

sobą ściśle związane. Między suwami wylotu i dolotu oba zawory są otwarte, bowiem zawór wylotowy jeszcze się nie zamknął, a zawór dolotowy już zaczął się otwierać. Jest to tzw. przekrycie zaworów. W tym krótkim czasie otwarcia obu zaworów wykorzystuje się działanie gazów spalinowych, które pod wpływem siły bezwładności opuszczając cylinder zasysają na swoje miejsce świeży ładunek. Umożliwia to wcześniejsze rozpoczęcie procesu dolotu w zasadzie bez działania tłoka. Najbardziej nielogicznym może wydawać się znacznie późniejsze zamknięcie zaworu dolotowego w czasie suwu sprężania. Zastosowanie tego kąta umożliwia wykorzystanie siły bezwładności działającej na cząsteczki świeżego ładunku po ustaniu zasysającego działania tłoka. Energia napływającego ładunku ze względu na duże prędkości przepływu na początku suwu sprężania jest jeszcze na tyle duża, że nie zachodzi obawa jego wypchnięcia przez poruszający się z niewielką prędkością tłok w kierunku GMP. Z powodu zastosowania faz rozrządu całkowite kąty otwarcia zaworów w silniku są następujące:

– całkowity kąt otwarcia zaworu dolotowego $\Theta_d = \alpha_d + 180^\circ + \beta_d$;

– całkowity kąt otwarcia zaworu wylotowego $\Theta_w = \alpha_w + 180^\circ + \beta_w$,

gdzie $\alpha_d, \beta_d, \alpha_w, \beta_w$ – kąty wyprzedzenia otwarcia i opóźnienia zamknięcia odpowiednio zaworów dolotowych i wylotowych (patrz wcześniejszy opis).

Przyjmując średnie wartości kątów wcześniejszego otwarcia i późniejszego zamknięcia otrzymuje się, że zawór jest otwarty około 230...280° OWK.

Zjawiska umożliwiające zastosowanie faz rozrządu zależą od warunków pracy silnika. W silnikach o stałych fazach rozrządu przyjmuje się średnie wartości kątów, które umożliwiają poprawną pracę w całym zakresie zmian warunków pracy silnika. We współczesnych silnikach konstruktorzy stwarzają warunki do regulacji tych kątów w celu dostosowywania ich do chwilowych warunków pracy. Są to silniki o zmiennych fazach rozrządu, dzięki którym można jeszcze bardziej poprawić skuteczność wymiany ładunku w cylindrze.

1.7.2. Proces napełniania cylindra

Proces napełniania cylindra świeżym ładunkiem w silniku czterosuwowym trwa od chwili rozpoczęcia otwierania zaworu dolotowego, a kończy się z chwilą jego zamknięcia. Obejmuje więc część suwu wylotu, cały suw dolotu oraz część suwu sprężania. W silniku wolnossącym (niedoładowanym) napełnianie świeżym ładunkiem odbywa się pod działaniem podciśnienia wytworzonego ruchem tłoka w cylindrze i dlatego zwykle mówi się o zasysaniu ładunku. Ładunkiem w większości silników ZI jest mieszanka paliwowo-powietrzna. Natomiast w silnikach ZI z bezpośrednim wtryskiem paliwa i w silnikach ZS jest zasysane czyste powietrze. Na początku procesu napełniania, przed rozpoczęciem suwu dolotu, w cylindrze znajduje się resztkę spalin z poprzedniego obiegu. Dopływ świeżego ładunku do cylindra może rozpocząć się po rozprężeniu reszty spalin do wartości ciśnienia niższej od ciśnienia otoczenia p_o . Zasysanie świeżego ładunku jest procesem dynamicznym, podczas którego występują nieustanne

zmiany ciśnienia. Jest to spowodowane zmiennością prędkości przepływu ładunku przez układ dolotowy, zmiennością przekroju przelotowego zaworu oraz występowaniem dynamicznych zjawisk przepływu ładunku. Zmiany te są bardzo trudne do określenia, dlatego w obliczeniach obiegu porównawczego przyjmuje się zwykle, że wartość ciśnienia podczas napełniania jest stała. Proces napełniania cylindra jest pierwszym ogniwem w obiegu pracy silnika. Rozpoznanie zjawisk występujących podczas tego procesu jest bardzo ważnym elementem analizy pracy silnika. Umożliwia ono stworzenie optymalnych warunków do napełniania cylindra i zgromadzenia maksymalnej masy ładunku, która decyduje o efekcie pracy silnika, czyli jego mocy użytecznej. Proces napełniania cylindra zależy od wielu czynników, które decydują, że do cylindra wpływa mniejsza ilość ładunku niż ilość, jaka mogłaby się zmieścić w jego objętości skokowej. Wielkością charakteryzującą stopień napełnienia cylindra podczas procesu dolotu jest współczynnik napełnienia cylindra zwany też sprawnością napełnienia.

Współczynnik (stopień) napełnienia cylindra, oznaczany symbolem η_v , jest określany stosunkiem masy świeżego ładunku zamkniętego w cylindrze do masy ładunku odpowiadającej objętości skokowej cylindra w warunkach normalnych

$$\eta_v = \frac{m_1}{m_2} \quad (1.8)$$

gdzie:

m_1 – masa ładunku rzeczywiście doprowadzonego do cylindra,

m_2 – masa ładunku, który przy ciśnieniu i temperaturze odpowiadającym warunkom normalnym wypełniłby całą objętość skokową cylindra.

Masa ładunku rzeczywiście doprowadzonego do cylindra jest zawsze mniejsza od masy odpowiadającej objętości skokowej cylindra, dlatego współczynnik napełnienia w silnikach niedoładowanych jest zawsze mniejszy od jedności ($\eta_v < 1$).

Współczynnik napełnienia zależy od wielu czynników, które można podzielić na trzy grupy:

- czynniki termodynamiczne,
- czynniki konstrukcyjne,
- czynniki eksploatacyjne.

Czynniki termodynamiczne to: temperatura świeżego ładunku, ciśnienie ładunku w końcu suwu dolotu, ciśnienie reszty spalin pozostałych w cylindrze z poprzedniego obiegu, współczynnik reszty spalin oraz stopień sprężania. Współczynnik napełnienia jest określony stosunkiem mas, dlatego istotny wpływ na jego wartość ma temperatura, która decyduje o gęstości ładunku. Ładunek przegrzany ma mniejszą gęstość, co wpływa na mniejszą masę ładunku i sprawność napełnienia się zmniejsza.

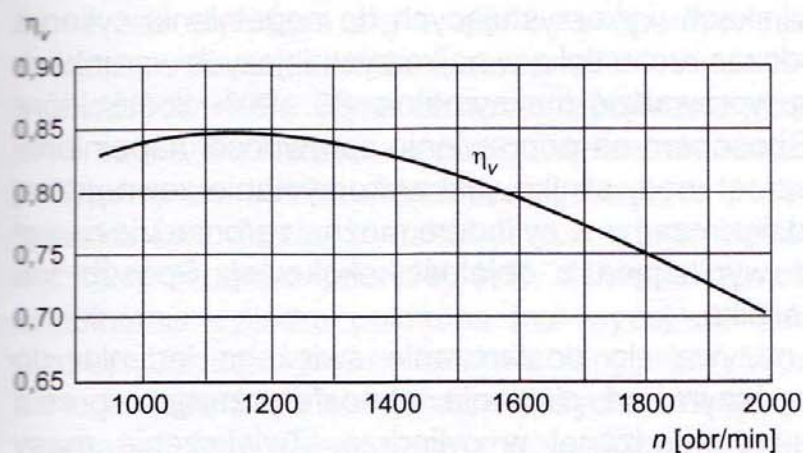
Czynniki konstrukcyjne najsilniej wpływające na napełnienie cylindra to: ukształtowanie układu dolotowego oraz odpowiedni dobór faz rozrządu.

Ukształtowanie układu dolotowego decyduje o sprawności napełnienia poprzez wielkość oporów przepływu i wpływ na zjawiska dynamiczne w procesie napełniania. W celu uzyskania małych oporów przepływu, a tym samym dużego współczynnika napełnienia, projektanci silników stosują możliwie duży przekrój przepływu przez zawór dolotowy (jeden duży zawór lub dwa zawory), krótkie kanały w głowicy oraz przewody dolotowe o małej liczbie wygięć i dostatecznie dużych przekrojach. Powierzchnia wewnętrzna kanałów powinna mieć małą chropowatość, aby nie wprowadzać przepływającego ładunku w dodatkowe zawirowania (nie zwiększać oporów przepływu). Ukształtowanie i wymiary układu dolotowego dobiera się na podstawie obliczeń i badań prototypu silnika. Odpowiednio dobrane fazy rozrządu stosuje się w celu uzyskania zwiększenia sprawności napełnienia, czyli aby umożliwić napełnienie cylindra dużą ilością świeżego ładunku.

Czynniki eksploatacyjne, od których zależy sprawność napełnienia cylindra, to:

- prędkość obrotowa silnika,
- obciążenie silnika.

Istotny, bezpośredni wpływ na napełnienie cylindra wywiera prędkość obrotowa silnika, gdyż wszystkie opory przepływu ładunku są proporcjonalne do kwadratu prędkości (rys. 1.16). Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika wzrasta również napełnienie cylindra. Jest to uzasadnione większym wymuszeniem przepływu ładunku, który skuteczniej napełnia cylinder. Po przekroczeniu pewnej prędkości obrotowej, przy której współczynnik napełnienia osiąga maksimum, napełnienie cylindra maleje, gdyż coraz większe prędkości decydują o gwałtownie rosnących oporach przepływu przez układ dolotowy. Wpływ obciążenia silnika na współczynnik napełnienia jest istotny w silnikach z przepustnicą w układzie dolotowym, czyli głównie w silnikach o zapłonie iskrowym. W silnikach tych miarą ich obciążenia jest kąt uchylenia przepustnicy. Na biegu jałowym, czyli w stanie pracy bez obciążenia, przepustnica jest przymknięta, a przy maksymalnym obciążeniu przepustnica jest uchylona o kąt bliski 90° . Przepustnica w układzie dolotowym stanowi duże zakłócenie przepływu dla ładunku zasysanego do cylindra. Wynika z tego, że największe



Rys. 1.16. Zależność współczynnika napełnienia od prędkości obrotowej silnika