ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ
СОФИЯ

Том Volume 50 | 2017 | Брой Issue 2

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY
SOFIA

Получена: 15.03.2017 г.
Приета: 07.04.2017 г.

ВЕРТИКАЛНО НАТОВАРВАНЕ НА СТЪЛБОВЕТЕ НА ВЪЖЕНИТЕ ЛИНИИ ПРИ ПРОИЗВОЛЕН БРОЙ ТОВАРИ В ДВЕТЕ СЪСЕДНИ МЕЖДУСТЪЛБИЯ

В. Пачилов[1]

Ключови думи: *въжени линии, диаграми на вертикалното натоварване на стълбовете, линии на влияние*

РЕЗЮМЕ

Изведени са формулите за изчисляване на вертикалното натоварване на стълбовете на въжените линии при движение на произволен брой различни или еднакви по тегло съсредоточени товари в двете съседни междустълбия. Установени са характерните точки на диаграмата на тяхното изменение в зависимост от отношението на разстоянието между съсредоточените товари и дължините на двете съседни междустълбия, както и от разстоянието между съсредоточените товари и сумата от тези междустълбия.

1. Въведение

С направените изследвания в [1] са изведени основните закономерности за графичното и аналитично изразяване на изменението на натоварването на стълбовете при движение на товарите в двете съседни междустълбия. Установено е, че изменението на натоварването между характерните точки на разположението на товарите става линейно, като диаграмата на изменението придобива формата на начупена линия. По този начин могат да се разгледат и случаите при разположение на произволен брой товари в двете съседни междустълбия, като се изведат и начертаят съответните формули и диаграми. При наличието на голям брой товари графичният метод за изобразяване на натоварванията от двете съседни междустълбия става доста сложен. Използването му обаче не е

[1] Величко Станиславов Пачилов, н.с. I ст. инж., бул. „Петко Каравелов“ 22, бл. 62А, 1408 София, тел. 02/954-76-59, GSM 0897-855-531

необходимо, тъй като в [1] е създадена представа за изменението на натоварването на стълбовете и за характера на диаграмата. Затова в настоящите изследвания се използват графичният и аналитичният начин за определяне на натоварването на стълбовете от товарите поотделно във всяко от двете съседни междустълбия, като сумарното натоварване се определя само аналитично.

На фиг. 1, 2 и 3 са дадени трите характерни случая на натоварване при наличие на произволен брой товари в двете съседни междустълбия:

На фиг. 1 при $\left[l_i'-\left(n_i-1\right)w\right]\cos\gamma_i>\left(n_{i+1}.w-l_{i+1}'\right)\cos\gamma_i$, съответно

$\left[l_{i+1}'-\left(n_{i+1}-1\right)w\right]\cos\gamma_{i+1}>\left(n_i.w-l_i'\right)\cos\gamma_{i+1}$, т.е. при $\dfrac{l_i'}{w}+\dfrac{l_{i+1}'}{w}>n_i+n_{i+1}-1$.

На фиг. 2 при $\left[l_i'-\left(n_i-1\right)w\right]\cos\gamma_i=\left(n_{i+1}.w-l_{i+1}'\right)\cos\gamma_i$, съответно

$\left[l_{i+1}'-\left(n_{i+1}-1\right)w\right]\cos\gamma_{i+1}=\left(n_i.w-l_i'\right)\cos\gamma_{i+1}$, т.е. при $\dfrac{l_i'}{w}+\dfrac{l_{i+1}'}{w}=n_i+n_{i+1}-1$.

На фиг. 3 при $\left[l_i'-\left(n_i-1\right)w\right]\cos\gamma_i<\left(n_{i+1}.w-l_{i+1}'\right)\cos\gamma_i$, съответно

$\left[l_{i+1}'-\left(n_{i+1}-1\right)w\right]\cos\gamma_{i+1}<\left(n_i.w-l_i'\right)\cos\gamma_{i+1}$, т.е. при $\dfrac{l_i'}{w}+\dfrac{l_{i+1}'}{w}<n_i+n_{i+1}-1$.

Означенията на отделните величини са дадени на фигурите, като n_i и n_{i+1} са максималният брой товари, които могат да се намират в двете междустълбия l_i и l_{i+1}.

Максималният брой товари *n*, при разстояние между тях w и дължина на хордата на междустълбието l' се определя по неравенството $\dfrac{1}{n}\le\dfrac{w}{l'}<\dfrac{1}{n-1}$.

Максималният брой товари *n*, в зависимост от $\dfrac{w}{l'}$, е даден в табл. 1.

Таблица 1

$\frac{w}{l'}$	$1\le\frac{w}{l'}$	$\frac{1}{2}\le\frac{w}{l'}<1$	$\frac{1}{3}\le\frac{w}{l'}<\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}\le\frac{w}{l'}<\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}\le\frac{w}{l'}<\frac{1}{4}$	$\frac{1}{6}\le\frac{w}{l'}<\frac{1}{5}$
n	1	2	3	4	5	6

Минималният брой товари е с един по-малко от максималния.

2. Натоварване на стълб *i* при различно положение на товарите в междустълбие l_i

2а) Товарът P_1' се намира в точка A', т.е. на хоризонтално разстояние $w\cos\gamma_i$ вляво от стълб *i*. Тогава

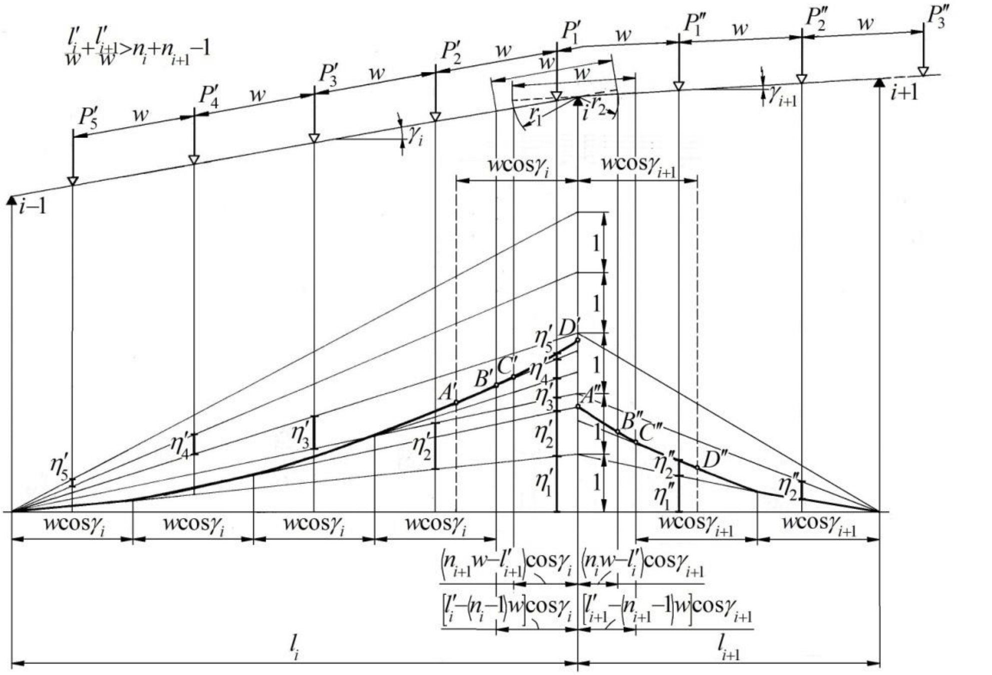
$$\eta_{1A}'=\frac{l_i-w\cos\gamma_i}{l_i}=1-\frac{w}{l_i'};\quad \eta_{2A}'=\frac{l_i-2w\cos\gamma_i}{l_i}=1-2\frac{w}{l_i'};\quad \eta_{3A}'=\frac{l_i-3w\cos\gamma_i}{l_i}=1-3\frac{w}{l_i'};$$

$$\eta_{n-2,A}'=\frac{l_i-(n-2)w\cos\gamma_i}{l_i}=1-\left(n_i-2\right)\frac{w}{l_i'};\quad \eta_{n-1,A}'=\frac{l_i-\left(n-1\right)w\cos\gamma_i}{l_i}=1-\left(n_i-1\right)\frac{w}{l_i'}.$$

Съответно $V'_{iA} = \eta'_{1A}P'_1 + \eta'_{2A}P'_2 + \eta'_{3A}P'_3 + \ldots + \eta'_{n-2,A}P'_{n-2} + \eta'_{n-1,A}P'_{n-1}$.

При еднакви товари, т.е. когато $P'_1 = P'_2 = P'_3 = \ldots = P'_{n-1} = P'_n = P$

$$V'_{iA} = (n_i - 1)P - \frac{n_i(n_i-1)}{2}\frac{w}{l'_i}P = (n_i-1)\left(1 - \frac{n_i}{2}\frac{w}{l'_i}\right)P .$$



Фиг. 1

2б) Товарът P'_1 се намира над точка B', т.е. на разстояние $(n_i - 1)w$ от стълб *i*-1 по хордата на междустълбието, съответно на хоризонтално разстояние $\left[l'_i - (n_i - 1)w\right]\cos\gamma_i$ вляво от стълб *i*. Тогава

$$\eta'_{1B} = \frac{(n_i - 1)w\cos\gamma_i}{l_i} = (n_i - 1)\frac{w}{l'_i};\ \eta'_{2B} = \frac{(n_i - 2)w\cos\gamma_i}{l_i} = (n_i - 2)\frac{w}{l'_i};$$

$$\eta'_{3B} = \frac{(n_i - 3)w\cos\gamma_i}{l_i} = (n_i - 3)\frac{w}{l'_i};\ \ldots\ \eta'_{n-2,B} = 2\frac{w\cos\gamma_i}{l_i} = 2\frac{w}{l'_i};\ \eta'_{n-1,B} = \frac{w\cos\gamma_i}{l_i} = \frac{w}{l'_i} .$$

Съответно $V'_{iB} = \eta'_{1B}P'_1 + \eta'_{2B}P'_2 + \eta'_{3B}P'_3 + \ldots + \eta'_{n-2,B}P'_{n-2} + \eta'_{n-1,B}P'_{n-1}$.

При еднакви товари $V'_{iB} = n_i\dfrac{n_i - 1}{2}\dfrac{w}{l'_i}P$.

2в) Товарът P'_1 се намира над точка C', т.е. на разстояние $n_{i+1}.w$ от стълб *i*+1 по хордите на междустълбията, съответно на хоризонтално разстояние $(n_{i+1}.w - l'_{i+1})\cos\gamma_i$ вляво от стълб *i*.

При това положение на товарите са възможни три случая, всеки от които е даден на фиг. 1, 2 и 3.

На фиг. 1 е даден случаят, когато $\left[l_i'-\left(n_i-1\right)w\right]\cos\gamma_i>\left(n_{i+1}.w-l_{i+1}'\right)\cos\gamma_i$, при който $\frac{l_i'}{w}+\frac{l_{i+1}'}{w}>n_i+n_{i+1}-1$. Тогава $\eta_{1C}'=\frac{l_i-\left(n_{i+1}w-l_{i+1}'\right)\cos\gamma_i}{l_i}=1+\frac{l_{i+1}'}{l_i'}-n_{i+1}\frac{w}{l_i'}$;

$$\eta_{2C}'=\frac{l_i-\left[\left(n_{i+1}+1\right)w-l_{i+1}'\right]\cos\gamma_i}{l_i}=1+\frac{l_{i+1}'}{l_i'}-\left(n_{i+1}+1\right)\frac{w}{l_i'};$$

$$\eta_{3C}'=\frac{l_i-\left[\left(n_{i+1}+2\right)w-l_{i+1}'\right]\cos\gamma_i}{l_i}=1+\frac{l_{i+1}'}{l_i'}-\left(n_{i+1}+2\right)\frac{w}{l_i'};$$

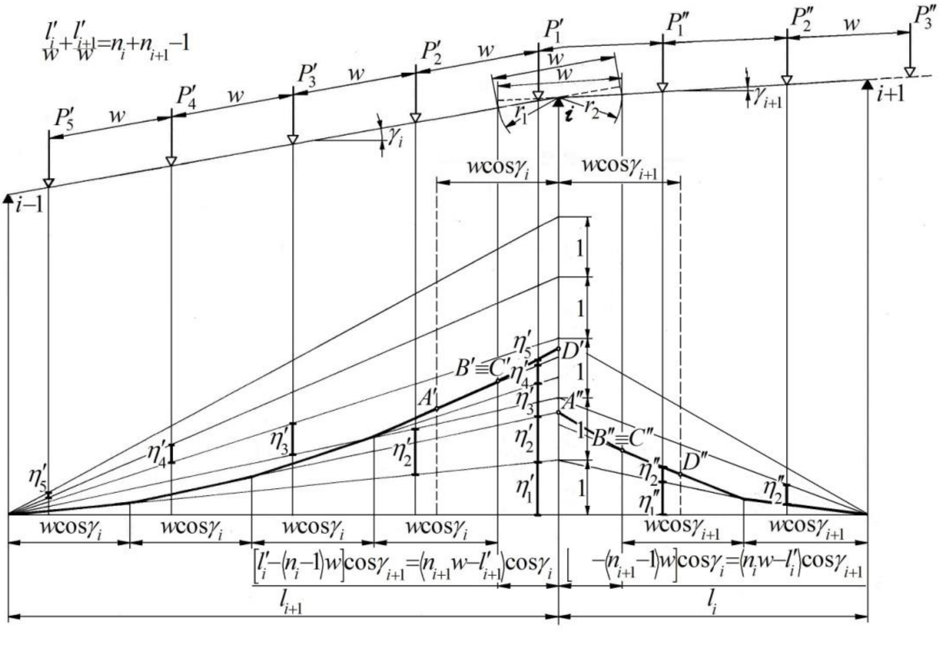
$$\eta_{n-1,C}'=\frac{l_i-\left[\left(n_{i+1}+n_i-2\right)w-l_{i+1}'\right]\cos\gamma_i}{l_i}=1+\frac{l_{i+1}'}{l_i'}-\left(n_{i+1}+n_i-2\right)\frac{w}{l_i'};$$

$$\eta_{n,C}'=\frac{l_i-\left[\left(n_{i+1}+n_i-1\right)w-l_{i+1}'\right]\cos\gamma_i}{l_i}=1+\frac{l_{i+1}'}{l_i'}-\left(n_{i+1}+n_i-1\right)\frac{w}{l_i'}.$$

Съответно $V_{iC}'=\eta_{1C}'P_1'+\eta_{2C}'P_2'+\eta_{3C}'P_3'+\ldots+\eta_{n-1,C}'P_{n-1}'+\eta_{n,C}'P_n'$.

При еднакви товари

$$V_{iC}'=\left[n_i\left(1+\frac{l_{i+1}'}{l_i'}\right)-n_in_{i+1}\frac{w}{l_i'}-\frac{n_i\left(n_i-1\right)}{2}\frac{w}{l_i'}\right]P=n_i\left(\frac{l_i'}{w}+\frac{l_{i+1}'}{w}-n_{i+1}-\frac{n_i-1}{2}\right)\frac{w}{l_i'}P.$$



Фиг. 2

На фиг. 2 е даден случаят, когато $\left[l_i'-\left(n_i-1\right)w\right]\cos\gamma_i=\left(n_{i+1}.w-l_{i+1}'\right)\cos\gamma_i$ при който $\frac{l_i'}{w}+\frac{l_{i+1}'}{w}=n_i+n_{i+1}-1$. Тогава $B'\equiv C'$ и съответно

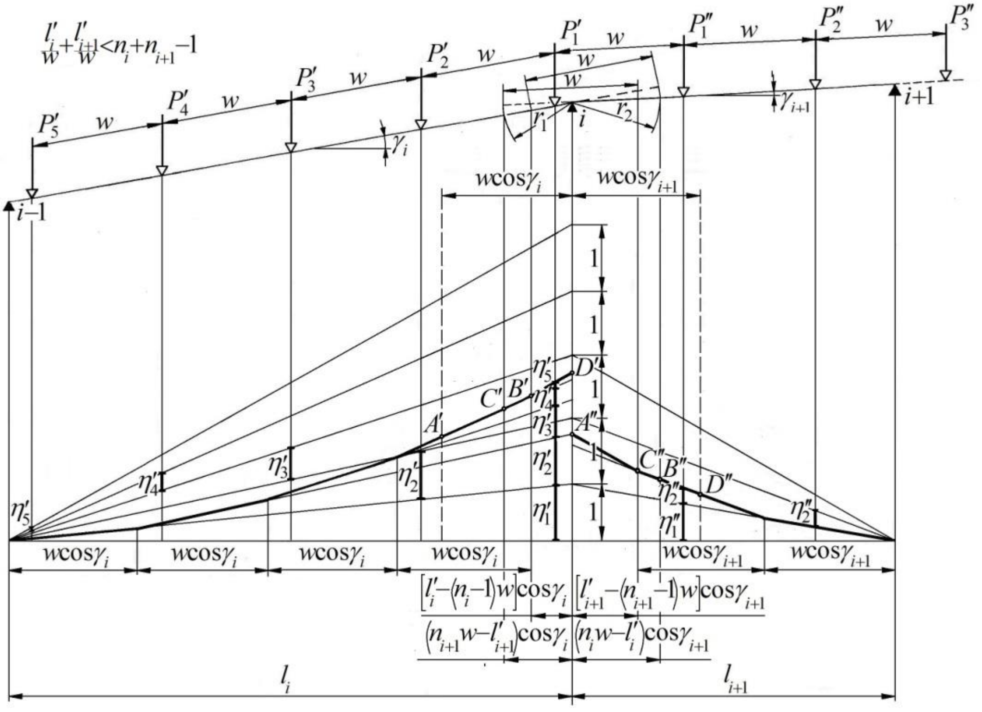
$$\eta_{1C}'=\eta_{1B}'=\frac{\left(n_i-1\right)w\cos\gamma_i}{l_i}=\left(n_i-1\right)\frac{w}{l_i'};\quad \eta_{2C}'=\eta_{2B}'=\frac{\left(n_i-2\right)w\cos\gamma_i}{l_i}=\left(n_i-2\right)\frac{w}{l_i'};$$

$$\eta_{3C}'=\eta_{3B}'=\frac{\left(n_i-3\right)w\cos\gamma_i}{l_i}=\left(n_i-3\right)\frac{w}{l_i'};\ \eta_{n-2,C}'=\eta_{n-2,B}'=2\frac{w}{l_i'};\ \eta_{n-1,C}'=\eta_{n-1,B}'=\frac{w}{l_i'}$$

при което

$$V_{iC}'=V_{iB}'=\eta_{1C}'P_1'+\eta_{2C}'P_2'+\eta_{3C}'P_3'+...+\eta_{n-2,C}'P_{n-2}'+\eta_{n-1,C}'P_{n-1}'.$$

При еднакви товари $V_{iC}'=V_{iB}'=n_i\frac{n_i-1}{2}\frac{w}{l_i'}P.$



Фиг. 3

На фиг. 3 е даден случаят, когато $\left[l_i'-\left(n_i-1\right)w\right]\cos\gamma_i<\left(n_{i+1}.w-l_{i+1}'\right)\cos\gamma_i$, когато $\frac{l_i'}{w}+\frac{l_{i+1}'}{w}<n_i+n_{i+1}-1$. Тогава

$$\eta_{1C}'=\frac{l_i-\left(n_{i+1}w-l_{i+1}'\right)\cos\gamma_i}{l_i}=1+\frac{l_{i+1}'}{l_i'}-n_{i+1}\frac{w}{l_i'};$$

$$\eta'_{2C}=\frac{l_i-\left[\left(n_{i+1}+1\right)w-l'_{i+1}\right]\cos\gamma_i}{l_i}=1+\frac{l'_{i+1}}{l'_i}-\left(n_{i+1}+1\right)\frac{w}{l'_i};$$

$$\eta'_{3C}=\frac{l_i-\left[\left(n_{i+1}+2\right)w-l'_{i+1}\right]\cos\gamma_i}{l_i}=1+\frac{l'_{i+1}}{l'_i}-\left(n_{i+1}+2\right)\frac{w}{l'_i};\ \ldots$$

$$\eta'_{n-2,C}=\frac{l_i-\left[\left(n_{i+1}+n_i-3\right)w-l'_{i+1}\right]\cos\gamma_i}{l_i}=1+\frac{l'_{i+1}}{l'_i}-\left(n_{i+1}+n_i-3\right)\frac{w}{l'_i};$$

$$\eta'_{n-1,C}=\frac{l_i-\left[\left(n_{i+1}+n_i-2\right)w-l'_{i+1}\right]\cos\gamma_i}{l_i}=1+\frac{l'_{i+1}}{l'_i}-\left(n_{i+1}+n_i-2\right)\frac{w}{l'_i}.$$

Съответно $V'_{iC}=\eta'_{1C}P'_1+\eta'_{2C}P'_2+\eta'_{3C}P'_3+\ldots+\eta'_{n-2,C}P'_{n-2}+\eta'_{n-1,C}P'_{n-1}$.

При еднакви товари

$$V'_{iC}=\left[\left(n_i-1\right)\left(1+\frac{l'_{i+1}}{l'_i}\right)-\left(n_i-1\right)n_{i+1}\frac{w}{l'_i}-\frac{\left(n_i-1\right)\left(n_i-2\right)}{2}\frac{w}{l'_i}\right]P=$$

$$=\left(n_i-1\right)\left(\frac{l'_i}{w}+\frac{l'_{i+1}}{w}-n_{i+1}-\frac{n_i-2}{2}\right)\frac{w}{l'_i}P.$$

Разликата между случаите, дадени на фиг. 1 и тези на фиг. 2 и 3, се състои в това, че при условията на фиг. 2 и 3, когато товарът P'_1 се намира в точка C, товарите в междустълбие l_i са с един по-малко, отколкото на фиг. 1.

2г) Товарът P'_1 се намира над точка D', т.е. на стълб *i*.

Тогава

$$\eta'_{1D}=1;\quad \eta'_{2D}=\frac{l_i-w\cos\gamma_i}{l_i}=1-\frac{w}{l'_i};\quad \eta'_{3D}=\frac{l_i-2w\cos\gamma_i}{l_i}=1-2\frac{w}{l'_i};\ldots$$

$$\eta'_{n-1,D}=\frac{l_i-\left(n_i-2\right)w\cos\gamma_i}{l_i}=1-\left(n_i-2\right)\frac{w}{l'_i};\quad \eta'_{nD}=\frac{l_i-\left(n_i-1\right)w\cos\gamma_i}{l_i}=1-\left(n_i-1\right)\frac{w}{l'_i}.$$

Съответно $V'_{iD}=P'_1+\eta'_{2D}P'_2+\eta'_{3D}P'_3+\ldots+\eta'_{n-1,C}P'_{n-1}+\eta'_{nC}P'_n$.

При еднакви товари $V'_{iD}=n_iP-n_i\dfrac{n_i-1}{2}\dfrac{w}{l'_i}P=n_i\left(1-\dfrac{n_i-1}{2}\dfrac{w}{l'_i}\right)P$.

Освен това, за междустълбие l_i са възможни и следните частни случаи:

I частен случай $A'\equiv B'$ се получава при $\dfrac{l'_i}{w}+\dfrac{l'_{i+1}}{w}>n_i+n_{i+1}-1$ и $\dfrac{l'_i}{w}=n_i$ цяло число.

2д) Товарът P_1' се намира над точка $A' \equiv B'$, тогава

$$\eta_{1A}' = \eta_{1B}' = \frac{(n_i - 1) w \cos\gamma_i}{l_i} = (n_i - 1)\frac{w}{l_i'};\ \eta_{2A}' = \eta_{2B}' = \frac{(n_i - 2) w \cos\gamma_i}{l_i} = (n_i - 2)\frac{w}{l_i'};$$

$$\eta_{3A}' = \eta_{3B}' = \frac{(n_i - 3) w \cos\gamma_i}{l_i} = (n_i - 3)\frac{w}{l_i'};\ \ldots\ \eta_{n-2,A}' = \eta_{n-2,B}' = 2\frac{w \cos\gamma_i}{l_i} = 2\frac{w}{l_i'};$$

$$\eta_{n-1,A}' = \eta_{n-1,B}' = \frac{w \cos\gamma_i}{l_i} = \frac{w}{l_i'}.$$

Съответно $V_{iA}' = V_{iB}' = \eta_{1B}' P_1' + \eta_{2B}' P_2' + \eta_{3B}' P_3' + \ldots + \eta_{n-2,B}' P_{n-2}' + \eta_{n-1,B}' P_{n-1}'$.

При еднакви товари $V_{iA}' = V_{iB}' = \dfrac{n_i (n_i - 1)}{2}\dfrac{w}{l_i'} P = \dfrac{n_i - 1}{2} P$.

2е) Когато товарът P_1' се намира над точка C', на разстояние $n_{i+1} w$ от стълб i+1, натоварването на стълб i ще е същото, както в случай (2в) при $\dfrac{l_i'}{w} + \dfrac{l_{i+1}'}{w} > n_i + n_{i+1} - 1$.

2ж) Когато товарът P_1' се намира над точка D', т.е. на стълб i, тогава

$$\eta_{1D}' = 1;\ \eta_{2D}' = \frac{(n_i - 1) w \cos\gamma_i}{l_i} = (n_i - 1)\frac{w}{l_i'};\ \eta_{3D}' = \frac{(n_i - 2) w \cos\gamma_i}{l_i} = (n_i - 2)\frac{w}{l_i'};\ \ldots$$

$$\eta_{n-1,D}' = 2\frac{w \cos\gamma_i}{l_i} = 2\frac{w}{l_i'};\ \eta_{nD}' = \frac{w \cos\gamma_i}{l_i} = \frac{w}{l_i'} \text{ и съответно}$$

$$V_{iD}' = P_1' + \eta_{2D}' P_2' + \eta_{3D}' P_3' + \ldots + \eta_{n-1,D}' P_{n-1}' + \eta_{nD}' P_n'.$$

При еднакви товари $V_{iD}' = P + n_i \dfrac{n_i - 1}{2}\dfrac{w}{l_i'} P = \left(1 + n_i \dfrac{n_i - 1}{2}\dfrac{w}{l_i'}\right) P$.

II частен случай $A' \equiv B' \equiv C'$ при $\dfrac{l_i'}{w} + \dfrac{l_{i+1}'}{w} = n_i + n_{i+1}$ и $\dfrac{l_i'}{w}$ и $\dfrac{l_{i+1}'}{w}$ цели числа.

2з) Когато товарът P_1' се намира над точка $A' \equiv B' \equiv C'$ натоварването е същото, както при случай (2д), а когато е над точка D', тогава натоварването е както при случай (2ж).

3. Натоварване на стълб *i* при различно положение на товарите в междустълбие l_{i+1}

3а) Товарът P_1'' се намира над точка $A'' \equiv D'$, т.е. на стълб i. Тогава

$$\eta_{1A}'' = 1;\ \eta_{2A}'' = \frac{l_{i+1} - w \cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}} = 1 - \frac{w}{l_{i+1}'};\ \eta_{3Ä}'' = \frac{l_{i+1} - 2w \cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}} = 1 - 2\frac{w}{l_{i+1}'};\ \ldots$$

$$\eta''_{n-1,\ddot{A}}=\frac{l_{i+1}-\left(n_{i+1}-2\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1-\left(n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{nA}=\frac{l_{i+1}-\left(n_{i+1}-1\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1-\left(n_{i+1}-1\right)\frac{w}{l'_{i+1}}.$$

Съответно $V''_{iA}=P''_1+\eta''_{2A}P''_2+\eta''_{3A}P''_3+\ldots+\eta''_{n-1,A}P''_{n-1}+\eta''_{nA}P''_n$.

При еднакви товари $V''_{iA}=n_{i+1}P-n_{i+1}\dfrac{n_{i+1}-1}{2}\dfrac{w}{l'_{i+1}}P=n_{i+1}\left(1-\dfrac{n_{i+1}-1}{2}\dfrac{w}{l'_{i+1}}\right)P.$

3б) Товарът P''_1 се намира в точка B'', т.е. на разстояние $n_i.w$ от стълб i-1 по хордите на междустълбията, съответно на хоризонтално разстояние $\left(n_i.w-l'_i\right)\cos\gamma_{i+1}$ вдясно от стълб i.

При това положение на товарите са възможни три случая, като единият е даден на фиг. 1, а другите два – съответно на фиг. 2 и 3.

На фиг. 1 е даден случаят, когато $\left[l'_{i+1}-\left(n_{i+1}-1\right)w\right]\cos\gamma_{i+1}>\left(n_iw-l'_i\right)\cos\gamma_{i+1}$, т.е. при който $\dfrac{l'_i}{w}+\dfrac{l'_{i+1}}{w}>n_i+n_{i+1}-1$. Тогава

$$\eta''_{1B}=\frac{l_{i+1}-\left(n_iw-l'_i\right)\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}}-n_i\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{2B}=\frac{l_{i+1}-\left[\left(n_i+1\right)w-l'_i\right]\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}}-\left(n_i+1\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{3B}=\frac{l_{i+1}-\left[\left(n_i+2\right)w-l'_i\right]\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}}-\left(n_i+2\right)\frac{w}{l'_{i+1}};\ \ldots$$

$$\eta''_{n-1,B}=\frac{l_{i+1}-\left[\left(n_i+n_{i+1}-2\right)w-l'_i\right]\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}}-\left(n_i+n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{n,B}=\frac{l_{i+1}-\left[\left(n_i+n_{i+1}-1\right)w-l'_i\right]\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}}-\left(n_i+n_{i+1}-1\right)\frac{w}{l'_{i+1}}.$$

Съответно $V''_{iB}=\eta''_{1B}P''_1+\eta''_{2B}P''_2+\eta''_{3B}P''_3+\ldots+\eta''_{n-1,B}P''_{n-1}+\eta''_{nB}P_n$.

При еднакви товари

$$V''_{iB}=\left[n_{i+1}\left(1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}}\right)-n_in_{i+1}\frac{w}{l'_{i+1}}-\frac{n_{i+1}\left(n_{i+1}-1\right)}{2}\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P=n_{i+1}\left(\frac{l'_i}{w}+\frac{l'_{i+1}}{w}-n_i-\frac{n_{i+1}-1}{2}\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P.$$

На фиг. 2 е даден случаят, когато $\left[l'_{i+1}-\left(n_{i+1}-1\right)w\right]\cos\gamma_{i+1}=\left(n_i.w-l'_i\right)\cos\gamma_{i+1}$, т.е. когато $\frac{l'_i+l'_{i+1}}{w}=n_i+n_{i+1}-1$. Тогава $B''\equiv C''$ и съответно

$$\eta''_{1B}=\eta''_{1C}=\frac{\left(n_{i+1}-1\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=\left(n_{i+1}-1\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{2B}=\eta''_{2C}=\frac{\left(n_{i+1}-2\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=\left(n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{3B}=\eta''_{3C}=\frac{\left(n_{i+1}-3\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=\left(n_{i+1}-3\right)\frac{w}{l'_{i+1}};\ \ldots$$

$$\eta''_{n-2,B}=\eta''_{n-2,C}=2\frac{w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=2\frac{w}{l'_{i+1}};\quad \eta''_{n-1,B}=\eta''_{n-1,C}=\frac{w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=\frac{w}{l'_{i+1}}.$$

Съответно $V''_{iB}=V''_{iC}=\eta''_{1B}P''_1+\eta''_{2B}P''_2+\eta''_{3B}P''_3+\ldots+\eta''_{n-2,B}P''_{n-2}+\eta''_{n-1,B}P''_{n-1}$.

При еднакви товари $V''_{iB}=n_{i+1}\frac{n_{i+1}-1}{2}\frac{w}{l'_{i+1}}P$.

На фиг. 3 е даден случаят, когато $\left[l'_i-\left(n_i-1\right)w\right]\cos\gamma_i<\left(n_{i+1}.w-l'_{i+1}\right)\cos\gamma_i$ при който $\frac{l'_i}{w}+\frac{l'_{i+1}}{w}<n_i+n_{i+1}-1$. Тогава

$$\eta''_{1B}=\frac{l_{i+1}-\left(n_iw-l'_i\right)\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}}-n_i\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{2B}=\frac{l_{i+1}-\left[\left(n_i+1\right)w-l'_i\right]\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}}-\left(n_i+1\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{3B}=\frac{l_{i+1}-\left[\left(n_i+2\right)w-l'_i\right]\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}}-\left(n_i+2\right)\frac{w}{l'_{i+1}};\ \ldots$$

$$\eta''_{n-2,B}=\frac{l_{i+1}-\left[\left(n_i+n_{i+1}-3\right)w-l'_i\right]\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}}-\left(n_i+n_{i+1}-3\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{n-1,B}=\frac{l_{i+1}-\left[\left(n_i+n_{i+1}-2\right)w-l'_i\right]\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}}-\left(n_i+n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l'_{i+1}}.$$

Съответно $V''_{iB}=\eta''_{1B}P''_1+\eta''_{2B}P''_2+\eta''_{3B}P''_3+\ldots+\eta''_{n-2,B}P''_{n-2}+\eta''_{n-1,B}P''_{n-1}$.

При еднакви товари

$$V''_{iB}=\left[\left(n_{i+1}-1\right)\left(1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}}\right)-\left(n_{i+1}-1\right)n_i\frac{w}{l'_{i+1}}-\frac{\left(n_{i+1}-1\right)\left(n_{i+1}-2\right)}{2}\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P=$$

$$=\left(n_{i+1}-1\right)\left(\frac{l'_i}{w}+\frac{l'_{i+1}}{w}-n_i-\frac{n_{i+1}-2}{2}\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P.$$

Както и за другото междустълбие, разликата между случаите, дадени на фиг. 1 и фиг. 2 и 3, се състои в това, че при условията на фиг. 2 и 3, когато товарът P'_1 се намира на т. B'', товарите в междустълбие l_{i+1} са с един по-малко отколкото в случая, даден на на фиг. 1.

3в) Товарът P''_1 се намира над т. C'', т.е. на разстояние $\left(n_{i+1}-1\right)w$ от стълб i+1, съответно на хоризонтално разстояние $\left[l'_{i+1}-\left(n_{i+1}-1\right)w\right]\cos\gamma_{i+1}$ вдясно от стълб i.

Тогава случаят е идентичен с този на фиг. 2 при $B''\equiv C''$ и съответно

$$\eta''_{1C}=\eta''_{1B}=\frac{\left(n_{i+1}-1\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=\left(n_{i+1}-1\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{2C}=\eta''_{2B}=\frac{\left(n_{i+1}-2\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=\left(n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{3C}=\eta''_{3B}=\frac{\left(n_{i+1}-3\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=\left(n_{i+1}-3\right)\frac{w}{l'_{i+1}};\ \ldots$$

$$\eta''_{n-2,C}=\eta''_{n-2,B}=2\frac{w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=2\frac{w}{l'_{i+1}};\quad \eta''_{n-1,C}=\eta''_{n-1,B}=\frac{w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=\frac{w}{l'_{i+1}}.$$

При което $V''_{iC}=V''_{iB}=\eta''_{1C}P''_1+\eta''_{2C}P''_2+\eta''_{3C}P''_3+\ldots+\eta''_{n-2,C}P''_{n-2}+\eta''_{n-1,C}P''_{n-1}$.

При еднакви товари $V''_{iC}=V''_{iB}=n_{i+1}\dfrac{n_{i+1}-1}{2}\dfrac{w}{l'_{i+1}}P.$

3г) Товарът P''_1 се намира над точка D'', т.е. на хоризонтално разстояние $w\cos\gamma_{i+1}$ вдясно от стълб i. Тогава

$$\eta''_{1D}=\frac{l_{i+1}-w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1-\frac{w}{l'_{i+1}};\quad \eta''_{2D}=\frac{l_{i+1}-2w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1-2\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{3D}=\frac{l_{i+1}-3w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1-3\frac{w}{l'_{i+1}};\ \ldots\ \eta''_{n-2,D}=\frac{l_{i+1}-\left(n_{i+1}-2\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1-\left(n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{n-1,D}=\frac{l_{i+1}-\left(n_{i+1}-1\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}}=1-\left(n_{i+1}-1\right)\frac{w}{l'_{i+1}}.$$

Съответно $V''_{iD} = \eta''_{1D}P''_1 + \eta''_{2D}P''_2 + \eta''_{3D}P''_3 + ... + \eta''_{n-2,D}P''_{n-2} + \eta''_{n-1,D}P''_{n-1}$.

При еднакви товари $V''_{iD} = \left(n_{i+1} - 1\right)\left(1 - \frac{n_{i+1}}{2}\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P.$

Освен това, за междустълбие l_{i+1} са възможни и следните частни случаи:

I частен случай $C'' \equiv D''$ се получава при $\frac{l'_i}{w} + \frac{l'_{i+1}}{w} > n_i + n_{i+1} - 1$ и $\frac{l'_{i+1}}{w}$ цяло число.

3д) Когато товарът P''_1 се намира над точка A'', т.е. на стълб i, тогава

$$\eta''_{1A} = 1; \quad \eta''_{2A} = \frac{\left(n_{i+1} - 1\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}} = \left(n_{i+1} - 1\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{3A} = \frac{\left(n_{i+1} - 2\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}} = \left(n_{i+1} - 2\right)\frac{w}{l'_{i+1}}; \; ...$$

$$\eta''_{n-1,A} = 2\frac{w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}} = 2\frac{w}{l'_i}; \quad \eta''_{n,A} = \frac{w\cos\gamma_{i+1}}{l_i} = \frac{w}{l'_i} \text{, при което}$$

$$V''_{iA} = P''_1 + \eta''_{2A}P''_2 + \eta''_{3A}P''_3 + ... + \eta''_{n-1,A}P''_{n-1} + \eta''_{n,A}P_n.$$

При еднакви товари $V''_{iA} = P + n_{i+1}\frac{n_{i+1} - 1}{2}\frac{w}{l'_{i+1}}P = \left(1 + n_{i+1}\frac{n_{i+1} - 1}{2}\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P.$

3е) Когато товарът се намира над точка B'', т.е. на разстояние $n_i.w$ от стълб i-1, натоварването ще е същото, както при случай (2б) при който $\frac{l'_i}{w} + \frac{l'_{i+1}}{w} > n_i + n_{i+1} - 1.$

3ж) Когато товарът P''_1 се намира над точка $C'' \equiv D''$

$$\eta''_{1C} = \eta''_{1D} = \frac{\left(n_{i+1} - 1\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}} = \left(n_{i+1} - 1\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{2C} = \eta''_{2D} = \frac{\left(n_{i+1} - 2\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}} = \left(n_{i+1} - 2\right)\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{3C} = \eta''_{3D} = \frac{\left(n_{i+1} - 3\right)w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}} = \left(n_{i+1} - 3\right)\frac{w}{l'_{i+1}}; \; ...$$

$$\eta''_{n-2,C} = \eta''_{n-2,D} = 2\frac{w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}} = 2\frac{w}{l'_{i+1}};$$

$$\eta''_{n-1,C} = \eta''_{n-1,D} = \frac{w\cos\gamma_{i+1}}{l_{i+1}} = \frac{w}{l'_{i+1}}.$$

Съответно $V''_{iC} = V''_{iD} = \eta''_{1C} P''_1 + \eta''_{2C} P''_2 + \eta''_{3C} P''_3 + \ldots + \eta''_{n-2,C} P''_{n-2} + \eta''_{n-1,C} P''_{n-1}$.

При еднакви товари $V''_{iC} = V''_{iD} = n_{i+1} \dfrac{n_{i+1}-1}{2} \dfrac{w}{l'_{i+1}} P.$

II частен случай $B'' \equiv C'' \equiv D''$ при $\dfrac{l'_i}{w}$ и $\dfrac{l'_{i+1}}{w}$ цели числа и $\dfrac{l'_i}{w} + \dfrac{l'_{i+1}}{w} = n_i + n_{i+1}$.

Когато товарът P''_1 се намира над точка A'', тогава натоварването е същото, както при случай (3д), а когато е над точка $B'' \equiv C'' \equiv D''$, тогава натоварването е като при случай (3ж).

4. Сумарно натоварване на стълб *i* от товарите в двете съседни междустълбия l_i и l_{i+1}

Сумарното натоварване на стълбовете е изведено като функция от разположението на най-близките до тях товари от двете съседни междустълбия. При това са възможни следните характерни случаи:

4а) Товарът P'_1 се намира в точка A', т.е. на хоризонтално разстояние $w\cos\gamma_i$ вляво от стълб *i* (2а) и съответно товарът P''_1 се намира над точка A'', т.е. на стълб *i* (3а), тогава

$$V_{iA} = V'_{iA} + V''_{iA} =$$
$$= \left(1-\frac{w}{l'_i}\right)P'_1 + \left(1-2\frac{w}{l'_i}\right)P'_2 + \left(1-3\frac{w}{l'_i}\right)P'_3 + \ldots + \left[1-(n_i-2)\frac{w}{l'_i}\right]P'_{n-2} + \left[1-(n_i-1)\frac{w}{l'_i}\right]P'_{n-1} +$$
$$+ P''_1 + \left(1-\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_2 + \left(1-2\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_3 + \ldots + \left[1-(n_{i+1}-2)\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P''_{n-1} + \left[1-(n_{i+1}-1)\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P_n.$$

При еднакви товари $V_{iA} = (n_i-1)\left(1-\dfrac{n_i}{2}\dfrac{w}{l'_i}\right)P + n_{i+1}\left(1-\dfrac{n_{i+1}-1}{2}\dfrac{w}{l'_{i+1}}\right)P.$

4б) Товарът P'_1 се намира над точка B', т.е. на разстояние $(n_i-1)w$ от стълб *i*-1 по хордата на междустълбието, вляво от стълб *i* (2б) и съответно товарът P''_1 се намира в точка B'', вдясно от стълб *i*, на разстояние $n_i.w$ от стълб *i*-1 по хордите на двете междустълбия (3б). Тогава са възможни следните три случая:

- При $\dfrac{l'_i}{w} + \dfrac{l'_{i+1}}{w} > n_i + n_{i+1} - 1$

$$V_{iB} = V'_{iB} + V''_{iB} = (n_i-1)\frac{w}{l'_i}P'_1 + (n_i-2)\frac{w}{l'_i}P'_2 + (n_i-3)\frac{w}{l'_i}P'_3 + \ldots + 2\frac{w}{l'_i}P'_{n-2} + \frac{w}{l'_i}P'_{n-1} +$$
$$+ \left(1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}} - n_i\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_1 + \left[1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}} - (n_i+1)\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P''_2 + \left[1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}} - (n_i+2)\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P''_3 + \ldots +$$
$$+ \left[1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}} - (n_i+n_{i+1}-2)\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P''_{n-1} + \left[1+\frac{l'_i}{l'_{i+1}} - (n_i+n_{i+1}-1)\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P''_n.$$

Когато товарите са еднакви

$$V_{iB}=n_i\frac{n_i-1}{2}\frac{w}{l_i'}P+n_{i+1}\left(\frac{l_i'}{w}+\frac{l_{i+1}'}{w}-n_i-\frac{n_{i+1}-1}{2}\right)\frac{w}{l_{i+1}'}P.$$

- При $\frac{l_i'}{w}+\frac{l_{i+1}'}{w}=n_i+n_{i+1}-1$, т.е. при $B'\equiv C'$ и $B''\equiv C''$

$$V_{iB}=V_{iB}'+V_{iB}''=\left(n_i-1\right)\frac{w}{l_i'}P_1'+\left(n_i-2\right)\frac{w}{l_i'}P_2'+\left(n_i-3\right)\frac{w}{l_i'}P_3'+\ldots+2\frac{w}{l_i'}P_{n-2}'+\frac{w}{l_i'}P_{n-1}'+$$

$$+\left(n_{i+1}-1\right)\frac{w}{l_{i+1}'}P_1''+\left(n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l_{i+1}'}P_2''+\left(n_{i+1}-3\right)\frac{w}{l_{i+1}'}P_3''+\ldots+2\frac{w}{l_{i+1}'}P_{n-2}''+\frac{w}{l_{i+1}'}P_{n-1}''.$$

Когато товарите са еднакви $V_{iB}=n_i\frac{n_i-1}{2}\frac{w}{l_i'}P+n_{i+1}\frac{n_{i+1}-1}{2}\frac{w}{l_{i+1}'}P.$

- При $\frac{l_i'}{w}+\frac{l_{i+1}'}{w}<n_i+n_{i+1}-1$

$$V_{iB}=V_{iB}'+V_{iB}''=\left(n_i-1\right)\frac{w}{l_i'}P_1'+\left(n_i-2\right)\frac{w}{l_i'}P_2'+\left(n_i-3\right)\frac{w}{l_i'}P_3'+\ldots+2\frac{w}{l_i'}P_{n-2}'+\frac{w}{l_i'}P_{n-1}'+$$

$$+\left(1+\frac{l_i'}{l_{i+1}'}-n_i\frac{w}{l_{i+1}'}\right)P_1''+\left[1+\frac{l_i'}{l_{i+1}'}-\left(n_i+1\right)\frac{w}{l_{i+1}'}\right]P_2''+\left[1+\frac{l_i'}{l_{i+1}'}-\left(n_i+2\right)\frac{w}{l_{i+1}'}\right]P_3''+\ldots+$$

$$+\left[1+\frac{l_i'}{l_{i+1}'}-\left(n_i+n_{i+1}-3\right)\frac{w}{l_{i+1}'}\right]P_{n-2}''+\left[1+\frac{l_i'}{l_{i+1}'}-\left(n_i+n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l_{i+1}'}\right]P_{n-1}''.$$

Когато товарите са еднакви

$$V_{iB}=n_i\frac{n_i-1}{2}\frac{w}{l_i'}P+\left(n_{i+1}-1\right)\left(\frac{l_i'}{w}+\frac{l_{i+1}'}{w}-n_i-\frac{n_{i+1}-2}{2}\right)\frac{w}{l_{i+1}'}P.$$

4в) Товарът P_1' се намира над точка C', т.е. на разстояние $n_{i+1}.w$ от стълб i+1 по хордите на междустълбията и съответно товарът P_1'' се намира над т. C'', т.е. на разстояние $\left(n_{i+1}-1\right)w$ от стълб i+1. Тогава:

- При $\frac{l_i'}{w}+\frac{l_{i+1}'}{w}>n_i+n_{i+1}-1$ се получава

$$V_{iC}=V_{iC}'+V_{iC}''=$$

$$=\left(1+\frac{l_{i+1}'}{l_i'}-n_{i+1}\frac{w}{l_i'}\right)P_1'+\left[1+\frac{l_{i+1}'}{l_i'}-\left(n_{i+1}+1\right)\frac{w}{l_i'}\right]P_2'+\left[1+\frac{l_{i+1}'}{l_i'}-\left(n_{i+1}+2\right)\frac{w}{l_i'}\right]P_3'+\ldots+$$

$$+\left[1+\frac{l_{i+1}'}{l_i'}-\left(n_{i+1}+n_i-2\right)\frac{w}{l_i'}\right]P_{n-1}'+\eta_{n-1,C}'P_{n-1}'+\left[1+\frac{l_{i+1}'}{l_i'}-\left(n_{i+1}+n_i-1\right)\frac{w}{l_i'}\right]P_n'+$$

$$+\left(n_{i+1}-1\right)\frac{w}{l_{i+1}'}P_1''+\left(n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l_{i+1}'}P_2''+\left(n_{i+1}-3\right)\frac{w}{l_{i+1}'}P_3''+\ldots+2\frac{w}{l_{i+1}'}P_{n-2}''+\frac{w}{l_{i+1}'}P_{n-1}''.$$

Когато товарите са еднакви

$$V_{iC} = n_i\left(\frac{l'_i}{w}+\frac{l'_{i+1}}{w}-n_{i+1}-\frac{n_i-1}{2}\right)\frac{w}{l'_i}P+n_{i+1}\frac{n_{i+1}-1}{2}\frac{w}{l'_{i+1}}P.$$

- При $\frac{l'_i}{w}+\frac{l'_{i+1}}{w}=n_i+n_{i+1}-1$, т.е. при $B'\equiv C'$ и $B''\equiv C''$

$$V_{iB}=V'_{iB}+V''_{iB}\equiv V_{iC}=V'_{iC}+V''_{iC}=$$

$$=\left(n_i-1\right)\frac{w}{l'_i}P'_1+\left(n_i-2\right)\frac{w}{l'_i}P'_2+\left(n_i-3\right)\frac{w}{l'_i}P'_3+\ldots+2\frac{w}{l'_i}P'_{n-2}+\frac{w}{l'_i}P'_{n-1}+$$

$$+\left(n_{i+1}-1\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_1+\left(n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_2+\left(n_{i+1}-3\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_3+\ldots+2\frac{w}{l'_{i+1}}P''_{n-2}+\frac{w}{l'_{i+1}}P''_{n-1}.$$

Когато товарите са еднакви $V_{iB}=n_i\frac{n_i-1}{2}\frac{w}{l'_i}P+n_{i+1}\frac{n_{i+1}-1}{2}\frac{w}{l'_{i+1}}P.$

- При $\frac{l'_i}{w}+\frac{l'_{i+1}}{w}<n_i+n_{i+1}-1$

$$V_{iC}=V'_{iC}+V''_{iC}=\left(1+\frac{l'_{i+1}}{l'_i}-n_{i+1}\frac{w}{l'_i}\right)P'_1+\left[1+\frac{l'_{i+1}}{l'_i}-\left(n_{i+1}+1\right)\frac{w}{l'_i}\right]P'_2+$$

$$+\left[1+\frac{l'_{i+1}}{l'_i}-\left(n_{i+1}+2\right)\frac{w}{l'_i}\right]P'_3+\ldots+\left[1+\frac{l'_{i+1}}{l'_i}-\left(n_{i+1}+n_i-3\right)\frac{w}{l'_i}\right]P'_{n-2}+$$

$$+\left[1+\frac{l'_{i+1}}{l'_i}-\left(n_{i+1}+n_i-2\right)\frac{w}{l'_i}\right]P'_{n-1}+\left(n_{i+1}-1\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_1+\left(n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_2+$$

$$+\left(n_{i+1}-3\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_3+\ldots+2\frac{w}{l'_{i+1}}P''_{n-2}+\frac{w}{l'_{i+1}}P''_{n-1}.$$

Когато товарите са еднакви

$$V_{iC}=\left(n_i-1\right)\left(\frac{l'_i}{w}+\frac{l'_{i+1}}{w}-n_{i+1}-\frac{n_i-2}{2}\right)\frac{w}{l'_i}P+n_{i+1}\frac{n_{i+1}-1}{2}\frac{w}{l'_{i+1}}P.$$

4г) Товарът P'_1 се намира над точка D', т.е. на стълб i и съответно товарът P''_1 се намира над точка D'', тогава

$$V_{iD}=V'_{iD}+V''_{iD}=P'_1+\left(1-\frac{w}{l'_i}\right)P'_2+\left(1-2\frac{w}{l'_i}\right)P'_3+\ldots+\left[1-\left(n_i-2\right)\frac{w}{l'_i}\right]P'_{n-1}+$$

$$+\left[1-\left(n_i-1\right)\frac{w}{l'_i}\right]P'_n+\left(1-\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_1+\left(1-2\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_2+\left(1-3\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_3+\ldots+$$

$$+\left[1-\left(n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P''_{n-2}+1-\left(n_{i+1}-1\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_{n-1}.$$

При еднакви товари $V_{iD} = n_i\left(1-\dfrac{n_i-1}{2}\dfrac{w}{l'_i}\right)P + \left(n_{i+1}-1\right)\left(1-\dfrac{n_{i+1}}{2}\dfrac{w}{l'_{i+1}}\right)P$.

Освен това са възможни и следните частни случаи:

I частен случай $A' \equiv B'$ се получава при $\dfrac{l'_i}{w}+\dfrac{l'_{i+1}}{w} > n_i + n_{i+1} - 1$ и $\dfrac{l'_i}{w}$ цяло число.

4д) Товарът P'_1 се намира над точка $A' \equiv B'$ и съответно P''_1 се намира над точка $A'' \equiv B''$, т.е. на стълб *i*. Тогава

$$V_{iA} \equiv V_{iB} = \left(n_i-1\right)\frac{w}{l'_i}P'_1+\left(n_i-2\right)\frac{w}{l'_i}P'_2+\left(n_i-3\right)\frac{w}{l'_i}P'_3+\ldots+2\frac{w}{l'_i}P'_{n-2}+\frac{w}{l'_i}P'_{n-1}+2\frac{w}{l'_i}P'_{n-2}+$$

$$+\frac{w}{l'_i}P'_{n-1}+P''_1+\left(1-\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_2+\left(1-2\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_3+\ldots+\left[1-\left(n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P''_{n-1}+\left[1-\left(n_{i+1}-1\right)\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P_n.$$

При еднакви товари $V_{iA} \equiv V_{iB} = n_i\dfrac{n_i-1}{2}\dfrac{w}{l'_i}P + n_{i+1}\left(1-\dfrac{n_{i+1}-1}{2}\dfrac{w}{l'_{i+1}}\right)P$.

4е) Когато товарът P'_1 се намира над точка C' и съответно товарът P''_1 се намира над точка C'', натоварването на стълб *i* ще е същото, както в случай (3в) при $\dfrac{l'_i}{w}+\dfrac{l'_{i+1}}{w} > n_i + n_{i+1} - 1$.

4ж) Когато товарът P'_1 се намира над точка D', т.е. на стълб *i* и товарът P''_1 се намира над точка D'', тогава

$$V_{iD} = V'_{iD} = V''_{iD} = P'_1+\left(n_i-1\right)\frac{w}{l'_i}P'_2+\left(n_i-2\right)\frac{w}{l'_i}P'_3+\ldots+2\frac{w}{l'_i}P'_{n-1}+\frac{w}{l'_i}P'_n+\left(1-\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_1+$$

$$+\left(1-2\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_2+\left(1-3\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_3+\ldots+\left[1-\left(n_{i+1}-2\right)\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P''_{n-2}+1-\left(n_{i+1}-1\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_{n-1}.$$

При еднакви товари $V_{iD} = \left(1+n_i\dfrac{n_i-1}{2}\dfrac{w}{l'_i}\right)P + \left(n_{i+1}-1\right)\left(1-\dfrac{n_{i+1}}{2}\dfrac{w}{l'_{i+1}}\right)P.$

II частен случай $A' \equiv B' \equiv C'$ се получава при $\dfrac{l'_i}{w}+\dfrac{l'_{i+1}}{w} = n_i + n_{i+1}$, когато $\dfrac{l'_i}{w}$ и $\dfrac{l'_{i+1}}{w}$ са цели числа (фиг. 5).

При тези условия се получава и *III частен случай* $B'' \equiv C'' \equiv D''$.

4з) Когато товарът P'_1 се намира над точка $A' \equiv B' \equiv C'$ и съответно товарът P''_1 се намира над точка A'', т.е. на стълб *i*, тогава

$$V_{iA} \equiv V_{iB} \equiv V_{iC} = \left(n_i - 1\right)\frac{w}{l'_i}P'_1 + \left(n_i - 2\right)\frac{w}{l'_i}P'_2 + \left(n_i - 3\right)\frac{w}{l'_i}P'_3 + \ldots + 2\frac{w}{l'_i}P'_{n-2} + \frac{w}{l'_i}P'_{n-1} +$$

$$+P''_1 + \left(n_{i+1} - 1\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_2 + \left(n_{i+1} - 2\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_3 + \ldots + 2\frac{w}{l'_{i+1}}P''_{n-1} + \frac{w}{l'_{i+1}}P''_n.$$

При еднакви товари $V_{iA} \equiv V_{iB} \equiv V_{iC} = n_i \frac{n_i - 1}{2}\frac{w}{l'_i}P + \left(1 + n_{i+1}\frac{n_{i+1} - 1}{2}\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P.$

4и) Когато товарът P'_1 се намира над точка D', т.е. на стълб *i* и съответно товарът P''_1 се намира над точка D'', тогава

$$V_{iD} = V'_{iD} + V''_{iD} = P'_1 + \left(n_i - 1\right)\frac{w}{l'_i}P'_2 + \left(n_i - 2\right)\frac{w}{l'_i}P'_3 + \ldots + 2\frac{w}{l'_i}P'_{n-1} + \frac{w}{l'_i}P'_n +$$

$$+\left(n_{i+1} - 1\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_1 + \left(n_{i+1} - 2\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_2 + \left(n_{i+1} - 3\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_3 + \ldots + 2\frac{w}{l'_{i+1}}P''_{n-2} + \frac{w}{l'_{i+1}}P''_{n-1}.$$

При еднакви товари $V_{iD} = \left(1 + n_i\frac{n_i - 1}{2}\frac{w}{l'_i}\right)P + n_{i+1}\frac{n_{i+1} - 1}{2}\frac{w}{l'_{i+1}}P.$

IV частен случай $C'' \equiv D''$ се получава при $\frac{l'_i}{w} + \frac{l'_{i+1}}{w} > n_i + n_{i+1} - 1$ и $\frac{l'_{i+1}}{w}$ цяло число (фиг. 6).

4к) Когато товарът P''_1 се намира над точка A'', т.е. на стълб *i* и съответно товарът P'_1 се намира над точка A', тогава

$$V_{iA} = V'_{iA} + V''_{iA} = \left(1 - \frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_1 + \left(1 - 2\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_2 + \left(1 - 3\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P''_3 + \ldots + \left[1 - \left(n_{i+1} - 2\right)\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P''_{n-2} +$$

$$+\left[1 - \left(n_{i+1} - 1\right)\frac{w}{l'_{i+1}}\right]P''_{n-1} + P''_1 + \left(n_{i+1} - 1\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_2 + \left(n_{i+1} - 2\right)\frac{w}{l'_{i+1}}P''_3 + \ldots + 2\frac{w}{l'_{i+1}}P''_{n-1} + \frac{w}{l'_{i+1}}P''_n.$$

При еднакви товари $V_{iA} = \left(n_i - 1\right)\left(1 - \frac{n_i}{2}\frac{w}{l'_i}\right)P + \left(1 + n_{i+1}\frac{n_{i+1} - 1}{2}\frac{w}{l'_{i+1}}\right)P.$

4л) Когато товарът P''_1 се намира над точка B'', т.е. на разстояние $n_i.w$ от стълб $i - 1$ по хордите на междустълбията и съответно P'_1 се намира над точка B', т.е. на разстояние $\left(n_i - 1\right)w$ от стълб *i*–1, натоварването ще е същото, както при случай (4б) при $\frac{l'_i}{w} + \frac{l'_{i+1}}{w} > n_i + n_{i+1} - 1$.

4м) Когато товарът P''_1 се намира над точка $C'' \equiv D''$ и съответно P'_1 се намира над точка $C' \equiv D'$, т.е. на стълб *i*, тогава

$$V_{iC} \equiv V_{iD} = P_1' + \left(1 - \frac{w}{l_i'}\right)P_2' + \left(1 - 2\frac{w}{l_i'}\right)P_3' + ... + \left[1 - (n_i - 2)\frac{w}{l_i'}\right]P_{n-1}' + \left[1 - (n_i - 1)\frac{w}{l_i'}\right]P_n' +$$

$$+(n_{i+1} - 1)\frac{w}{l_{i+1}'}P_1'' + (n_{i+1} - 2)\frac{w}{l_{i+1}'}P_2'' + (n_{i+1} - 3)\frac{w}{l_{i+1}'}P_3'' + ... + 2\frac{w}{l_{i+1}'}P_{n-2}'' + \frac{w}{l_{i+1}'}P_{n-1}''.$$

При еднакви товари $V_{iC} \equiv V_{iD} = n_i\left(1 - \frac{n_i - 1}{2}\frac{w}{l_i'}\right)P + n_{i+1}\frac{n_{i+1} - 1}{2}\frac{w}{l_{i+1}'}P.$

V частен случай $B'' \equiv C'' \equiv D''$ се получава при $\frac{l_i'}{w} + \frac{l_{i+1}'}{w} = n_i + n_{i+1}$ и $\frac{l_i'}{w}$, $\frac{l_{i+1}'}{w}$ цели числа, като при същите условия се получава и II частен случай при $A' \equiv B' \equiv C'$.

5н) Когато товарът P_1'' се намира над точка A'', т.е. на стълб *i* и товарът P_1' се намира над точка A', натоварването на стълб *i* ще е същото, както при случай (4з).

5о) Когато товарът P_1'' се намира над точка D'' и товарът P_1' – над точка D', т.е. на стълб *i*, натоварването на стълб *i* ще е същото както при случай (4и).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дукельский, А. Й*. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. Москва-Ленинград, 1951, 1966.

2. *Пачилов, В*. Характер на изменението на вертикалното натоварване на стълбовете на въжените линии при движение на подвижния състав.

VERTICAL LOAD ON THE PILLARS OF ROPEWAYS AT ANY NUMBER OF LOADS IN TWO NEIGHBORING INTERPOLES

V. Pachilov[1]

Keywords*: ropeways, diagrams of the vertical load of poles, lines of influence*

ABSTRACT

The formulas for calculating the vertical load on the pillars of the ropeways during movement of any number of different or same weight concentrated loads in two neighboring interpoles are derived. The characteristic points on the diagram of their change in accordance with the ratio of the distance between those concentrated loads and the lengths of the two adjacent interpoles as well as with the distance between those concentrated loads and the sum of these interpoles are identified.

[1] Velichko Pachilov, Sc. As. Eng., 22 Petko Karavelov Blvd., Bl. 62A, Sofia 1408, tel. 02/954-76-59, GSM 0897-855-531, e-mail: brod_prw@abv.bg