

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА РАБОТНИЯ ОБЕМ НА РОТАЦИОННИТЕ РОЛКОВИ ПНЕВМАТИЧНИ ДВИГАТЕЛИ

Георги Фетваджиев

Минно-геоложки университет  
"Св. Иван Рилски"  
София 1700, България

### РЕЗЮМЕ

Проследено е извеждането на аналитични зависимости за определяне на моментните стойности на камерите, на работния обем на една камера и на работния обем на целия двигател, валидни за ротационните ролкови пневматични двигатели. Могат да се използват за определяне на теоретичната работа, мощността, въртящия момент и разходът на състен въздух необходими при проектирането и технологичното пресмятане на този тип двигатели.

Основен проблем при оразмеряването на ротационните ролкови пневматични двигатели (РРПД) е определянето на работния обем на двигателя, а оттук и на теоретичната му работа, мощност и въртящ момент.

Не е известен метод за определяне на работния обем на РРПД или по-точно на обема на камерите му в зависимост от ъгъла на завъртането им. В момента той се определя с помощта на аналитичните методи за оразмеряване на ротационните пластинкови двигатели (Зеленецкий, Ряпов, Микеров, 1976; Зиневич, Ярмоленко, Калита, 1975; Макагон, 1971), които са неточни при оразмеряването на РРПД. При използването на тези методи работният обем на камерите се увеличава, защото не се отчита намаляването на обема от наличието на ролки.

Както и при ротационните пластинкови двигатели работният обем на РРПД се определя по формулата (Зиневич, Ярмоленко, Калита, 1975):

$$V_{\text{дв}} = V_p \cdot z, \text{ m}^3, (1)$$

където:

$V_{\text{дв}}$  е работен обем на двигателя,  $\text{m}^3$ ;

$V_p$  - работен обем на една камера,  $\text{m}^3$ ;

$z$  - брой на работните камери равен на броя на ролките.

Обемът на една камера е пространството, затворено между две съседни ролки, повърхнините на ротора, цилиндъра и страничните дискове.

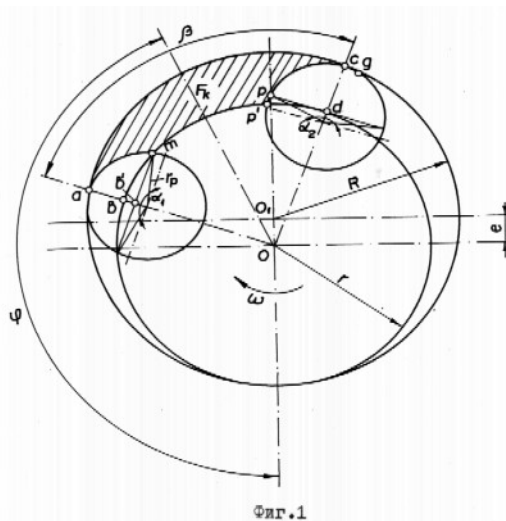
$$V_p = V_{\text{max}} - V_{\text{min}}, \text{ m}^3, (2)$$

където:

$V_{\text{max}}$  е максималният работен обем на камерата,  $\text{m}^3$ ;

$V_{\text{min}}$  - минималният работен обем на камерата,  $\text{m}^3$ .

Съгласно схемата на фиг. 1 максималния работен обем  $V_{\text{max}}$  се получава при ъгъл на завъртане на ротора  $\varphi = \pi$ , а минималния  $V_{\text{min}}$  - при  $\varphi = 0$ .



Фигура 1. Определяне площта на напречното сечение  $F_k$  на работната камера

Определянето на работния обем на камерата се свежда до определяне на площта на камерата в зависимост от ъгъла на завъртане  $\varphi$  на ротора. Този площ е заштрихованата площ **атрс** на фиг. 1.

Ако се приеме, че точката на контакта на сечението на ролката с окръжността на цилиндъра  $g$  съвпада във всеки един момент от завъртането на ротора с точка  $c$ , която е пресечна точка на окръжността на ролката с продължението на радиуса на ротора, преминаващ през центъра на

ролката, то за моментната стойност на работния обем на камерата може да се запише

$$V_k = F_k \cdot b, \text{ m}^3, (3)$$

където:

$V_k$  е моментна стойност на работния обем на камерата,  $\text{m}^3$ ;

$F_k$  - площ на камерата, равна на площта **амрс**,  $\text{m}^2$ ;

$b$  - дължина на ротора (цилиндъра и ролката),  $\text{m}$ .

Площта на камерата се определя, съгласно равенството (фиг. 1)

$$F_k = F_{abdc} - F_{abm} - F_{pdc}, \text{ m}^2, (4)$$

където  $F_{abdc}$  е площ на камерата без да е отчетена площта на ролките. Тя се определя по известната формула за площ на камерата при ротационните пластинкови двигатели без да е взета предвид дебелината на пластината (Зиневич, Ярмоленко, Калита, 1975).

$$F_{abdc} = \frac{\beta}{2} (R^2 - r^2) - 2eR \cos \varphi \cdot \sin \frac{\beta}{2} + \frac{e^2}{2} \cos 2\varphi \cdot \sin \beta, \text{ m}^2, (5)$$

където:

$\beta$  е ъгъл между ролките,  $\text{rad}$ ;

$R$  - радиус на цилиндъра,  $\text{m}$ ;

$r$  - радиус на ротора,  $\text{m}$ ;

$e$  - ексцентрицитет между осите  $O$  и  $O_1$  на ротора цилиндъра,  $\text{m}$ .

$F_{abm}$  и  $F_{pdc}$  са половината от площите на двете съседни ролки, намиращи се над ротора,  $\text{m}^2$ .

Площите на ролките над ротора могат да се приемат за площи на сегменти от напречните сечения на ролките. Тогава площта на камерата ще се намали с площ  $bb'm$  от площта на левия сегмент и ще се увеличи с площ  $pp'd$ , която не е включена в площта на десния сегмент. Тези площи се приблизително равни, поради което влиянието им върху площта на камерата може да се пренебрегне.

По известната формула за площ на сегмент (Бронштейн, Семендяев, 1986) за площите  $F_{abm}$  и  $F_{pdc}$  се получава:

$$F_{abm} = \frac{r_p^2}{4} (\alpha_1 - \sin \alpha_1), \text{ m}^2;$$

$$F_{pdc} = \frac{r_p^2}{4} (\alpha_2 - \sin \alpha_2), \text{ m}^2; (6)$$

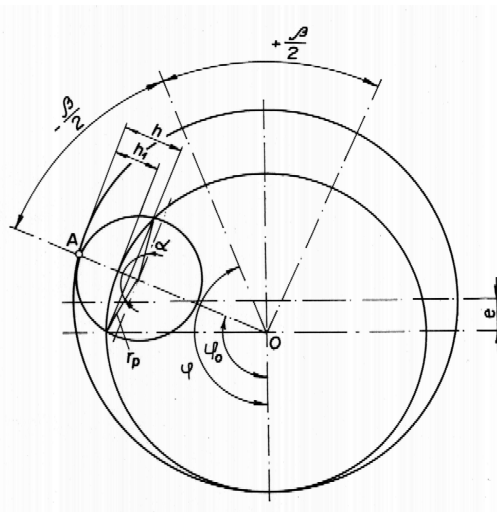
където:

$r_p$  е радиус на ролките,  $\text{m}$ ;

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - ъгли, определящи съответно левия и десния сегмент от двете страни на камерата,  $\text{rad}$ .

Ъглите  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  се разполюват от отсечките  $Oa$  и  $Oc$ , намиращи се спрямо правата минаваща през средата на

камерата съответно на ъгъл  $-\frac{\beta}{2}$  и  $+\frac{\beta}{2}$  (фиг. 2). Средата на камерата се определя от ъгъла на завъртане на ротора  $\varphi$ .



Фигура 2. Схема за определяне положението на работната камера в зависимост от ъгъла на завъртане на ротора  $\varphi$

Изразите (5) и (6) се заместват в (4) и за площта на камерата се получава

$$F_k = \frac{\beta}{2} (R^2 - r^2) - 2eR \cos \varphi \cdot \sin \frac{\beta}{2} + \frac{e^2}{2} \cos 2\varphi \cdot \sin \beta - \frac{r_p^2}{4} [(\alpha_1 - \sin \alpha_1) + (\alpha_2 - \sin \alpha_2)], \text{ m}^2. (7)$$

За да се установи изменението на площта  $F_k$  от ъгъла на завъртане  $\varphi$ , трябва ъглите  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  да се изразят чрез този ъгъл.

За да се определи ъгъл  $\alpha$  в зависимост от ъгъла  $\varphi$  (фиг. 2), се приема, че разликата между височината на сегмента  $h$  и височината на излязлата над ротора част от ролката  $h_1$  е много малка и може да се пренебрегне. Тогава  $h=h_1$ .

Изменението на височината  $h$  в зависимост от ъгъла на завъртане на ролката заедно с ротора се определя по формулата (Зиневич, Ярмоленко, Калита, 1975) (фиг. 2)

$$h = e(1 - \cos \varphi_0), \text{ m}, (8)$$

където  $\varphi_0$  е ъгъл на завъртане на ролката заедно с ротора,  $\text{rad}$ .

Височината  $h$ , приета и за височина на сегмента, може да се определи и по формулата (Бронштейн, Семендяев, 1986) (фиг. 2).

$$h = r_p \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right), \text{ m. (9)}$$

Приравнявайки десните части на формули (8) и (9) за ъгъл  $\alpha$  се получава

$$\alpha = 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e(1 - \cos \varphi_0)}{r_p} \right], \text{ rad. (10)}$$

Като се знае, че ролките и ъглите  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  на сегментите са изместени спрямо средата на камерата на ъгъл  $\frac{\beta}{2}$  и това се отрази в ъгъл  $\varphi_0$ , за тях се получава

$$\alpha_1 = 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e \left[ 1 - \cos \left( \varphi + \frac{\beta}{2} \right) \right]}{r_p} \right], \text{ rad. ;}$$

$$\alpha_2 = 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e \left[ 1 - \cos \left( \varphi - \frac{\beta}{2} \right) \right]}{r_p} \right], \text{ rad. (11)}$$

Моментната площ на камерата се получава, като ъглите  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  от (11) се заместят във формула (7) при отчитане на ъгъла на завъртане на камерата (ротора)  $\varphi$ .

Площите  $F_{\max}$  и  $F_{\min}$  на камерата се получават при ъгли на завъртане съответно:  $\varphi = \pi$  и  $\varphi = 0$ . При тези ъгли камерата е разположена симетрично спрямо вертикалната ос на двигателя и площите  $F_{abm}$  и  $F_{pdc}$  са равни. За тези два случая във формула (7) се приема  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ .

Тогава за максималната и минимална площ на камерата се получава съответно:

$$F_{\max} = \frac{\beta}{2} (R^2 - r^2) + 2eR \sin \frac{\beta}{2} + \frac{e^2}{2} \sin \beta -$$

$$- \frac{r_p^2}{4} \left\{ 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e \left( 1 + \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right] - \sin \left[ 2 \arccos \left( 1 - \frac{e \left( 1 + \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right) \right] \right\}, \text{ m}^2; \text{ (12)}$$

$$F_{\min} = \frac{\beta}{2} (R^2 - r^2) - 2eR \sin \frac{\beta}{2} + \frac{e^2}{2} \sin \beta -$$

$$- \frac{r_p^2}{4} \left\{ 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right] - \sin \left[ 2 \arccos \left( 1 - \frac{e \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right) \right] \right\}, \text{ m}^2. \text{ (13)}$$

Полагаме изразите

$$\frac{r_p^2}{4} \left\{ 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e \left( 1 + \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right] - \sin \left[ 2 \arccos \left( 1 - \frac{e \left( 1 + \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right) \right] \right\} = A;$$

$$\frac{r_p^2}{4} \left\{ 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right] - \sin \left[ 2 \arccos \left( 1 - \frac{e \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right) \right] \right\} = B$$

Като се извършат означените полагания във формули (12) и (13) и се заместят във формула (2), отчитайки дължината на камерата  $b$ , се получава израз за определяне на работния обем на една камера на РРПД.

$$V_p = b \cdot \left[ \frac{\beta}{2} (R^2 - r^2) + 2eR \sin \frac{\beta}{2} + \frac{e^2}{2} \sin \beta - A \right] - b \cdot \left[ \frac{\beta}{2} (R^2 - r^2) - 2eR \sin \frac{\beta}{2} + \frac{e^2}{2} \sin \beta - B \right], \text{ m}^3;$$

или

$$V_p = b \cdot \left( 4eR \sin \frac{\beta}{2} - A + B \right), \text{ m}^3 \quad (14)$$

Работният обем на двигателя се определя по формула (1) в която е заместена формула (14).

$$V_{\text{дв}} = V_p \cdot z = zb \cdot \left( 4eR \sin \frac{\beta}{2} - A + B \right), \text{ m}^3. \text{ (15)}$$

## ИЗВОДИ

1. Изведен е аналитичен израз (7) за определяне моментните стойности на площта на камерите на ротационните ролкови пневматични двигатели в зависимост от ъгъла на завъртане на ротора.
2. Изведени са формули за определяне на работния обем на една камера (14) и работния обем на целия двигател (15), с чиято помощ, в процеса на конструиране, могат да се определят теоретичната работа, разходът на сгъстен въздух, мощността и въртящия момент на ротационните ролкови пневматични двигатели.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бронштейн И. Н., К. А. Семендяев. 1986. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М. Наука.
- Зеленецкий С. Б., Е. Д. Ряпов, А. Г. Микеров. 1976. Ротационные пневматические двигатели. Л. Машиностроение.
- Зиневич В. Д., Г. З. Ярмоленко, Е. Г. Калита. 1975. Пневматические двигатели горных машин, М. Недра.
- Макагон Л. 1971. Графоаналитический метод определения объемов рабочих камер ротационного пневмодвигателя с радиальными пластинками. Горная электромеханика и автоматика, 19, М.

## WORK VOLUME EVALUATION OF ROTARY ROLLER PNEUMATIC MOTORS

Georgy Fetvadjiiev

University of Mining and Geology  
"St. Ivan Rilski"  
Sofia 1700, Bulgaria

### SUMMARY

Analytical expressions applied for rotary roller pneumatic motors are presented in the paper. They refer to cameras' momentum values, the work volume of one camera, and the work volume of whole motor. These expressions can be used for theoretical work, power, rolling momentum and compressed air discharge evaluation at design and technological stage of such motors.

Main problem in dimensioning of rotary roller pneumatic motors (RRPM) is evaluation of work volume of motor and consequently its theoretical work, power and rotating momentum.

Method for RRPM work volume evaluation and more specifically its' cameras in regard of their whirling angle has not been recognized yet. Methods for dimensioning of rotational plate motors (Zeleneckii, Rjapov, Mikerov, 1976; Zinevich, Jarmolenko, Kapita, 1975; Makagon, 1971) are utilised for RRPM, imposing some errors due to neglecting the rollers volume which reduce the volume of camera.

Work volume of RRPM is defined under the following expression (also used for rotational plate motors) (Zinevich, Jarmolenko, Kapita, 1975):

$$V = V_p \cdot z, \text{ m}^3, (1)$$

where:

- $V$  is work volume of motor,  $\text{m}^3$ ;
- $V_p$  – work volume of one camera,  $\text{m}^3$ ;
- $z$  – work cameras number, equal to number of rollers.

Camera volume is the space enclosed by two neighbor rollers, rotor surface and side disks.

$$V_p = V_{\max} - V_{\min}, \text{ m}^3, (2)$$

where:

- $V_{\max}$  is maximal work volume of camera,  $\text{m}^3$ ;
- $V_{\min}$  – is minimal work volume of camera,  $\text{m}^3$ .

As figure 1 shows maximal work volume  $V_{\max}$  is achieved for rotor rotation angle  $\varphi = \pi$ , while the minimal  $V_{\min}$  – when  $\varphi = 0$ .

Camera work volume evaluation is reduced to evaluation of camera cross section area depending on rotor rotation angle  $\varphi$ . This area is hatched zone named as **ampc** on figure 1.

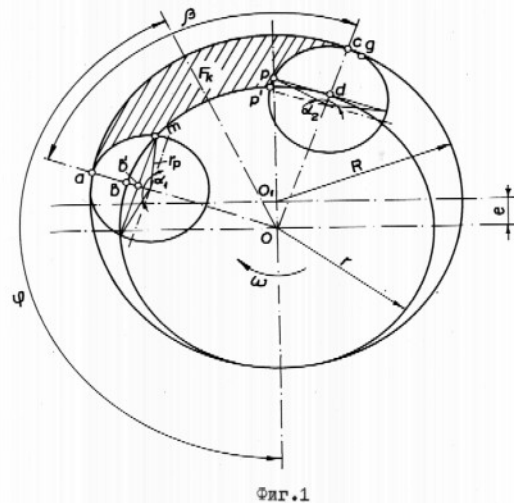


Figure 1. Cross section  $F_k$  of work camera

If we assume the following:

- Touch point of cross section of cylinders' circumference  $g$  coincides with point  $c$  at any moment of rotor rotation;
  - This point is cross point of roller circumference and rotor radius extension
- momentum value of camera work volume can be written as:

$$V_k = F_k \cdot b, \text{ m}^3, (3)$$

where:

- $V_k$  is momentum value of camera work volume,  $\text{m}^3$ ;
- $F_k$  – camera area, equal to cross section of **ampc**,  $\text{m}^2$ ;
- $b$  – rotor length (cylinder and roller),  $\text{m}$ .

Camera area is evaluated under formula (fig. 1)

$$F_k = F_{abdc} - F_{abm} - F_{pdc}, \text{ m}^2, (4)$$

where  $F_{abdc}$  is camera cross section including rollers' area. It is evaluated under well-known formula for camera cross section of rotation plate motors, neglecting plates width (Zinevich, Jarmolenko, Kapita, 1975).

$$F_{abdc} = \frac{\beta}{2} (R^2 - r^2) - 2eR \cos \varphi \cdot \sin \frac{\beta}{2} +$$

$$+ \frac{e^2}{2} \cos 2\varphi \cdot \sin \beta, m^2, (5)$$

where:

- $\beta$  is angle between rollers, rad;
- $R$  – cylinder radius, m;
- $r$  – rotor radius, m;
- $e$  - eccentricity between axes  $O$  and  $O_1$  of rotor and cylinder, m.

$F_{abm}$  and  $F_{pdc}$  are half of areas of two neighbor rollers, located over the rotor,  $m^2$ .

Rollers areas over the rotor are set to be areas of segments of cross sections of rollers. Then camera area should be reduced with  $bb'm$  from left segment area and will increase with  $pp'd$ , which is not included into the right segment. These areas are almost equal and their influence on camera area can be neglected.

By applying well-known formula for segment area (Bronstein Semendjaev; 1986)  $F_{abm}$  and  $F_{pdc}$  can be written as:

$$F_{abm} = \frac{r_p^2}{4} (\alpha_1 - \sin \alpha_1), m^2;$$

$$F_{pdc} = \frac{r_p^2}{4} (\alpha_2 - \sin \alpha_2), m^2; (6)$$

where:

- $r_p$  is rollers' radius, m;
- $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  – are angles, defining correspondingly left and right segment from both sides of camera, rad.

Angles  $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  are divided into halves by segment  $Oa$  and  $Oc$ , located compared to line crossing the camera at it half correspondingly to angles  $-\frac{\beta}{2}$  and  $+\frac{\beta}{2}$  (fig. 2). Half of the camera is evaluated by rotor rotation angle  $\varphi$ .

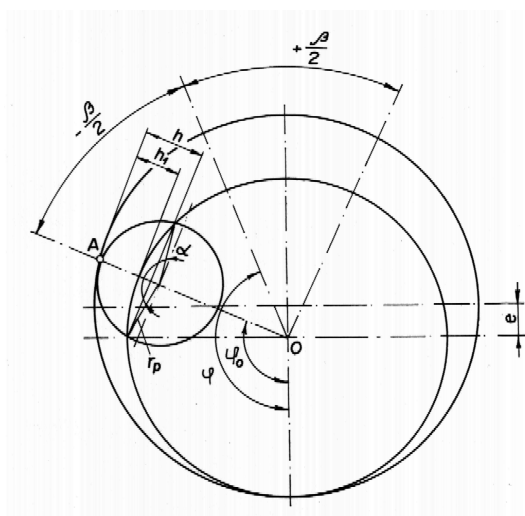


Figure 2. Work camera location in accordance with rotor rotation angle  $\varphi$

Expressions (5) and (6) are substituted into (4) and camera area is:

$$F_k = \frac{\beta}{2} (R^2 - r^2) - 2eR \cos \varphi \cdot \sin \frac{\beta}{2} +$$

$$+ \frac{e^2}{2} \cos 2\varphi \cdot \sin \beta -$$

$$- \frac{r_p^2}{4} [(\alpha_1 - \sin \alpha_1) + (\alpha_2 - \sin \alpha_2)], m^2. (7)$$

In order to estimate changes in area  $F_k$  depending on rotation angle  $\varphi$ , angles  $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  should be written with this angle.

Evaluation of  $\alpha$  in accordance with rotation angle  $\varphi$  (fig. 2), we assumed that difference between height of segment  $h$  and height of sticking up part of roller over the rotor  $h_1$  is very little and can be neglected ( $h=h_1$ ).

Changes in height  $h$  in accordance with rotation angle together with rotor height is evaluated under the formula (Zinevich, Jarmolenko, Kapita, 1975) (fig. 2)

$$h = e(1 - \cos \varphi_0), m, (8)$$

Where  $\varphi_0$  is roller rotation angle together with rotor, rad.

Height  $h$ , set to be also the segment height, can be evaluated also under the following expression (Bronstein Semendjaev; 1986) (fig. 2)

$$h = r_p \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right), m. (9)$$

Equalizing right parts of (8) and (9) for  $\alpha$  we received:

$$\alpha = 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e(1 - \cos \varphi_0)}{r_p} \right], rad. (10)$$

Bearing in mind that segments rollers angles  $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  are shifted towards camera half at angel  $\frac{\beta}{2}$  and putting that information into expression for  $\varphi_0$ , we can obtain

$$\alpha_1 = 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e \left[ 1 - \cos \left( \varphi + \frac{\beta}{2} \right) \right]}{r_p} \right], rad ;$$

$$\alpha_2 = 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e \left[ 1 - \cos \left( \varphi - \frac{\beta}{2} \right) \right]}{r_p} \right], rad. (11)$$

Camera momentum area is evaluated when angles  $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  from (11) are substituted into (7) under taking into account camera (rotor) rotation angle  $\varphi$ .

Areas  $F_{max}$  and  $F_{min}$  of the camera are obtained under rotation angles correspondingly:  $\varphi = \pi$  и  $\varphi = 0$ . For that figures camera is symmetrically located towards vertical axes of motor

and areas  $F_{abm}$  and  $F_{pdc}$  are equal. For this two cases in formula (7) is assumed that  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ .

Maximal and minimal camera area is obtained correspondingly:

$$F_{\max} = \frac{\beta}{2} (R^2 - r^2) + 2eR \sin \frac{\beta}{2} + \frac{e^2}{2} \sin \beta - \frac{r_p^2}{4} \left\{ 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e \left( 1 + \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right] - \sin \left[ 2 \arccos \left( 1 - \frac{e \left( 1 + \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right) \right] \right\}, m^2; (12)$$

$$F_{\min} = \frac{\beta}{2} (R^2 - r^2) - 2eR \sin \frac{\beta}{2} + \frac{e^2}{2} \sin \beta - \frac{r_p^2}{4} \left\{ 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right] - \sin \left[ 2 \arccos \left( 1 - \frac{e \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right) \right] \right\}, m^2. (13)$$

We put the expressions

$$\frac{r_p^2}{4} \left\{ 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e \left( 1 + \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right] - \sin \left[ 2 \arccos \left( 1 - \frac{e \left( 1 + \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right) \right] \right\} = A;$$

$$\frac{r_p^2}{4} \left\{ 2 \arccos \left[ 1 - \frac{e \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right] - \sin \left[ 2 \arccos \left( 1 - \frac{e \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right) \right] \right\} = B;$$

$$- \sin \left[ 2 \arccos \left( 1 - \frac{e \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)}{r_p} \right) \right] \right\} = B$$

After setting up the above written expressions into (12) and (13) and their substitution into (2), taking into account camera length  $b$ , expression for one camera work volume for RRPM is developed

$$V_p = b \left[ \frac{\beta}{2} (R^2 - r^2) + 2eR \sin \frac{\beta}{2} + \frac{e^2}{2} \sin \beta - A \right] - b \left[ \frac{\beta}{2} (R^2 - r^2) - 2eR \sin \frac{\beta}{2} + \frac{e^2}{2} \sin \beta - B \right], m^3;$$

or

$$V_p = b \left( 4eR \sin \frac{\beta}{2} - A + B \right), m^3 \quad (14)$$

Motor work volume is evaluated under formula (1) which is substituted into (14)

$$V_{дв} = V_p \cdot z = zb \left( 4eR \sin \frac{\beta}{2} - A + B \right), m^3. (15)$$

## CONCLUSIONS

1. Analytical expression (7) for moment values evaluation of rotational rollers motors camera areas in accordance with rotor rotation angle is worked out.
2. Also formulas for one camera work volume (14) and work volume of whole motor (15) are worked out. Their application in design process can help in evaluation theoretical work, compressed air discharge, power and rotating moment of rotation rollers pneumatic motors.

## REFERENCES

- Bronstein I.N., K.A. Semendjaev. 1986. Reference math book for engineer, Moscow, Nauka, (russian text).
- Zeleneckii S.B., E.D. Rjapov, A.G. Mikerov. 1976. Rotational pneumatic motors, Leningrad, Mashinostroene, (russian text).
- Zinevich V.D., G.Z. Jarmolenko, E.G. Kapita. 1975. Mine machines' pneumatic motors, Moscow, Nedra, (russian text).
- Makagon L. 1971. Graph analytical method for work cameras volumes evaluation for rotation pneumo motors with radial plates, Gornaja elektromechanika I avtomatika, 19, M. (russian text).

*Recommended for publication by Department  
of Mine Mechanization, Faculty of Mining Electromechanics*