүрiстi пайдалану коэффициентi  $\beta = 65/110 = 0,59$  тең болады. Сонымен, маршруттың мүмкiн болатын барлық талаптарына жауап беретiн № 1 маршрут аяқталды. 8-кестедегi № 1 бағананың барлық  $c_{i1}$  элементтерi «-M» мәніне ие болады. Дәл осындай мәндерге 2-қатардың  $c_{2j}$  элементтерi ие болады, себебi  $A_2B_2$  ұсынысы бойынша барлық жүктер жоспарланған.

8 - кесте

Тасымалдау өтініштері	Маршрут				Жүктер саны, т
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
$A_1B_1$	-M	9	2	2	28
$A_2B_2$	-M	-M	-M	-M	0
$A_3B_3$	-M	14	19	19	28
$A_3B_4$	-M	-M	29 8	29	8
Ең үлкен бағалар айырмашылығы	0	5	10	10	-

8-кестеде  $A_3B_4$  жолы № 3-маршрутка белгіленеді. Осы жолменен № 3 маршрут аяқталады. Матрицаларды түрлендіруді жалғастыру арқылы, басқа маршруттарды аламыз. Есептеулер нәтижелері 9-кестеде келтірілген.

9 - кесте

Маршрут	Жүріс, км			Жүрісті пайдалану коэффициенті
	жүктелген	бос	жалпы	
$\Gamma_1-A_3B_4-A_2B_2-\Gamma_1$	65	45	110	0,59
$\Gamma_1-A_3B_3-A_1B_1-A_3B_3-A_1B_1-\Gamma_1$	70	50	120	0,58
$\Gamma_2-A_2B_2-A_3B_4-\Gamma_2$	65	35	100	0,65
$\Gamma_2-A_2B_2-A_3B_3-A_1B_1-\Gamma_2$	70	50	120	0,58

Сипатталған әдіс қадамдар бойынша тиімділеу әдісіне жатады. Мұнда тек қана берілген қадамда ғана ең жақсы бағалар таңдауы жүргізіледі. Маршрутка жолды енгізгеннен және (1) формуласы бойынша  $c_{i,j_0}$  бағасына қайта есептеулер жүргізгеннен кейін  $j_0$  бағанасында бірде-бір оң баға табылмауы мүмкін болады. Бұл  $j_0$  маршрутының кез келген жалғасы жүрісті пайдалануда 0,55-тен төмен коэффициентті береді, ал ол мүмкін болатын маршруттың ережелеріне сәйкес келмейді. Шешімін жоққа шығармау және әдісті күшейту үшін, маршрутқа жолды енгізер алдында, оның бағаларына қайта есептеулер жасалады. Олардың арасында оң мәндер болмаған жағдайда, жол маршрутқа енгізілмейді. Бұл маршрут үшін  $\Delta_{j_0}$  қайта есептелінеді және әрі қарай барлық бағаналары бойынша  $\Delta_j$  максималды мәнін іздеуден бұрын сипатталған амалдар орындалады.

## References

1. Larionov A.I., Jurchenko T.I. Economic-mathematical methods in planning. — M.: Higher school, 1984. — 248 p.
2. Kozhin A.P. Mathematical methods in planning and management of freight traffic. — M.: Higher school, 1991. — 296 p.

ӘОЖ 656.13.07

## Итерациялық әдістің негізінде рационалды маршрутты табу

### Finding of rational route on the basis of iterative method

Омаров А.М., Есендаулетова Ж.Т.

*Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті (E-mail: dalibiev@mail.ru)*

В статье рассматривается одна сетевая задача поставки грузов и нахождения оптимального маршрута на основе итерационного метода. Приведен подробный алгоритм итерационного метода с учетом определенных ограничений, который вызывается конкретными условиями поставленной задачи. Решение задачи определяется методом «сумм», который является частным случаем итерационного метода. На основе приведенного примера детально разобраны два этапа решения задачи метода «сумм».

In article one network problem of delivery of cargoes and a finding of an optimum route on the basis of an iterative method is considered. The detailed algorithm of an iterative method taking into account certain restrictions which is caused by concrete conditions of a task in view is resulted. The problem decision is defined by a method of "Sums" which is a special case of an iterative method. The problem decision is defined by a method of "Sums". This method is a special case of an iterative method. Two stages of the decision of a problem of a method of "Sums" are considered. On the basis of the resulted example it is in details disassembled two stages of the decision of a problem of a method of "Sums".

Әр түрлі кішігірім жүктерді тасымалдауды ұйымдастыру кезінде, ұсынушы бір жіберушіден жүкті қабылдап алып, оны белгілі бір қабылдаушыларға жеткізеді, олардың әрқайсысына жүктің белгілі бір бөлігін қалдырады немесе, керісінше, жүкті бірнеше ұсынушылардан жинап алып, оны пайдаланушыға жібереді, осы жерде жүгіріс пен уақытты қысқарту және пункттерді айналып өту тізбегі мәселесі пайда болады [1, 2]. Осыған қол жеткізу үшін, қозғалмалы құрам маршрутының рационалды қозғалысын жоспарлау, немесе, басқаша айтқанда, жүктерді тасымалдау маршрутизациясын жүргізу керек. Тасымалдау маршрутизациясы — бұл қозғалмалы құрам қозғалысының маршрутын құрастыру, немесе оның корреспонденциялық нүктелер арасындағы тізбектер реті, болып табылады.

Жүктерді тасымалдау маршрутизациясы есептерін қою практикасы мен шешілуі автокөлік және жүктерді тасымалдау жұмыстарының нақты шарттарымен байланысқан көптеген шектеулерді ескереді. Оларға мыналарды жатқызуға болады: берілген жүктердің тұтынушылар мен ұсынушылар пункттерінің жиынтығы, жүктерді тұтынушылар мен ұсынушылардың жүктер айналымының көлемі, жүктердің сипаттамасы, оларды жеткізу уақыты, қозғалмалы құрам паркінің бар болуы мен құрылымы, автотранспорттық мекемелердің орналасуы мен қуаттылығы, автотранспорттық мекемелердің жұмыс режимі мен клиенттері, мақсаттық функцияның минималды бар болатын мәндері [3].

Аз партиялы жүктерді тасымалдаудағы қабылдаушылар немесе жіберушілер арасындағы автокөліктер қозғалысының тізбегі тасымалдаушы немесе жинаушы маршрут деп аталады. Кейбір жағдайда, автокөлік жүктерді тасымалдаумен қатар жинау жұмыстарын да жүргізеді. Мұнда, біріншіден, айырмашылығы болмаса да, есептің шешілуі бірқатар қиындатылады. Егер де автокөлік аз партиялы жүктерді тасымалдаумен қатар жинау жұмыстарын жүргізетін болса, онда маршрут тасымалдаушы-жинаушы деп аталады.

Дамыған жол желілерінің (мысалы, үлкен қалада) шарты бойынша пункттерді айналып өтуде әр түрлі маршруттардың варианттар саны өте үлкен болуы мүмкін, ондай жағдайда ең аз деген