



M A S Z Y N A P A R O W A

Notatki z wykładów Prof.Dr.Inż.W.Chrzanowskiego
wygłoszonych na Wydziale Mechanicznym Politechniki
Warszawskiej
w roku 1930.



Drukowane jako rękopis

621.1



nr. 2725



~~Nr. inw. 14~~

B207PK/028-32

W S T Ę P

Pojęcia zasadnicze

Do początku bieżącego wieku tłokowe maszyny parowe odgrywały , jako silniki napędowe, dominującą rolę. Obecnie są używane najczęściej, jako silniki średniej mocy / do 1000 MK /, zaś dla większych mocy, ustępują silnikom o większej sprawności jak spalinowe, turbiny parowe, etc. Największe znaczenie mają maszyny parowe jako lokomobile, lokomotywy, maszyny nawrotne / wyciągowe i walcownicze / i wogóle jako mogące pracować przy dużym przeciążeniu.

Maszyna parowa posiada następujące części składowe : cylinder, stawidło, tłok z mechanizmem korbowym i rama. / rys. 1 /.

Cylinder posiada dwie strony : stronę odkorbową O i kukorbową K . Droge, którą tłok przebiega od swego martwego położenia odkorbowego do martwego położenia kukorbowego, lub odwrotnie - nazywamy s k o k i e m i oznaczamy przez S. Martwe położenie odkorbowe znajdujemy w ten sposób, że ustawiamy korbę za pomocą poziomnicy w położeniu MPO. Analogicznie dla strony kukorbowej / MPK /.

Wykres indykatora.

Przebieg pracy wykonywanej w cylindrze odtwarza nam wykres indykatora / rys. 1 /. W wykresie tym na osi odciętych odłożona jest w odpowiedniej skali objętość skokowa / iloczyn przekroju cylindra przez skok /, a na osi rzędnych - ciśnienie pary w cylindrze. Linja OL / oś odciętych / odpowiada absolutnemu ciśnieniu zero.

Wykres indykatorowy maszyny parowej posiada 4 charakterystyczne punkty :

wlot przedzwrotowy	Wl
koniec napełnienia i początek ekspansji	Ex
wylot przedzwrotowy	Wy
początek kompresji	Co

Na drodze Wl-Ex mamy wlot pary, Ex-Wy - rozprężanie, Wy-Co - wylot

i Cc-Wl - sprężanie pary.

Rozrząd pary skuteczniają stawidła zaworowe, lub suwakowe. Napęd stawidła zwykle otrzymują od mimośrodków, których działanie odpowiada działaniu korby o promieniu R / rys. 2 /. Stosujemy mimośrodę zamiast korb, aby umożliwić zmianę mimośrodkowości R i aby uniknąć drogiego wykarbiania wału.

Technicznie sterowanie odbywa się w sposób następujący / rys. 3 /

Dla strony odkorbowej: gdy tłok porusza się ku dnu cylindra, suwak na krótko przed martwym położeniem tłoka staje w ruchu ku korbie swą krawędzią A nad krawędzią B gładzi suwakowej. Jest to początek wlotu przedzwrotowego. Przy MPO tłoka krawędź A oddalona jest od krawędzi B o pewną ilość mm., którą nazywamy l i n i j n y m wlotem przedzwrotowym. Tłok nawraca, biegnie ku korbie, również jak i suwak, który otwiera całkowicie kanał wlotowy. Potem nawraca suwak i gdy krawędź A stanie nad B, to dopływ świeżej pary do cylindra zostaje odcięty i w cylindrze zaczyna się rozprężanie; odpowiada to punktowi Ex na rys. 1. Nakrótce przed MPK tłoka, krawędź suwaka C staje nad krawędzią D gładzi i rozpoczyna się wylot przedzwrotowy. Para odpływa z cylindra przez wewnętrzną przestrzeń suwaka i rurę wylotową H. Gdy tłok dojdzie do MPK, krawędź C jest oddalona od D o l i n i j n y wylot przedzwrotowy, wyrażony w mm. Następnie tłok nawraca w stronę dna, a suwak idąc w tym samym kierunku, otwiera całkowicie kanał wylotowy. Tłok wypycha parę dotąd, aż suwak nawróciwszy, znowu nie stanie krawędzią C nad D. Wtedy wylot jest zamknięty i zaczyna się sprężanie pary / punkt Cc na rys. 1 /, które trwa aż do wlotu przedzwrotowego Wl.

Taki sam proces odbywa się po stronie kukerbowej, tylko, że punkty charakterystyczne są przesunięte o 180° kąta korbowego. Jeśli po stronie O mamy a-b-c, to po stronie K mamy d-e-f. / rys. 4 /.

Przestrzeń szkodliwa.

Przestrzenią szkodliwą cylindra nazywamy objętość ograniczoną tłokiem w jego martwym położeniu, dnem cylindra, ściankami kanałów i zamkniętymi stawidłami. Szkodliwość jej polega na tem, że powiększa rozchód pary, gdyż przestrzeń ta musi być dopełniona parą w okresie wlotu. Para dopełniająca przestrzeń szkodliwą nie wykonuje pracy w czasie napełnienia, a oddaje pra-

cę jedynie podczas ekspansji. Na wykresie indykatorowym odcinek odpowiadający przestrzeni szkodliwej oznaczony jest przez S_0 / rys. 1 /. Wyrażamy ją w %% objętości skokowej V . Np. : skok $S = 900$ mm., średnica cylindra $D = 500$ mm., pole tłoka $F = 1963,5$ cm.², objętość skokowa $V = 1963,5 \cdot 90 = 176715$ cm.³ Objętość przestrzeni szkodliwej niech wynosi 8835 cm.³ stanowi to $S_0 = \frac{8835}{176715} \cdot 100 = 5\%$. Objętość przestrzeni szkodliwej obliczamy z rysunków konstrukcyjnych. W wykonanych maszynach uskuteczniamy to przez nalanie oliwy do cylindra przy martwym położeniu tłoka. Przy projektowaniu można przyjąć :

- $S_0 = 4 - 9\%$ w suwakach płaskich zwykłych i podwójnych
- 7 - 13% " tłokowych
- 5 - 6% w stawidłach kurkowych Corlis'a o 1 suwaku
- 2 - 4% " " " o 2 suwakach
- 4 - 9% w stawidłach zaworowych.

Mniejsze wartości S_0 odnoszą się do stawideł, których organ sterujący umieszczony jest w pokrywie cylindra, lub też przy tulei roboczej. Wartości S_0 rosną, gdy skok jest mniejszy od $1,7 - 2 D$. Jedynie w maszynach przelotowej Stumpfa i Van den Kerhove'a mamy małe przestrzenie szkodliwe 2 - 4%.

Znacznie większe straty niż przestrzeń szkodliwa powodują powierzchnie szkodliwe ograniczające ją. Stykająca się z niemi para świeża skrapla się wskutek ich znacznie niższej temperatury. Strat są szczególnie duże w maszynach suwakowych, w których para dopływa przez kanały dopiero co ochłodzone przez parę wylotową. Różnica / wagowa / pary wlotowej i wylotowej dochodzi do 15 - 30%. Zmniejszenie tych strat uzyskać można stosując parę przegrzaną, ogrzewki i podwójne rozprężenie pary.

Wielkości charakterystyczne.

Przy projektowaniu maszyny musimy najpierw określić :

- 1/ Moc nominalną, której odpowiada obciążenie najczęściej zachodzące. Przy tem obciążeniu musi być najmniejsze zużycie pary na 1 MKh.
- 2/ Największą moc stałą, którą silnik może wytwarzać długotrwale bez zagrzewania poszczególnych części.
- 3/ Największą moc przejściową, którą silnik może wytwarzać tylko w krót-

kim okresie czasu.

4/ Moc mniejszą od normalnej.

Obciążenie silnika zależy od mocy zapotrzebowanej i musi być regulowane, aby w razie odciążenia silnik nie rozbiegał się. Zależnie od obranego sposobu regulacji ustalamy jego wymiary główne D i S .

Jeśli mamy regulację mocy wytwarzanej, przez dławienie pary dołotowej / rys. 5. linie przerywane /, to dla określenia D i S miarodajne jest maksymalne obciążenie przejściowe. Chcąc w tych warunkach pracować ekonomicznie, możemy zaopatrzyć stawidło w takie urządzenie, aby w czasie postoju można było zmniejszyć napełnienie / rys. 5. linie czerwone /.

Precyzyjne maszyny mają regulator, który w czasie ruchu zmienia wielkość napełnienia. Przy takiej regulacji miarodajna jest moc normalna / rys. 6 /. Napełnieniem normalnym nazywamy napełnienie dające moc normalną.

Wykres indykatora należy zaprojektować tak / z uwzględnieniem sposobu regulacji /, aby rozchód pary na 1 KM.H był jaknajmniejszy. Warunkowi temu staje się zadość, jeżeli różnica pomiędzy ciśnieniem przy końcu ekspansji p_z , a przeciwprężnością p_o / rys. 6 / nie jest zbyt duża. Określamy ją znakiem p_s . Na rys. 6 oznaczono pracę z wydmuchem linią ciągłą, a kreskowaną - pracę z kondensacją.

Dla pracy z kondensacją $p_s = 0,35 - 0,6$ atn.

" " z wydmuchem 0,4 - 0,8 atn.

Czasem jesteśmy zmuszeni powiększyć p_s , jeśli chodzi o możliwie tańszą maszynę, gdyż wtedy zmniejszają się jej wymiary, choć zużycie pary rośnie; również powiększamy p_s , gdy przy założonym p_s otrzymujemy zbyt małe napełnienie, bowiem stosowanie przy normalnym napełnieniu zbyt małego p_s jest nieprodukcyjne, gdyż praca natem zyskana nie pokona wzrostu oporów mechanicznych, powstałych wskutek powiększenia cylindra. Na rys. 6 część S_2 linii czerwonej daje minimalną ilość pracy.

Przeciwiśnienie p_o potrzebne dla usunięcia pary z cylindra wynosi:

Dla maszyny pracującej na wydmuch $p_o = 0,1 - 0,15$ atn.

" " " z kondensacją 0,15- 0,2 atn.

" " Stumpfa 0,15.

Po znalezieniu wymiarów D i S musimy sprawdzić, czy otrzymamy żądaną największą moc przejściową. Dziś buduje się maszyny dla małych przeciążeń - max. do 50% / rys.7 /. W maszynach wyciągowych, walcowniczych, okrętowych, w lokomotywach i wogóle w maszynach nawrotnych, które ruszać muszą pod dużym obciążeniem - maksymalne napełnienie dochodzi do 95% /rys. 8 /.

Najmniejsze napełnienie dopuszczalne przez stawidło musi dać bezwzględną pewność, że silnik przy całkowitem odciążeniu / przy biegu luzem / nie rozbiega się. Zależnie od oporów własnych silnika stosujemy różne napełnienia minimalne :

Jeżeli silnik posiada nieduże opory własne, to regulator przy odciążeniu winien nastawiać stawidło na napełnienie 00% t.z. dopływ pary zostaje całkowicie odcięty.

Jeżeli opory własne są duże, to minimalne napełnienie winno być 0% t.j. trwa od wlotu przedzwrotowego do martwego położenia tłoka. Jeżeli z silnikiem połączone są nierozzerwalnie inne maszyny /np. pompa na wspólnym tłoczysku/ skutkiem czego opory całości są większe, to można dojść do minimalnego napełnienia 2 do 4% . Gdy niemożna dokładnie przewidzieć oporów przy odciążeniu, należy stosować 00%. Przy wielokrotnym rozprężaniu pary regulator działa zwykle tylko na stawidła cylindra wysokoprężnego, o ile nie pobieramy z przelotni pary do innych celów.

Linja napełnienia nigdy prawie nie jest równoległa do osi odciętych ze względu na nieuniknione dławienie pary tak, że przy końcu napełnienia mamy ciśnienie

$$p_1' = p_1 - \delta p_1 \quad / \text{rys.9./}$$

Spadek p_1 równa się $0,05 p_1$.

Wylot przedzwrotowy ma na celu wyrównanie ciśnienia panującego w cylindrze przy końcu rozprężania z przeciwcisnieniem p_0 jeszcze przy małej prędkości tłoka. Ma on na celu przygotowanie dostatecznego otwarcia kanału wylotowego dla wypchnięcia pary przy wzrastającej prędkości tłoka. Gdy stawidło niedostatecznie otwiera wylot pary, mamy straty na pracy, powstałe wskutek zbyt powolnego spadku ciśnienia do przeciwcisnienia / rys.10/. Im większa jest ilość obrotów i prędkość pary przy wypływie,

tem wcześniejszy trzeba dać wylot przedzwrotowy. Ilość pary, która musi odpłynąć z cylindra przed i przy martwym połączeniu tłoka wynosi dla maszyn kondensacyjnych 80%, dla maszyn zaś z wydmuchem 50 - 60%. Z tej przyczyny maszyny z kondensacją otrzymują wcześniejszy wylot.. To samo odnosi się do maszyn, pracujących z dużą przeciwprężnością /gdzie trzeba zmniejszyć opory rur odprowadzających/. Poza tem ponieważ między okresami wylotu pary z jednej i drugiej strony cylindra następuje pewna przerwa, przeto konieczną jest większa różnica pomiędzy ciśnieniem wylotowym w pierwszym momencie, a przeciwprężnością, celem pokonania bezwładności pary i nadania jej właściwej prędkości.

Wylot przedzwrotowy wyrażamy w %% skoku podobnie jak napełnienie. Średnie jego wartości w odniesieniu do maszyn o ilości obrotów mniejszej od 150 wynoszą :

dla cyl. wysoko i średnio pr. Wy = 3 - 6%

" " niskopr. i masz.1-cyl. 5 -10% przy wydmuchu
8 -15% przy kondensacji i
dużej przeciwprężności

dla maszyn szybkobieżnych Wy = 12 - 20%

Niektóre stawidła dają zmienne Wy, ale naogół niechętnie idziemy powyżej 20%, gdyż powoduje to zbyt duże straty pracy.

Kompresje stosujemy ze względów mechanicznych i termodynamicznych. Pod względem mechanicznym kompresja przeciwdziała uderzeniom w mechanizmie korbowym i w łożyskach głównych maszyny. Uderzenia mogłyby zachodzić przy raptownych zmianach nacisku na tłok, które zostają złagodzone przez kompresję.

Moglibyśmy ciśnienie kompresyjne p_c /rys.11/ doprowadzić do ciśnienia dolotowego p_1 , nie jest to jednak wskazane ze względów termodynamicznych / strata pracy jest zwiększona o pole zakreskowane czerwono / i mechanicznych /zbyt wielkie obciążenie organów sterujących spowodować może samoczynne ich otwarcie się zbyt wczesne./

Maszyny pracujące z kondensacją muszą posiadać większą kompresję niż maszyny z wydmuchem ; ma to na celu osiągnięcie tej samej mniejwięcej różnicy $p_1 - p_c$. Dlatego też maszyny pracujące raz z kondensacją

a raz z wydmuchem muszą mieć umożliwiające regulowanie kompresji w szerokich granicach, chociażby tylko w czasie postoju. Kompresja daje prócz tego korzyści, odciażając częściowo stawidła /w szczególności zawory tłokowe/.

Pod względem termodynamicznym kompresja daje tę korzyść, iż podwyższa temperaturę ścianek cylindra przed wlotem świeżej pary, zmniejszając przez to jej skraplanie wstępne.

Srednie wartości ^{kompresji} /dla maszyn do 150 obr/min. i 14 atn. wynoszą :

cyl.wysoko i średnioprężne $C_o = 6 - 16 \%$

cyl.niskopr. i masz. 1-cyl. " 8 - 22 % przy wydmuchu

" " " " " 18 - 60 % przy kondensacji

większe wartości bierzemy dla maszyn sz. b. kobieżnych.

W maszynie Stumpfa $C_o = 88\% \div 90\%$

Wybór wielkości kompresji zależy od rodzaju stawidła i ciśnienia dolotowego : przy większym p_1 bierzemy większe p_c np. przy $p_1 = 12$ at., $p_1 - p_c$ bierzemy 1,5 at. conajmniej lub znacznie więcej. W razie zbyt wysokiego ciśnienia kompresyjnego możemy utrzymać na wykresie szkodliwą pętlę.

Wlot przedzwrotowy ma podobne zadanie co i wylot przedzwrotowy, t.j. wyrównanie ciśnień p_c i p_1 przy małych prędkościach tłoka w pobliżu martwego położenia. Przy zawczesnym wlocie, jak przy zbyt małej różnicy $p_1 - p_c$ mogą zachodzić uderzenia w mechanizmie. Wlot przedzwrotowy przeważnie w ruchu nieulega regulacji. Przy małych napełnieniach i w maszynach szybkobieżnych pożądanym jest duży wlot przedzwrotowy. Naogół stosujemy 0,7 - 1,5 %. Przy projektowaniu wyrażamy go w kącie korbowym /rys.12/ - wynosi on $7^\circ - 15^\circ$. Przy stawidłach zaworowych można go wyrazić w mm. skoku wentyla. Linijny wlot przedzwrotowy wynosi 0,1 - 0,2 szerokości kanału wlotowego:

