

## 4.15 Doładowanie silników

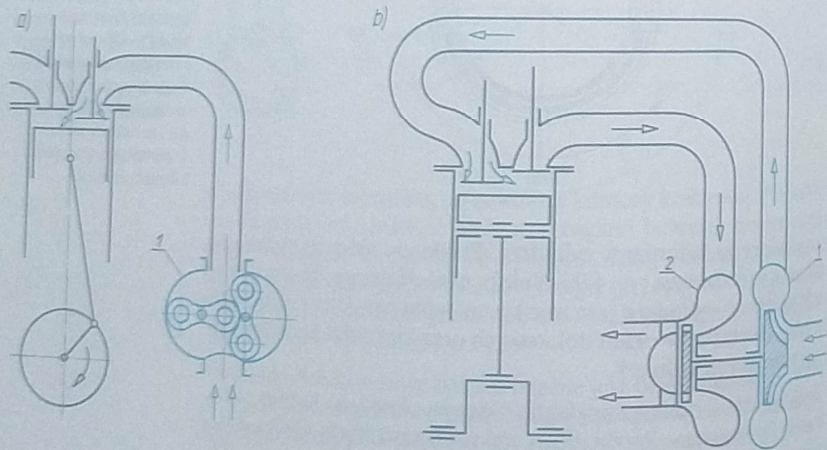
Doładowanie silnika spalinowego polega na zasilaniu go powietrzem lub mieszanką palną pod ciśnieniem wyższym niż atmosferyczne. Znaczy to, że w cylindrze silnika – po zakończeniu suwu dolotu – znajdzie się większa masa ładunku niż w przypadku zwykłego zasilania.

Doładowanie zapewnia uzyskanie większej mocy silnika bez zwiększania jego pojemności skokowej oraz bez zwiększania prędkości obrotowej. Doładowanie korzystnie wpływa na przebieg spalania w silnikach o zapłonie samoczynnym i jest w nich dosyć powszechnie stosowane. W silnikach o zapłonie iskrowym doładowanie nie jest praktycznie stosowane, gdyż przy znacznym sprężeniu mieszanki pojawia się spalanie stukowe.

Urządzeniem, które dostarcza do silnika o zapłonie samoczynnym powietrze pod ciśnieniem  $150 \div 300$  kPa, jest sprężarka. W zależności od rodzaju użytej sprężarki rozróżniamy:

- **Doładanie mechaniczne**, polegające na zastosowaniu sprężarki napędzanej od wału korbowego silnika. Zazwyczaj są stosowane sprężarki Roots'a (rys. 4.92a). Przy takim sposobie doładowania część mocy silnika jest tracona na napęd sprężarki. Toteż ten sposób ładowania jest coraz rzadziej używany.
- **Turbodoładanie**, polegające na wykorzystaniu energii gazów spalinowych w przewodzie wylotowym silnika do napędu turbosprężarki (rys. 4.92b). Zespół turbosprężarkowy składa się

Rys. 4.92  
Sposoby doładowania silnika: a) doładanie mechaniczne, b) turbodoładanie  
1 – sprężarka, 2 – turbina



z dwóch urządzeń – sprężarki 1 i turbiny gazowej 2, przy czym wirniki obu tych urządzeń są osadzone na wspólnym wale. Energia gazów spalinowych jest odbierana przez turbinę gazową i przekazywana do sprężarki doładującej silnik.

Turbosprężarki stosowane jako zespoły doładujące pracują ze znacznymi prędkościami obrotowymi, zazwyczaj rzędu kilkudziesięciu tysięcy obrotów na minutę. Stwarza to określone trudności z „nadążaniem” turbosprężarki za szybkimi niekiedy zmianami prędkości obrotowej silnika.

## 4.16 Układ wylotowy

### 4.16.1 Zadania i elementy składowe

Układ wylotowy służy do odprowadzania spalin z silnika poza obrzys pojazdu. Składa się on z następujących zasadniczych zespołów: kolektora wylotowego, rury wylotowej, tłumików oraz – w silnikach dwusuwowych – z komór rozprężnych.

Kolektor wylotowy łączy wyloty wszystkich przewodów wylotowych silnika (ze wszystkich cylindrów) w jeden przewód o większej średnicy, odprowadzający spaliny do rury wylotowej. Kolektory wylotowe z reguły są wykonywane jako odlewy żeliwne.

W silnikach o układzie widlastym lub przeciwsobnym stosuje się zwykle dwa kolektory, każdy do jednej gałęzi cylindrów.

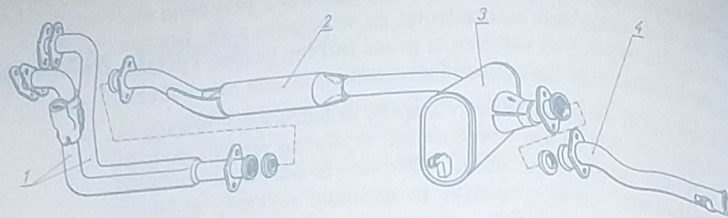
W silnikach dwusuwowych spaliny przechodzą przez komorę rozprężną. Głównym zadaniem tej komory nie jest zmniejszenie hałasu, lecz zapewnienie odpowiedniego przebiegu fal ciśnienia w kolektorze wylotowym, niezbędnego do prawidłowej pracy silnika (zagadnienia te omawiano w p. 4.14.3). Także rodzaj i usytuowanie tłumików mają istotny wpływ na pracę silnika dwusuwowego.

Tłumiki służą do zmniejszenia hałasu, towarzyszącego wylotowi spalin z cylindrów silnika. Ich działanie polega na stopniowym rozprężaniu gazów w czasie przechodzenia przez labiryntowe przerody wewnątrz tłumika. Stosuje się jeden lub więcej tłumików.

Tłumiki są połączone z silnikiem. Między sobą łączą się one odcinkami rury wylotowej. W samochodach osobowych koniec rury wylotowej jest wyprowadzany z tyłu pojazdu (rys. 4.93). W dużych, długich samochodach ciężarowych koniec rury wylotowej jest wyprowadzany w bok pojazdu, a niekiedy – do góry.

W samochodach ze zblokowanym układem napędowym z napędem na tylne koła zwykle stosuje się jeden tłumik, umieszczony obok silnika.





Rys. 4.93  
Układ wylotowy niewielkiego samochodowego silnika dwucylindrowego  
1 – kolektor wylotowy,  
2 – tłumik wstępny,  
3 – tłumik zasadniczy,  
4 – rura wylotowa

Dopalacze katalityczne redukują ilość toksycznych składników w spalinach. Są to oddzielne komory wypełnione wielką liczbą małych kanalików (o przekroju około  $1 \text{ mm}^2$ ), przez które przepływają spaliny. Powierzchnie tych kanalików są pokryte materiałem katalitycznym, który ułatwia reakcje spalania. Zawarte w spalinach składniki toksyczne dopalają się w zetknięciu z katalizatorem, a tym samym ich mniejsza ilość ulatuje do atmosfery. Każdy nowo rejestrowany samochód z silnikiem o zapłonie iskrowym musi być wyposażony w dopalacz katalityczny. Niekiedy dopalacze katalityczne są umieszczone w tej samej obudowie co główny tłumik.

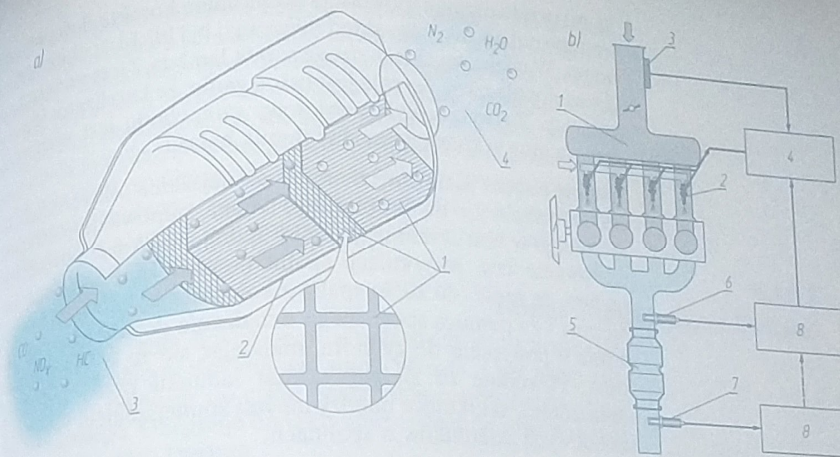
Stosowanie dopalaczy katalitycznych wymaga, aby skład mieszanek spalanej w cylindrach silnika nie odbiegał znacznie od idealnego (patrz rozdział 4.11.2). W silnikach o układzie zasilania wtryskowego w układzie wylotowym spotyka się tzw. sondy lambda. Są to czujniki wykrywające obecność tlenu w spalinach. Sygnały o jego nadmiarze są przesyłane do urządzenia wtryskowego, które koryguje ilość wtryskiwanego paliwa.

#### 4.16.2 Toksyczność spalin

Spaliny silnika zawierają wiele składników toksycznych. Za najgroźniejsze uważa się: tlenek węgla (CO), tlenek azotu (NO) oraz niespalone węglowodory (oznaczane HC).

Tlenek węgla jest produktem niepełnego spalania paliwa przy niedostatku powietrza. Wskutek niedoskonałego wymieszania paliwa z powietrzem w komorze spalania tworzą się strefy, w których występuje nadmiar paliwa i niedomiar powietrza (tworzy się bogata mieszanka). W strefach tych ilość powietrza nie wystarcza do całkowitego spalania paliwa, a wynikiem tego jest obecność tlenku węgla w spalinach.

Tlenek azotu powstaje w wysokiej temperaturze spalania z azotu i tlenu, które są składnikami powietrza. Ilość tworzącego się tlenku azotu zwiększa się bardzo szybko ze wzrostem temperatury spalania. Aby zredukować ilość tlenku azotu w spalinach, spala-



Rys. 4.94.  
Dopalacz katalityczny:  
a) przekrój  
1 – dwa pakiety „plastra miodu” o oczkach pokrytych materiałem katalitycznym, 2 – obudowa metalowa z warstwą izolacyjną, 3 – spaliny zawierające składniki toksyczne (CO, NO, HC), 4 – spaliny oczyszczone ze składników toksycznych;  
b) schemat umieszczenia dopalacza w układzie wylotowym silnika  
1 – układ dolotowy silnika, 2 – wtryskiwacze paliwa, 3 – przepływomierz powietrza, 4 – elektroniczne sterowanie składem mieszanki, 5 – dopalacz katalityczny, 6 – podstawowa sonda lambda, 7 – kontrolna sonda lambda, 8 – przetworniki sygnałów z sond

nie powinno odbywać się w odpowiednio niskiej temperaturze. Jest to praktycznie niemożliwe w konwencjonalnych komorach spalania, toteż projektuje się specjalne komory, umożliwiające ograniczenie zawartości NO w spalinach. Nie są one jeszcze powszechnie stosowane, jednak z czasem, gdy przeważą względy ochrony środowiska, producenci będą zmuszeni do zwiększenia ich zastosowania.

Niespalone węglowodory to po prostu niespalone cząstki paliwa, wyrzucane do układu wylotowego. To paliwo, które znalazło się w komorze spalania w czasie spalania w miejscach, gdzie lokalne obniżenie temperatury (chłodzące oddziaływanie ścianek komory) powoduje wygaszanie płomienia. Powodem przedostawania się niespalonego paliwa do układu wylotowego jest także każda nieprawidłowość w pracy silnika (np. brak zapłonu w niektórych cyklach).

Toksyczność spalin jest skutecznie zmniejszana w wielu samochodach z zapłonem iskrowym dzięki wbudowaniu dopalaczy katalitycznych (rys. 4.94a) w ich układy wylotowe. Dopalacz taki ma bardzo dużo kanalików (o przekroju ok.  $1 \text{ mm}^2$ ), przez które przepływają spaliny. Powierzchnie tych kanalików są pokryte materiałem katalitycznym, który znacznie ułatwia reakcje spalania. Zawarte w spalinach niektóre składniki toksyczne dopalają się w zetknięciu z katalizatorem, toteż mniejsza ich ilość pozostaje w spalinach.

Dopalacz katalityczny 5 jest umieszczany w układzie wylotowym silnika stosunkowo blisko kolektora wylotowego (rys. 4.93b). Przed dopalaczem jest umieszczona sonda lambda 6, której sygna-



ty, po przetworzeniu, powodują ewentualną korektę ilości wtryskiwanego paliwa tak, żeby skład mieszanki był bliski stechiometrycznemu. W wielu pojazdach druga sonda lambda 7 jest umieszczona tuż za dopalaczem. Jej rolą jest ostrzeżenie, że katalizator jest niesprawny. Zazwyczaj układ wylotowy samochodu jest niezaopasowany w konwencjonalny tłumik hałasu.

Istnieje jeszcze wiele innych metod zmniejszania toksyczności spalin. Dobiera się je do konkretnego silnika, odpowiednio do zastosowanego w nim systemu spalania. Jedną z nich jest powszechnie stosowane tzw. recyrkulacji spalin (system EGR). Polega ona na tym, że część (do 10%) spalin z kolektora wylotowego jest pobierana i za pomocą specjalnego urządzenia dozującego jest poddana z powrotem do cylindra, mieszając się ze świeżym ładunkiem. Powoduje to zmianę składu ładunku przed spalaniem (zubożenie), skutkujące między innymi zmniejszeniem zawartości szkodliwych składników w spalinach.

## 4.17

### Silniki niekonwencjonalne

#### 4.17.1

##### Wprowadzenie

Od dziesiątków lat podstawowym źródłem napędu pojazdów samochodowych są tłokowe silniki spalinowe o postępowo-zwrotnym ruchu tłoka. Zasadniczą wadą takich silników są niekorzystne zjawiska towarzyszące cyklicznej zmienności kierunku ruchu tłoków i ich prędkości. Powstałe w wyniku tego siły bezwładności powodują obciążenie mechanizmu korbowego silnika oraz wywołują niepożądane drgania silnika.

Od wielu lat były znane koncepcje silników, w których postępowo-zwrotny ruch tłoków zastąpiono ruchem obrotowym. Jednak trudności występujące przy zbudowaniu takiego silnika, odpowiednio wytrzymałego i trwałego, mogącego konkurować z silnikami konwencjonalnymi, sprawiły, że do niedawna żaden z produkowanych na świecie pojazdów samochodowych nie był napędzany silnikiem z wirującym tłokiem.

Dopiero silnik pomysłu niemieckiego konstruktora Feliksa Wankla doczekał się takiego technicznego udoskonalenia (przez firmę NSU Curtis-Wright), że zaczął być seryjnie produkowany i stosowany do napędu niektórych, choć wciąż jeszcze nielicznych samochodów. Silnik Wankla, pomimo wielu jeszcze wad, może w przyszłości okazać się równorzędny konwencjonalnym silnikom spalinowym.

był obiecującym źródłem napędu pojazdów samochodowych, a szczególnie ciężkich samochodów ciężarowych, jest silnik turbospalinowy. Silniki tego typu, aczkolwiek stosowane już w prototypowych pojazdach, w zastosowaniach do napędu samochodów ciężarowych znajdują się w stadium badań. Na podstawie zalet, jakie jeszcze wykazują w porównaniu z konwencjonalnymi tłokowymi silnikami spalinowymi, można jednak przypuszczać, że po usunięciu trudności związanych z trwałością, niezawodnością i opłacalnością zastąpią one tłokowe silniki spalinowe dużej mocy.

#### 4.17.2

##### Silniki z wirującymi tłokami

Jedynym, praktycznie stosowanym w pojazdach samochodowych, silnikiem z wirującym tłokiem jest silnik Wankla. Cykl pracy tego silnika jest analogiczny do cyklu pracy konwencjonalnego silnika czterosuwowego. Obejmuje on takty (odpowiedniki suwów): doładowanie, sprężanie, pracy i wylotu.

Wirujący tłok silnika (rys. 4.95) ma kształt trójkąta o krzywoliniowych bokach. Tłok ten jest osadzony za pomocą łożyska na mimośrodzie wału silnika, dzięki czemu podczas pracy środek tłoka porusza się po promieniu równym wartości mimośrodu. Jednocześnie tłok obraca się wokół swej osi w tym samym kierunku co wał silnika, lecz z trzykrotnie mniejszą od wału prędkością obrotową. Utrzymanie odpowiedniego stosunku prędkości obrotowych wału i tłoka zapewnia przekładnia zębata, której mniejsze koło zębate o uzębieniu zewnętrznym jest związane z wałem, a większe koło zębate o uzębieniu wewnętrznym – z tłokiem.

Tłok porusza się w kadłubie silnika, którego wewnętrzny kształt wyznaczają naroża tłoka podczas jego ruchu. Wyznaczony przez tłok zarys cylindra nazywa się trochoidą. Ukształtowany w ten sposób cylinder jest zamknięty z obu stron (w kierunku osi wału) płaskimi ścianami.

Dzięki stałemu stykaniu się narożników tłoka z zarysem cylindra w jego wnętrzu tworzą się trzy oddzielne komory robocze, których kształt, objętość i położenie zmieniają się podczas mimośrodowego ruchu tłoka. W czasie jednego obrotu tłoka każda z komór roboczych dwukrotnie osiąga swą najmniejszą i największą objętość. Przeciętne fazy działania silnika Wankla przedstawia rys. 4.95.

*Faza I.* W komorze C rozprężają się gazy spalinowe powodujące ruch tłoka. Jednocześnie z komory A jest wypychana reszta spalin, a do drugiej jej części zaczyna napływać świeża mieszanka. W tym czasie w komorze B odbywa się sprężanie.

*Faza II.* Tłok obrócił się nieco w lewo. Do komory A, zwiększając swoją objętość, jest zasysana świeża mieszanka. W komorze B wciąż trwa proces sprężania ładunku. Komora C została połączona z przewodem wylotowym i spaliny są z niej usuwane.