



---

## **ОПТИМИЗАЦИЯ НА ЧИСЛЕНОСТТА И СТРУКТУРАТА НА ПАРКА НА ТОВАРНО-РАЗТОВАРНИ МАШИНИ ЗА НАСИПНИ ТОВАРИ**

**Даниел Василев Василев, Галина Младенова Петкова**  
[da\\_yava@abv.bg](mailto:da_yava@abv.bg), [gpetkova@vtu.bg](mailto:gpetkova@vtu.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“  
ул. „Гео Милев“ 158, 1574, София  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** Оптимизация, товарно-разтоварни машини, насипни товари, линейно програмиране.*

***Резюме:** В статията е представен метод за намиране на оптималния брой от различни товарно- разтоварни машини (TRM), необходими за обработка на дадено количество насипни товари, така че да се минимизират разходите за манипулиране за определен период от време. В нея е представен математически модел за едномерна оптимизация на числеността и структурата на парка от товарно - разтоварни машини за насипни товари при изпълнение на определени предпоставки, свързани с оптимизацията по групи взаимнозаменяеми TRM; намиращите се в експлоатация TRM разпределени по отделни видове работи. За начална информация за пресмятанятия се използват усреднени годишни количества, видове работи и технико-икономически показатели.*

На всеки етап на развитие на транспортно-манипулационните системи е необходимо да се изгражда такава численост и структура на товаро-разтоварните машини за насипни товари и другите им технически средства, които да осигуряват тяхното оптимално функциониране, т.е. избиране на парк с такъв количествен и качествен състав, който осигурява изпълнението на планирания обем работа в предвидения срок при минимални разходи. Формирането на този парк се извършва въз основа на предвиденото за съответния период ниво на механизация с отчитане на изменението на товаро обработката по големина и структура, а също и изискванията за въвеждане на прогресивни технологии на работа.[1]

### **1. ОПТИМИЗАЦИЯ НА ЧИСЛЕНОСТТА И СТРУКТУРАТА НА ПАРКА ОТ ТОВАРО-РАЗТОВАРНИ МАШИНИ ЗА НАСИПНИ ТОВАРИ**

Математическият модел за осъществяване на оптимизацията е съставен при условие, че манипулирането на зададените видове товари се извършва от взаимнозаменяеми типове TRM. Той позволява едновременно да се оптимизира структурата и използването на парка при следните предпоставки:[2]

- оптимизацията се извършва по групи взаимнозаменяеми TRM;
- намиращите се в експлоатация TRM са разпределени по отделни видове работи

и не се преразпределят при оптимизацията;

- ако планираният обем работа ежедневно нараства, задачата се решава за крайната година за плановия период. Ако се предвижда намаление на обема работа, пресмятанията се извършват за всеки година поотделно при условие, че е известен паркът в началото на съответната година (или за годината с максимален обем работа);

- като начална информация за пресмятанията се използват усреднени годишни количества, видове работи и технико-икономически показатели.[5]

## 2. ЗАДАЧА ЗА НАМИРАНЕТО НА НЕОБХОДИМИЯ БРОЙ ТРМ ОТ РАЗЛИЧНИТЕ ТИПОВЕ ЗА МИНИМИЗИРАНЕ НА ОБЩИТЕ ПРЕВОЗНИ РАЗХОДИ. [1]

Задачата се свежда до намирането на такъв брой ТРМ от различните типове, който да минимизират общите превозни разходи за манипулиране на зададените количества товари от отделни видове, за всяка година от плановия период, така че да се минимизира целевата функция

$$/1/ \quad R^* = E_t + \sum_{t=1}^{I_t} \sum_{j=1}^{J_t} \sum_{s=1}^{S_{jt}} (\pi_{ijst} C_{ijst} X_{ijst} + \epsilon_t \alpha_{jt} \psi_{jt} Z_{ijst}) \rightarrow \min, \text{ лв} \quad /t=1,2,\dots,T/$$

При следните ограничения:

$$/2/ \quad \sum_{j=1}^{J_t} \sum_{s=1}^{S_{jt}} \pi_{ijst} X_{ijst} \geq Q_{it}^I, \text{ т} \quad /i = 1,2 \dots I; t = 1,2 \dots T/$$

$$/3/ \quad \sum_{s=1}^{S_{jt}} \pi_{ijst} X_{ijst} \geq Q_{ijt}^{II}, \text{ бр} \quad /i = 1,2,\dots,I_t; j = 1,2,\dots,J_t; t = 1,2 \dots T/$$

$$/4/ \quad \sum_{i=1}^{I_t} \sum_{s=1}^{S_{jt}} X_{ijst} \geq N_{jt} \psi_{jt}, \text{ бр} \quad /j = 1,2,\dots,J_t; t = 1,2 \dots T/$$

$$/5/ \quad \sum_{i=1}^{I_t} \sum_{s=1}^{S_{jt}} Z_{ijst} \leq \Delta N_{jt}, \text{ бр} \quad /i = 1,2 \dots I; t = 1,2 \dots T/$$

$$/6/ \quad \sum_{i=1}^{I_t} \sum_{s=1}^{S_{jt}} (X_{ijst} - Z_{ijst} - N_{jt} \psi_{jt}) = 0, \text{ бр.} \quad /j=1,2,\dots, J_t; t = 1,2,\dots,T/$$

$$/7/ \quad \sum_{i=1}^{I_t} \sum_{j=1}^{J_t} \sum_{s=1}^{S_{jt}} Z_{ijst} \psi_{jt} \leq K_t, \text{ лв} \quad /t 1,2,\dots T/$$

$$/8/ \quad X_{ijst} \geq 0; Z_{ijst} \geq 0, \text{ бр.} \quad /i = 1,2 \dots I; j = 1,2 \dots J; s = 1,2 \dots S_{jt}; t = 1,2 \dots T/$$

където:

$T$  е броят на годините, в периода за който се извършва оптимизация,  $/t = 1,2,\dots/$ ,бр.;

$I_t$  броят на видовете товар (група товари), които могат да се манипулират с различните типове ТРМ в  $t$ -ма година  $/i = 1,2,\dots,I_t/$  бр.;

$J_t$  броят на типовете ТРМ, които могат да се използват за манипулиране на зададените видове товари в  $t$ -та година  $/j = 1,2,\dots, J_t/$ , като  $J_t$  е броя на съществуващите типове ТРМ в  $t$ -та година, а  $J_t - J_t^*$  е броя на новите типове ТРМ в  $t$ -та година;бр.

$S_{jt}$  броя на видовете смени, по които ще работят ТРМ

от  $j$ -ми тип в  $t$ -та година  $/s = 1,2 \dots S_{jt} /$ ,бр.;

$\pi_{ijst}$  годишната производителност на една ТРМ от  $j$ -ми тип при манипулиране на  $i$ -ти вид товар със  $s$ -та сменност през  $t$ -ма година, лв./т;

$C_{ijst}$  относителните разходи за единица производителност на една ТРМ от  $j$ -ти тип при манипулиране на товар от  $i$ -ти вид със  $s$ -та сменност през  $t$ -та година, лв./т;

$Q_{it}^I$  - количеството товар от  $i$ -ти вид, което е планирано да се манипулира в  $t$ -та година, т;

$Q_{ijt}^{II}$  - количеството товар от  $i$ -ти вид, което задължително трябва да се манипулира с

ТРМ от j-му тип през t-та година, t;

$N_{jt}$  - броят на наличните ТРМ от j-му тип в t-та година, бр.;

$\Delta N_{jt}$  - броят на ТРМ от j-му тип, които е лимитирани да се произведат или доставят в t-та година, бр.;

$\Psi_{jt}$  - коефициентът, отчитащ ТРМ от j-му тип, които в t-та година се намират в резерв и ремонт;

$C_{jt}$  - цената на една ТРМ от j-му тип в t-та година, лв.;

$K_t$  - общите капитални вложения, предвидени за внедряване на нови ТРМ в t-та година, лв.;

$E_t$  - сумата от всички стойностни показатели, независещи от броя и производителността на допълнително доставяните ТРМ в t-та год., лв.;

$\alpha_{jt}$  - коефициентът, отчитащ разходите за разширяване на ремонтно-експлоатационната база при попълване на парка с ТРМ от j-му тип в t-та година;

$\epsilon_t$  - коефициентът, привещащ средствата за доставка на нови ТРМ към експлоатационните разходи в t-та година;

$X_{ijst}$  - броят на ТРМ от j-ти тип, с които трябва да се манипулират товарите от i-ти вид със s-та сменност през t-та година, бр.;

$Z_{ijst}$  - допълнително необходимият брой (новодоставеният брой) на ТРМ от j-ти тип, с който трябва да се манипулират товари от i-ти вид със s-та сменност през t-та година, бр.

Ограничение /2/ осигурява манипулиране на планираните количества товари, а/3/ гарантира задължителното манипулиране на някои товари по определени варианти. Условие /4/ осигурява пълно използване на наличния парк от ТРМ, а /5/ - нарастването на парка от ТРМ да става в съответствие с ограниченията за производство и доставка на съответните типове. Ограничение /6/ гарантира, броят на наличните и допълнително доставяните машини да не надвишава необходимото количество, а /7/ - да не се превишават предвидените капиталовложения.

### 3. СВЕЖДАНЕ НА ЗАДАЧАТА ДО ЕДНОИНДЕКСНА С РЕШЕНИЕ ЗА ВСЕКИ ВИД РАБОТА ПООТДЕЛНО.

Функцията /1/ и ограниченията /2/ - /8/ са линейни и формулираната задача може да се реши с използване на методите на целочисленото линейно програмиране с помощта на помощта на MS Excel и Solver. Когато задачата се отнася за цял отрасъл или голяма стопанска организация, тя може да се реши и с методите на нецелочисленото програмиране, като получените нецелочислени решения се закръгляват до по-близкото цяло число.[3,4].

Реализацията на изложения модел е трудна поради голямата му размерност, което в някои конкретни случаи налага неговото опростяване.

Най-голямо опростяване може да се получи, като не се вземат предвид индексите  $i$ ,  $s$  и  $t$ , т.е. задачата се свежда до едноиндексна, а решението се извършва за всеки вид работа поотделно. Целевата функция на този модел, при запазване на изложения по-горе означения, има вид

$$/9/ R^* = + \sum_{j=1}^J (P_j C_j X_j) \rightarrow \min, \text{ лв.}$$

Ограниченията /2/-/8/ тук са едноиндексни и запазват своя смисъл. Този модел може да се реши с общите методи на линейното програмиране, но спецификата на постановката на задачата позволява да се приложи по-опростен метод. Той се състои в това, че първоначално се прилага най-ефективния за дадена работа ТРМ и ако разполагаемият ресурс не е достатъчен, необходим парк се допълва с този тип, който

има по-лоши показатели от първия, а той от своя страна с този, който следва след него с по-високите показатели и т.н. При това се спазва и условието, че наличните ТРМ трябва да се използват напълно.

Оптимизационната задача е да се **да се определи** броят  $X_j$  на определени видове на ТРМ за НТ, така че планираният товар за една година да бъде обработен с минимални разходи.

Опростяването на задачата се свежда до това: избират се три вида машини **X1- челни товарачи, X2- багер товарачи, X3- мини товарачи**, със съответната производителност за X1-  $P1=8000\text{м}^3/\text{г.}$ ; X2-  $P2=6000\text{м}^3/\text{г.}$ ; X3-  $P3=1000\text{м}^3/\text{г.}$  Коефициентът отчитащ на ТРМ в резерв или ремонт са съответно за X1- $\Phi1=0.8$ ; X2- $\Phi2=0.6$ ; X3- $\Phi3=0.8$ . Относителните разходи за единица производителност са съответно  $C1=50\text{лв}/\text{м}^3$ ;  $C2=60\text{лв}/\text{м}^3$ ;  $C3=100\text{лв}/\text{м}^3$ . Тези видове ТРМ трябва да обработят планирания товар за годината в размер на  $Q=50000\text{м}^3/\text{г.}$

Така, като се има предвид /9/ целевата функция ще добие вида:

$$/10/ \quad P1.C1.X1 + P2.C2.X2 + P3.C3.X3 = R_{\min}$$

При следните ограничения:

1-Броя на машините, умножен по производителността им да е равен или да надвишава планирания товар за годината-

$$P1.X1 + P2.X2 + P3.X3 \geq Q$$

2-Броя на машините да е равен или по-голям от наличните машини в парка умножен по техния коефициент, отчитащ когато са в резерв или ремонт-

$$X1 \geq N1.\Phi1; X2 \geq N2.\Phi2; X3 \geq N3.\Phi3.$$

$$3\text{-Броя на ТРМ да са цяло число и } X1, X2, X3 \geq 0$$

Решаването на оптимизационната задача, на базата на целевата функция /10/, при въведените ограничения /11/ е извършено, чрез използване на методите на целочисленото линейно програмиране с помощта на MS Excel и Solver (фиг. 1):

Таблица1. Дефинирани параметри

вид на машината	брой	отн. разходи за единица производителност	производителност	налични ТРМ	коэф. отчитащ ТРМ в резерв или ремонт
	бр.	лв./м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> / год.	бр.	
челен товарач	X1	C1	P1	N1	Φ1
багер товарач	X2	C2	P2	N2	Φ2
мини товарач	X3	C3	P3	N3	Φ3

Таблица 2. Изходни данни

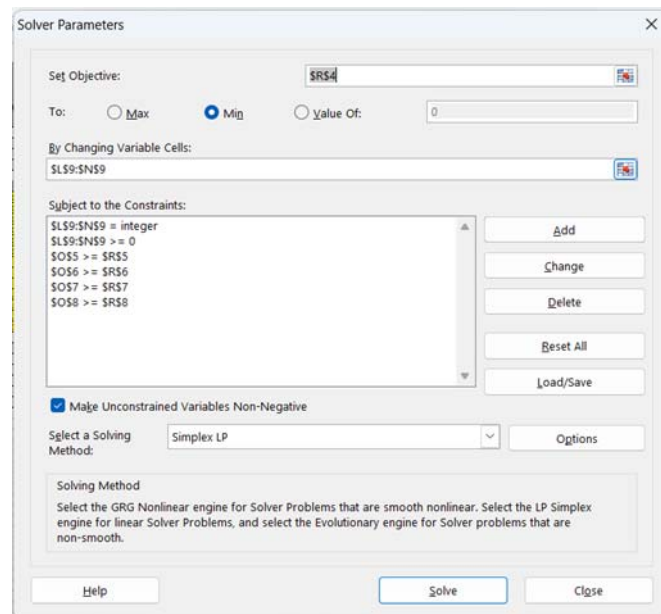
изходни данни	
P1=	8000 м <sup>3</sup> / год.
P2=	6000 м <sup>3</sup> / год.
P3=	1000 м <sup>3</sup> / год.
C1=	50 лв./м <sup>3</sup>
C2=	60 лв./м <sup>3</sup>
C3=	100 лв./м <sup>3</sup>
N1=	2 бр.
N2=	2 бр.
N3=	4 бр.
Φ1=	0,8
Φ2=	0,9
Φ3=	0,7
Q=	50000 м <sup>3</sup> /год.

Таблица 3. Целева функция и ограничения

	$P1.C1.X1 + P2.C2.X2 + P3.C3.X3 = Rmin$
1	$P1.X1 + P2.X2 + P3.X3 \geq Q$
2	$X1 \geq N1.Ф1$
3	$X2 \geq N2.Ф2$
4	$X3 \geq N3.Ф3$
5	$X1, X2, X3 \geq 0$

Таблица 4. Решение със симплекс метод

РЕШЕНИЕ СЪС СИМПЛЕКС МЕТОД					
	коэф. лява страна			стойност лява страна	дясна страна
целева функция	400000	360000	100000		2920000
ограничение 1	8000	6000	1000	50000	50000
ограничение 2	1			4	1,6
ограничение 3		1		2	1,8
ограничение 4			1	6	2,8
неизвестни	4	2	6		
	X1	X2	X3		



Фиг. 1

Таблица 5

РЕЗУЛТАТИ:		
ЧЕЛЕН ТОВАРАЧ -	4	БР.
БАГЕР ТОВАРАЧ -	2	БР.
МИНИТОВАРАЧ -	6	БР.
МИН. РАЗХОДИ	2 920 000	ЛВ.

При извършването на съответните изчисления се установява (табл. 5), че за обработване на планирания товар от  $Q=50000\text{м}^3/\text{г}$  са необходими **4 бр. челни товари**, **2- багер товари** и **6- мини товари**, като минималните разходи за обработка на този товар е **2 920 000 лв.**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Съставянето на математически модел на базата на симплекс метод дава възможност да се оптимизира числеността и структурата на ТРМ за насипни товари при различни изходни данни.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Д. Петров ,С. Стоянов „Оптимизация на товарно-разтоварни и складови процеси“ Печатница на ВВТУ „Т. Каблишков“, София, 1993
- [2] Петров, Д. П. „Моделиране и оптимизация на развитието на системата за манипулиране на товари в транспорта. С., Хабилюационен труд,1981.
- [3] Смехов, А. А. „ Построение математической и сетевой стохастической модели грузовой станции методам статистических испытаний. М.,ТрудьМИИТ, вып 300,1970.
- [4] Бабарикин, Вл., Л. Мутафчиев, Г. Грозев. „Математически методи за планиране на автомобилните превоз“. Варна,ДИ,1968.
- [5] Бонев, К., Р. Недев, Р. Василев, Р. Стайков., „Математически методи за изследване на операциите.“ В., Г.Бакалов,1975.

## OPTIMIZATION OF THE QUANTITY AND STRUCTURE OF LOADING AND UNLOADING BULK CARGO MACHINES PARK

**Daniel Vasilev, GalinaPetkova**  
[da\\_yava@abv.bg](mailto:da_yava@abv.bg), [gpetkova@vtu.bg](mailto:gpetkova@vtu.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport,  
158 Geo Milev Str., 1574, Sofia  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

**Key words:** *Optimization, loading and unloading machines, bulk cargo, linear programming.*

**Abstract:** *The text proposes a method for finding the optimal quantity of various loading and unloading machines that are necessary for the processing of bulk cargo, so that the total work expenses are minimized. A mathematical model for one-scale optimization of the quantity and structure of the loading and unloading bulk cargo machines park, considering certain criteria such as optimizing groups of interchangeable machines is also presented. It also takes into account the machines allocated for different processes. The average annual quantities, various processes and technical and economic factors serve as a base for the calculation process.*