

МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ ЗА ИЗТИЧАНЕ НА БАРУТНИ ГАЗОВЕ ПРЕЗ СРЯЗАН УПЛЪТНИТЕЛЕН ПРЪСТЕН ЗА ГЛАДКОСТЕННИ МИНОХВЪРГАЧНИ СИСТЕМИ

Валентин Иванов, Валентин Радев

*Институт за перспективни изследвания за отбраната – ВА „Г. С. Раковски”
e-mail: vivanof@abv.bg; radevv2000@yahoo.com*

Ключови думи: *разход на газове, модел, уплътнителен пръстен, мина.*

Резюме: *Разработен е математичен модел за изтичане на барутни газове през срязан уплътнителен пръстен, монтиран към корпуса на мина за гладкостенни минохвъргачни системи. Направените изводи показват, че предложеният модел е по-широко приложим, а резултатите са сравними с такива на други изследователи и използването му би улеснило проектирането на уплътнителния пръстен и определянето на конструктивните му характеристики в зависимост от параметрите на работната среда.*

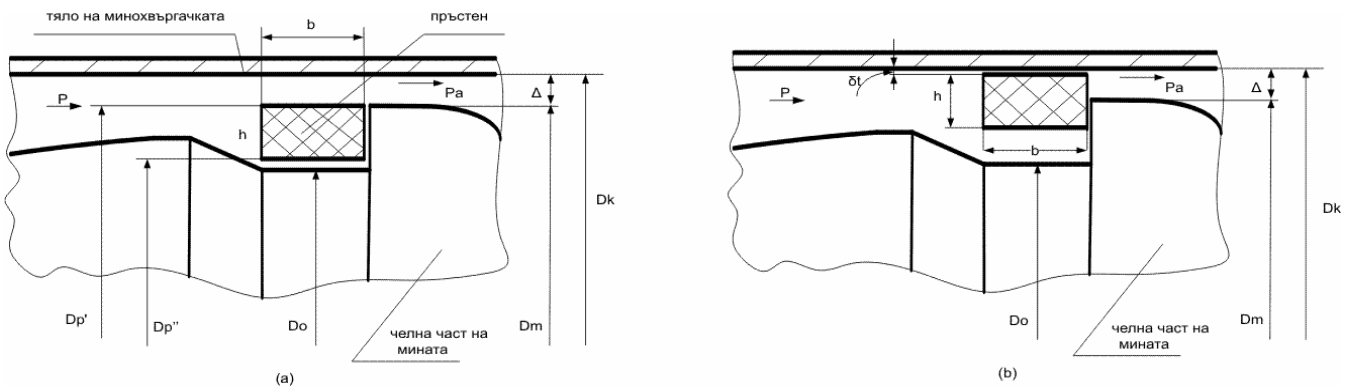
Известно е, че при класическото лабиринтно уплътнение се постига ограничаване на обемните загуби от барутни газове между тялото и мината посредством контролирана хлабина, гарантираща произвеждането на изстрел.

Използването на уплътнителен пръстен, монтиран върху мина за гладкостенни миномети, е принципно нов подход и се явява алтернатива на познатото лабиринтно решение. В достъпната литература пръстенът само е споменат като елемент към боеприпаса. Не са познати теоретични или експериментални изследвания, касаещи механизма на уплътняване, изтичането на газове и разхода им при неговата употреба в минохвъргачните системи.

Известните от общото машиностроене модели за изтичане на газове през срязани пръстени се отнасят най-вече към схемата “цилиндър-уплътнител-бутало”. Характерно тук е предварителната стегнатост при монтаж на пръстена и двустранното му ограничаване в канала. В специализираната литература въпросът за разхода на газове при мина с лабиринтно уплътнение е разгледан частично.

И в двата случая аналитичните изследвания са конкретизирани спрямо опитните резултати чрез експериментално установени коефициенти, но тяхното прилагане не би било коректно по отношение на мина с уплътнителен пръстен.

В разглежданото решение става въпрос за свободно монтиран едностранно ограничен уплътнителен елемент, работещ в условията на явлението “изстрел”. На Фиг. 1 (а) е показано положението на пръстена при зареждане на минохвъргачката. Външният му диаметър (в свободно състояние) е по-малък или равен на този в цилиндричната част на мината, с което се запазва радиалната хлабина “ Δ ”, гарантираща произвеждането на изстрел. След възпламеняване на метателния заряд пръстенът се притиска към челото на мината и се деформира до контакт с тялото, като осъществява уплътнителен ефект в съответните повърхности (Фиг. 1 (b)). Предлаганият модел е разработен при адиабатен процес за изстрела, като се базира на определена конфигурация на пръстена, избран материал за него и решена задача за вътрешната балистика спрямо съответната минохвъргачна система. Пренебрегва се топлообменът между газовата среда и уплътнителя.

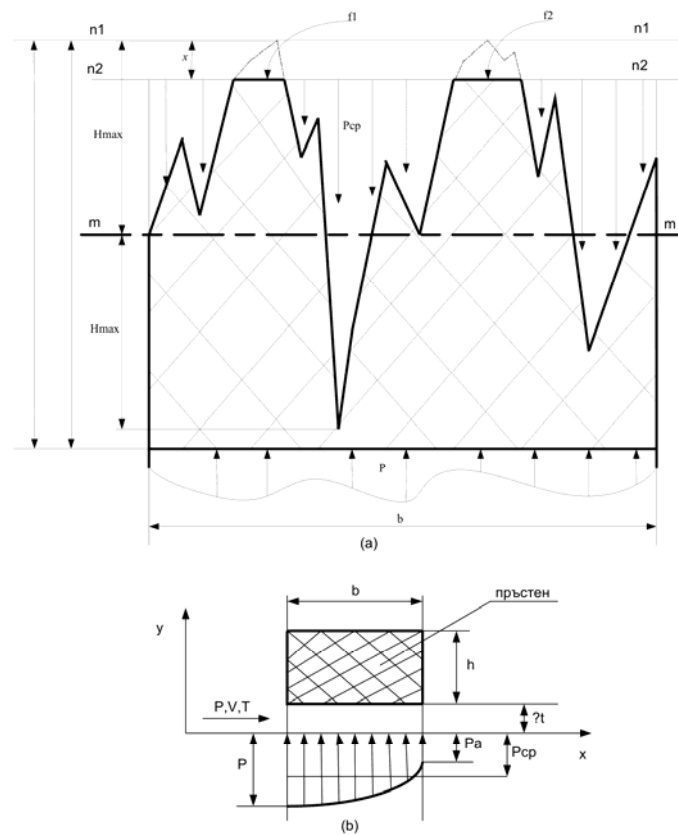


Фиг. 1. Положение на пръстена при зареждане (а) и при изстрел (b).

За определяне разхода на газове е необходимо изясняването на два основни момента: площта на просвета в контактните повърхности и натоварването върху уплътнителния елемент.

1. Площи в уплътняваните повърхности

На Фиг. 1 е показана микрофотографията на уплътняваната повърхност, изхождайки от обстоятелството, че материалът за пръстена е с по-малка твърдост от тази на тялото. Началният момент на контакта е допирът на най-високите части от грапавините на пръстена с тялото. В последствие, като резултат от продължаващото натоварване притискането се осъществява в по-голям брой участъци с по-малка височина. Степента на сближаване (χ) се определя от деформациите на грапавините, зависещи от големината на натиска и механичните свойства на материала за уплътнителя. Същевременно се оформя фактическата площ (A_F), явяваща се сумарна на елементарните площи (f_n), получени от обемните деформации на съответните грапавини.



Фиг. 2. Микрофотография на уплътняваната повърхност.

За изчисляването на средната теоретична хлабина, предвид нормалния закон за разпределение на случайни величини, е в сила познатият израз [5]: $\delta = \frac{t_v H_{\max}}{u}, m$, където: t_v - вероятностна грешка; u - нормално отклонение; H - максимална височина на грапавините, m .

Изтичането на газове зависи от хлабината в уплътняваните повърхности „пръстен - тяло“, „пръстен - мина“, както и от тази в срязания участък (Фиг. 3). При изчислена хлабина и известна конфигурация на уплътнителният елемент за определяне площите на просветите, през които изтичат барутни газове, са в сила следните равенства:

$$s_s = \delta_s h, m^2;$$

$$s_t = \delta_t l_t, m^2;$$

$$s_m = \delta_m l_m, m^2,$$

където: s_s - площ при срязания участък, m^2 ; s_t - площ на хлабината „пръстен-тяло“, m^2 ; s_m - площ на хлабината „пръстен-мина“, m^2 ; $\delta_s, \delta_t, \delta_m$ - хлабини в съответните участъци, m .

За сумарната площ на хлабините е в сила изразът:

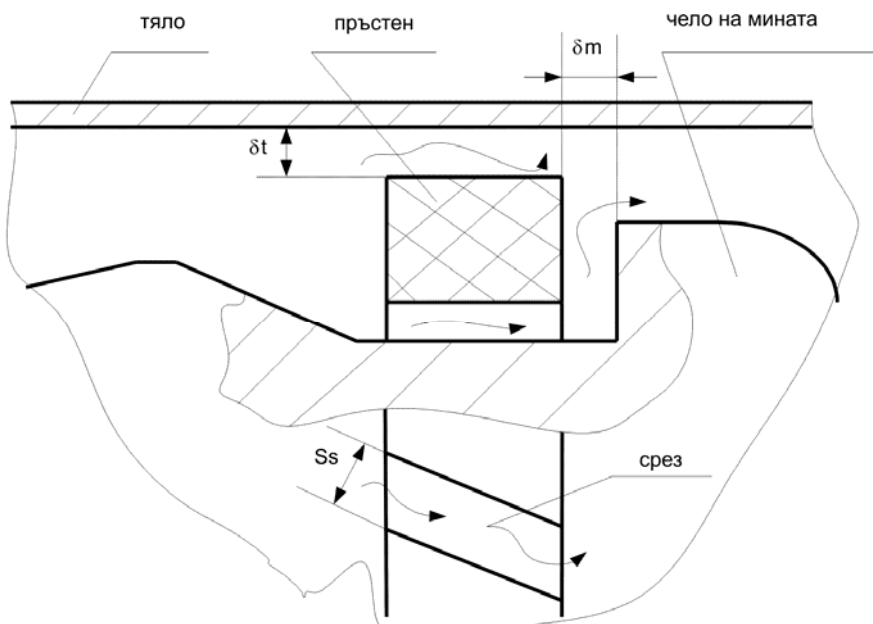
$$s_y = s_s + s_t + s_m, m^2$$

2. Налягане и натоварване на уплътнението

Уплътнителният ефект е следствие от деформацията на пръстена, предизвикана от налягането на газовете в задминното пространство и това в контактната повърхност. Силата от налягането преди уплътнението се стреми да го притисне към тялото. В момента, в който най-високите точки от грапавините по периферията на пръстена осъществяват допир с тялото, започва тяхната деформация до оформянето на радиалната хлабина (Фиг. 1). На тази сила се противопоставя силата от средното налягане, действащо в хлабината между контактуващите повърхности. Неговото определяне може да се извърши по формулата [5]:

$$p_{cp} = \frac{2}{3} \frac{(p^3 - p_a^3)}{p^2 - p_a^2}, Pa,$$

където: p, p_a - налягане преди и след уплътнението, Pa .



Фиг. 3. Участъци на изтичане на газове

3. Разход на барутни газове

За определяне разхода на газове е използван способът за изчисляване на газовото течение с помощта на газодинамични функции, даващи основните качествени закономерности на течението и връзките между неговите параметри. Разгледани са двата основни периода от вътрешната балистика на минохвъргачния изстрел – първи и втори.

3.1. Първи период

Разходът на газове през този период е в пряка зависимост от импулса на нарастване на налягането (I_k), характера на процеса и вида на барута. Знаейки нарастването на импулса на налягането $I_i = I_k z_i$ от вътрешната балистика на изстрела, определянето на масовия разход може да се извърши по познатата формула [1]:

$$G_i = \frac{As_y I_i}{g}, kg, \text{ където: } A - \text{ константа, зависи от естеството на газовете, } s^{-1}; I_i - \text{ импулс}$$

на нарастване на налягането, Ns/m^2 ; I_k - импулс на нарастване на налягането в края на горенето на барута, Ns/m^2 ; g – земно ускорение, m/s^2 ; z_i – относителна дебелина на изгорелия барутен

слой. Конкретизиран спрямо просвета на изтичане изразът може да добие вида: $G_{s_i} = \frac{As_s I_i}{g}, kg$;

$$G_{t_i} = \frac{As_t I_i}{g}, kg; G_{m_i} = \frac{As_m I_i}{g}, kg.$$

Ако означим с ΔG масовия разход в елементарен участък от движението на мината в тялото, за съответния сумарен масов разход е в сила равенството: $\Delta G_y = \Delta G_s + \Delta G_t + \Delta G_m, kg$.

Общият масов разход на газове през първия период за времето на изстрела се определя чрез формулата: $G_y^* = \sum_1^n \Delta G_{y_i}, kg$.

3.2. Втори период.

При определяне параметрите на газовото течение през втория период се изхожда от обстоятелството, че основните критерии за неговото подобие в различни участъци са числото на Мах и коефициента на скорост (λ) [2]. Знаейки “ λ ” е възможно както аналитично, така и таблично да се определят интересуващите ни газови функции $q(\lambda), \pi(\lambda), \varepsilon(\lambda), \tau(\lambda)$, даващи зависимостите между параметрите на течението и тези в уплътняваната повърхност (разход, налягане, плътност, температура). Определянето им спрямо “ λ ” и показателя на адиабатата (k) дава възможност за тяхното извеждане с достатъчна за практиката точност.

Температурата на газовете в контактната площ и след нея може да се определи чрез познатите зависимости, характеризиращи обемното им разширение при липса на топлообмен [3]. За пресмятането на газодинамичните характеристики се предлага следния алгоритъм:

$$(1) T_{cp} = \frac{T}{\left(\frac{p}{p_{cp}}\right)^{\frac{k-1}{k}}}, K$$

$$(2) T_a = \frac{T_{cp}}{\left(\frac{p_{cp}}{p_a}\right)^{\frac{k-1}{k}}}, K$$

$$(3) M_a = \sqrt{\frac{T - T_{cp}}{\frac{T_{cp}}{k-1}}}$$

$$(4) \mu = \frac{v_\mu}{\omega_1}, mol$$

$$(5) R_{\mu} = \frac{P_{at} V_{\mu}}{273}, J / mol.deg$$

$$(6) R = \frac{R_{\mu}}{\mu} J / kg.K$$

$$(7) a = \sqrt{kgRT_{cp}}, m / s;$$

$$(8) V_{cp} = M_a a, m / s;$$

$$(9) a_{kp} = \sqrt{\frac{2kgRT_{cp}}{k+1}}, m / s;$$

$$(10) \lambda = \frac{V_{cp}}{a_{kp}};$$

$$(11) q(\lambda) = \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}} \lambda \left[1 - \frac{(k-1)\lambda^2}{k+1}\right]^{\frac{1}{k-1}},$$

където: T, T_{cp}, T_a - температура на газовете преди уплътнението, в уплътняваната повърхност и след него, K ; k - показател на адиабатния процес; M_a - число на Мах за газовото течение; μ - молекулна маса на газовете, mol ; R_{μ} - универсална газова константа, J / kgK ; R - газова константа на барутните газове, J / kgK ; R ; a - скорост на звука в газа, m / s ; V_{cp} - скорост на газовете в течението, m / s . a_{kp} - скорост на звука в газа при критично изтичане, m / s ; λ - скоростен коефициент; $q(\lambda)$ - газодинамична функция.

Числото на Мах и коефициентът на скорост, като основни критерии за превръщане на енергосъдържанието в кинетична енергия, определят характера на газовите течения с голяма скорост. При: $M_a < 1$, то е подзвуково, $M_a > 1$ – надзвуково, $M_a = 1$ има критичен характер [2].

Текущото време за преместването на мината при нейното движение в тялото се определя от равенството [1]: $t_i = \frac{2l_i}{V_i}, s$, а времето за елементарен участък може да се изчисли чрез израза:

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i, s.$$

Предвид избрания метод на газодинамичните функции и закона за съхранение на енергията, подходяща за пресмятане на масовия секунден разход на газове е предложената от проф. Орлов формула $G = \frac{2pks}{a_{kp}(k+1)q(\lambda)}, kg / s$ [11].

Нейният аналогичен вид спрямо местата на изтичане на газове е:

$$\Delta G_{s_i} = \frac{2p_i k s_s}{a_{kp}(k+1)q(\lambda)}, kg / s; \Delta G_{t_i} = \frac{2p_i k s_t}{a_{kp}(k+1)q(\lambda)}, kg / s; \Delta G_{m_i} = \frac{2p_i k s_m}{a_{kp_i}(k+1)q(\lambda)_i}, kg / s.$$

Сумарният масов секунден разход за елементарен участък е:

$$\Delta G_{y_i}^{**} = \Delta G_{s_i} + \Delta G_{t_i} + \Delta G_{m_i}, kg / s, \text{ а за времето на изстрела съответно } - G_y^{**} = \sum_{i=1}^n \Delta G_{y_i}^{**}, kg / s.$$

За изчисляването на масовия разход при разглеждания участък се използват зависимостите:

$$\Delta G_{s_i} = \Delta t_i \Delta G_{s_i}^*, kg; \Delta G_{t_i} = \Delta t_i \Delta G_{t_i}^*, kg; \Delta G_{m_i} = \Delta t_i \Delta G_{m_i}^*, kg.$$

Сумарният масов разход през отделните просвети за елементарен участък се определя чрез равенството: $\Delta G_{y_i}^{**} = \Delta G_{s_i} + \Delta G_{t_i} + \Delta G_{m_i}, kg$. Общият масов разход за втория период може да се определи чрез израза:

$$G_y^{**} = \sum_{i=1}^n \Delta G_{y_i}^{**}, kg, \text{ където: } p - \text{ налягане на газовете преди пръстена, } Pa;$$

Δt - време за елементарен участък от движението на мината, s .

Масовият разход на газове за времето на изстрела добива вида: $G_y = G_y^* + G_y^{**}, kg$.

Изводи:

1. Предложеният математичен модел дава възможност за определяне на основните газодинамични параметри, характеризиращи процеса на изтичане на барутни газове при изстрел на мина с уплътнителен пръстен.

2. Неговото използване би улеснило проектирането на уплътнителния пръстен и определянето на конструктивните му характеристики в зависимост от параметрите на работната среда.

3. Обстоятелството, че не се използват експериментално установени коефициенти, водещи до частен случай, прави модела по-широко приложим, а резултатите сравними с такива на други изследователи.

Литература

1. С е р е б р я к о в М. Внутренняя баллистика. М., ГИОП, 1949.
2. А б р а м о в и ч Г. Приложна газодинамика. С., ДИ Техника, 1973.
3. О п р е в М. Топлотехника. С., ДИ Техника, 1972.
4. С ъ б е в С. Уплътнения. С., ДИ Техника, 1969.
5. Н о в и к о в И. Бесшмазочные поршневые уплотнения в компрессорах.
6. П о т у р а е в В. Резиновые и резино-металлические детали машин.
7. М а й е р З. Торцовые уплотнения.
8. Л е п е т о в В. Расчеты и конструирование резиновых изделий.
9. Х р и с т о в Д. Пресмятане и конструиране на машинни елементи. С., Техника, 1980.
10. К о р н Г., Т. К о р н. Справочник по математике. С., Наука, 1977.
11. О р л о в Б. Проектирование ракетных и ствольных систем. М., Машиностроение, 1974
12. Jane's Infantry Weapons, 2005.