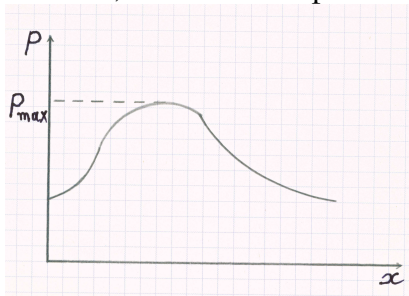


Скорост на изгаряне на барута

Задача. С пушка е произведен изстрел. В момента, когато налягането на газовете в цевта има максимална стойност p_{\max} , скоростта на куршума е v . Определете скоростта на изгаряне на барута в този момент, ако напречното сечение на отвора на цевта е S и е известно, че когато барут с маса m_0 изгори в обем V_0 , газовете създават налягане p_0 . Температурата на газовете по време на движение на куршума да се смята постоянна.

Анализ. Налягането на изгорелите барутни газове в ствола на пушката се променя под действие на два конкуриращи се фактора. Първи фактор е нарастването на количеството на газовете за сметка на изгарящия барут. Втори фактор е предизвиканото от движението на куршума нарастване на обема, зает от газовете. Ако действаше само първият фактор, той би довел до увеличаване на налягането, а ако действаше само вторият – до намаляването му. Тъй като в началото скоростта на куршума е малка, преобладава влиянието на първия фактор и налягането на барутните газове се увеличава. Движението на куршума обаче е ускорително, обемът расте все по-бързо, с което нараства и влиянието на втория фактор. Ето защо се достига положение, при което двата фактора се компенсират, налягането достига една максимална стойност p_{\max} , след която вече намалява. Примерният вид на графиката на налягането в цевта, в зависимост от изминатото от куршума разстояние x , е показан на фиг. 1.



Фиг. 1.

Ще смятаме, че поведението на газовете в ствола на пушката е като на идеален газ.

Решение. Ако m е масата на газовете в момента t , в който налягането е максимално и M е тяхната молна маса, уравнението за състоянието им е:

$$(1) \quad p_{\max} V = \frac{mRT}{M},$$

където V е обемът на газовете, T – абсолютната им температура, а R – универсалната газова константа. Нека за малкия интервал време Δt изгори барут с маса Δm . Тъй като куршумът в момента t се движи със скорост v , за същия малък интервал обемът на газовете нараства с $\Delta V = Sv\Delta t$.

Видът на графиката показва, че в интервала Δt налягането на газовете не се променя, което означава, че газовете, образувани от изгаряне на барут с маса Δm при налягане p_{\max} и температура T заемат обем точно ΔV , т.е.:

$$(2) \quad p_{\max} (Sv\Delta t) = \frac{\Delta m RT}{M}.$$

Оттук за търсената скорост на изгаряне на барута получаваме:

$$(3) \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{1}{M} p_{\max} SVRT.$$

От условието на задачата е известно, че при изгаряне на барут с маса m_0 в обем V_0 газовете имат налягане p_0 , т.е.:

$$(4) \quad p_0 V_0 = \frac{1}{M} m_0 R T .$$

Равенство (4) позволява да изразим RT/M чрез известни величини и като го заместим в (3), получаваме:

$$(5) \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{m_0 p_{\max} S v}{p_0 V_0}$$

– израз, който представлява търсената скорост на изгаряне на барута.

Коментар. Кой всъщност гарантира приложимост на използваните газови закони? Има ли смисъл да говорим за налягане на барутните газове в дулото на оръжието? Представете си момента, в който куршумът приближава края на цевта. Барутът изгаря в нейното начало – това е мястото, в което **първо** се увеличават налягането и температурата. Можем ли да смятаме, че тези промени успяват да се разпространят до моментното положение на куршума, и да се установи състояние, за което важат газовите закони, преди самият куршум да се премести забележимо (т.е. – преди да се промени и обемът)? Помените на параметрите в газа се разпространяват със скоростта на звука при съответните условия. При нормални условия скоростта на звука за основните атмосферни газове е от порядъка на няколко стотици метра в секунда. От същия порядък е и скоростта, с която куршумът излита от цевта. Вярно е, че вътре в цевта условията са далеч от *нормални* (високи температура и налягане), а тези фактори увеличават скоростта на звука, но все пак остава основателно съмнение относно приложимостта в случая на закони, валидни само ако можем да смятаме локалните стойности на температурата и налягането еднакви за всички точки от системата.