

## EL ANALISIS TERMODINAMICO DE LOS PROCESOS DE INTERCAMBIO DE LOS GASES EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Leonid Matyukhin, Ph.D. Benigno Vargas G. Msc.

### 1. INTERCAMBIO DE LOS GASES EN LOS MOTORES DE CUATRO TIEMPOS

Los índices de la potencia de los motores de combustión interna (MCI) esencialmente dependen del grado de la perfección de la organización de los procesos del intercambio de los gases.

En el final del proceso de escape en un motor de cuatro tiempos entre el pistón y la culata en el volumen de la cámara de combustión siempre se queda una cantidad de los gases remanentes, los cuales tienen una presión excesiva  $p_r$ . En consecuencia de esto en el cilindro en el transcurso de proceso de relleno (de admisión) entra la cantidad menor del aire o de su mezcla con el vapor de gasolina, que podría entrar en el caso del barrido perfecto de los productos de combustión.

Un empeoramiento adicional del relleno de los cilindros ocurre como resultado del calentamiento de la carga reciente en el proceso de su mezclada con los gases remanentes y en el de su intercambio térmico con las piezas calentados del motor, lo mismo que como la consecuencia de la resistencia hidráulica de la línea de admisión. Pues la potencia del motor depende de la cantidad del combustible quemado en sus cilindros, ese empeoramiento del relleno inevitablemente llevará a la disminución de su potencia. Por eso siempre tratan de conseguir un relleno posible más grande, utilizando por ese fin procesos ondulatorios en las líneas de admisión y de escape o sobrealimentación por los dispositivos especiales.

Los índices importantes, que caracterizan el funcionamiento del motor, son *coeficientes de "los gases remanentes"* ( $\gamma_r$ ) y – especialmente – *de "relleno"* ( $\eta_r$ ), que se llama también *el coeficiente "volumétrico"*. Para la determinación de ellos hay que saber las cantidades de los gases remanentes y de la carga reciente, los cuales se hallan en el cilindro encima del pistón en los principios del proceso de compresión, cuando el émbolo se encuentra en posición del punto muerto inferior (PMI).

Examinemos los procesos de relleno en el ejemplo del motor de cuatro tiempos, teniendo en cuenta que antes del proceso de compresión el cilindro es llenado por la mezcla de trabajo, que está compuesta de dos componentes – de los gases remanentes y de la carga reciente (fig. 1).

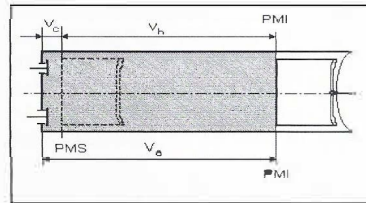


Fig.3.1. Al concepto del cálculo del proceso de relleno del motor;  $V_c$  – cilindrada plena del cilindro,  $V_{cr}$  – volumen de la cámara de combustión y  $V_c$  – cilindrada del pistón o cilindrada de trabajo

Del curso de la Termodinámica es conocido, que la suma de los volúmenes parciales (es decir de los volúmenes de los componentes separados de la mezcla a parámetros de la última) es igual al volumen de la mezcla. Por supuesto el volumen de mezcla (volumen total del cilindro a posición del pistón al PMI) es igual a:

$$V_a = V_r + V_{cr} \quad (1)$$

donde:  $V_a$  es el volumen total (cilindrada plena del cilindro);  $V_r$  – el volumen parcial de los gases remanentes y  $V_{cr}$  – el volumen parcial de la carga reciente.

El volumen parcial de los gases remanentes (GR) se determina por las ecuaciones de reducción habituales partiendo de lo que los GR antes del comienzo del relleno ocupen solamente el volumen de la cámara de combustión (CC). La reducción se realiza a los parámetros de la mezcla, que corresponden a la posición del pistón en el PMI antes del comienzo del proceso de compresión. Esos parámetros en adelante los vamos a designar por el subíndice "r". Subíndice "r" corresponde a los productos de combustión. De ese modo, por ejemplo,  $p_r$  y  $T_r$  son la presión y la temperatura de los productos de combustión, que se quedan en el volumen de la cámara de combustión  $V_{cr}$  encima del pistón, que se encuentra en el punto muerto superior (PMS). Cabe notar que por la causa de la resistencia hidráulica de la línea de escape la presión  $p_r$  siempre sobrepasa la atmosférica.

Entonces:

$$\frac{V_c \cdot p_r}{T_r} = \frac{V_r \cdot p_a}{T_a},$$

de donde el volumen parcial de los productos de combustión a parámetros de la mezcla de trabajo se halla de modo siguiente:

$$V_r = V_c \cdot \frac{p_r}{p_a} \cdot \frac{T_a}{T_r} \quad (2)$$

Tomando en cuenta el proceso de soplado durante el periodo del solape de las válvulas de admisión y las de escape, la cantidad real de los GR en el cilindro resultará un poco menor. Esta reducción se considera por el llamado *coeficiente de soplado*  $\varphi_s$ . Por eso el volumen parcial real será igual a:

$$V_r = V_c \cdot \frac{p_r}{p_a} \cdot \frac{T_a}{T_r} \cdot \varphi_s \quad (2.a)$$

En el caso, cuando es conocido el volumen parcial de los gases remanentes, el volumen parcial de la carga reciente, que se halla en el cilindro, se puede determinar de la fórmula (1) como la diferencia entre el volumen de la mezcla de trabajo (que es igual al volumen total del cilindro o a su cilindrada plena  $V_a$ ) y el volumen parcial  $V_r$  de los GR:

$$V_{cr} = V_a - V_r = V_a - V_c \cdot \frac{p_r}{p_a} \cdot \frac{T_a}{T_r}$$

o definitivamente:

$$V_{cr} = V_c \cdot \frac{(\varepsilon \cdot p_a \cdot T_r - p_r \cdot T_a)}{p_a \cdot T_r} \quad (3)$$

En esta fórmula "ε" es el grado de presión, que representa la razón de la cilindrada plena entre el volumen de la CC ( $\varepsilon = V_a / V_c$ ).

El *coeficiente de los gases remanentes* " $\gamma_r$ " es la razón de la cantidad de los kilomoles de los gases remanentes entre la cantidad de los kilomoles de la carga reciente, es decir:  $\gamma_r = N_r / N_{cr}$

Pero, si los componentes se encuentran a las condiciones iguales (en nuestro caso – a los parámetros de la mezcla de trabajo, cuando el pistón se encuentra en la posición del PMI, los cuales se designan por el subíndice "a"), el coeficiente de los gases remanentes se puede determinar no como la razón de los cantidades de los kilomoles, sino como la razón de los volúmenes parciales, que en este caso son proporcionales a ellos. Por lo tanto:

$$\gamma_r = \frac{V_r}{V_{cr}} = \frac{p_r \cdot T_a}{\varepsilon \cdot T_r \cdot p_a - T_a \cdot p_r} \quad (4)$$

O, tomando en consideración el proceso de soplado:

$$\gamma_r = \frac{p_r \cdot T_a \cdot \varphi_s}{\varepsilon \cdot T_r \cdot p_a - T_a \cdot p_r} \quad (4a)$$

Estas fórmulas permitan calcular la magnitud del coeficiente  $\gamma_r$  basándose solamente en los valores de las presiones y temperaturas en varios puntos del diagrama indicador del motor, los cuales se determinan experimentalmente.

La magnitud más importante, que caracteriza el proceso de relleno, es el *coeficiente de relleno* o el "*volumétrico*" ( $\eta_v$ ). Este coeficiente es la razón de la cantidad de la mezcla reciente, que realmente entró en el cilindro, entre su cantidad, que podría hallarse teóricamente en la cilindrada de trabajo  $V_h$  (el volumen circunscrito por el pistón durante su desplazamiento entre PMS y PMI) a las condiciones de entrada de la mezcla al motor. Los parámetros a estas condiciones suelen designarlos por el subíndice "k" ( $p_k$  y  $T_k$ ). Es decir:

$$\eta_v = V_{cr} / V_{cr}^t$$

Por consiguiente, el coeficiente de relleno se puede determinar como la razón del volumen parcial de la carga reciente a su volumen teórico  $V_{cr}^t$ , que tendría la carga fresca, que se encontraría en la cilindrada de trabajo no a los parámetros de la entrada al motor, sino estando reducido a la presión " $p_a$ " y a la temperatura " $T_a$ " de la mezcla en el interior del cilindro a principios del tiempo de compresión.

Cuando el motor está funcionando, la temperatura de la mezcla se aumenta y su presión se disminuye por causa de presencia de los GR, de las resistencias hidráulicas y del calentamiento en el resultado del contacto con las piezas calientes. Esto provoca la llegada a los cilindros de cantidades menores de la mezcla, que podría teóricamente entrar en cada uno de ellos, y por eso  $\eta_v$

La magnitud de " $V_{cr}^t$ " se puede hallar de la ecuación:

$$\frac{p_r \cdot V_h}{T_k} = \frac{p_a \cdot V_{cr}^t}{T_a} \quad \text{y de aquí}$$

$$V_{cr}^t = V_h \cdot \frac{p_k}{p_a} \cdot \frac{T_a}{T_k} \quad (5)$$

Utilizando la fórmula (3) para " $V_{cr}^t$ ", podemos obtener:

$$\eta_v = \frac{V_c}{V_h} \cdot \frac{T_k}{T_a} \cdot \frac{p_a}{p_k} \cdot \frac{(\varepsilon \cdot p_a \cdot T_r - p_r \cdot T_a)}{p_a \cdot T_r}$$

Teniendo en cuenta, que  $V_h = V_a - V_c$ , y  $\varepsilon = V_a / V_c$ , la razón  $V_c / V_h$  en la expresión antes citada se puede representar como:

$$\frac{V_c}{V_h} = \frac{1}{\left(\frac{V_a}{V_c} - 1\right)} = \frac{1}{\varepsilon - 1}$$

Hay que tener en cuenta, que, en una serie de los regímenes, con el cierre de las válvulas de admisión *después* del PMI tiene lugar el relleno adicional. Por esa causa la cantidad de la carga fresca, que entra en el cilindro, se realiza un poco más grande en comparación con la que entraría en el caso del cierre de las válvulas (y el fin del proceso del relleno) en el PMI. Este mejoramiento del relleno se considera por la magnitud específica " $\varphi_1$ ", que se llama el *coeficiente del relleno adicional*.

Definitivamente obtenemos:

$$\eta_v = \frac{\varphi_1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{T_k}{T_a} \cdot \frac{(\varepsilon \cdot p_a \cdot T_r - p_r \cdot T_a)}{p_k \cdot T_r} \quad (6)$$

o, considerando el soplado de los cilindros:

$$\eta_v = \frac{\varphi_1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{T_k}{T_a} \cdot \frac{(\varepsilon \cdot p_a \cdot T_r - p_r \cdot T_a \cdot \varphi_k)}{p_k \cdot T_r} \quad (6a)$$

La particularidad principal y más importante de las fórmulas obtenidas es que ellas demuestran la dependencia de los coeficientes de los gases remanentes " $\gamma_r$ " y del relleno " $\eta_v$ " de los parámetros principales en la forma explícita.

## CONTAMINACIÓN POR RUIDO DEBIDO AL TRÁFICO VEHICULAR: UN PROBLEMA DIARIO QUE VA EN AUMENTO EN LA CIUDAD DE PANAMÁ.

Ing. Alexander Corrales H., Ing. Arturo Montes, Ing. Felix Henríquez  
Facultad de Ingeniería Mecánica.

### EXTRACTO GENERAL.

La contaminación por ruido es un problema al que se le está empezando a tomar importancia, pues ya existen estudios estadísticos que describen la influencia estadísticos del ruido en el comportamiento de los seres humanos. En su mayoría estos estudios orientadas a las fuentes del ruido industrial y comerciales, pero poco es lo que se tiene sobre una de las fuentes de ruido más populares en nuestro medio ambiente, el tráfico vehicular.

La información recolectada en esta investigación muestra los niveles de ruido provenientes del tráfico vehicular en algunas de las avenidas más transitadas de la región metropolitana de Panamá, además muestra como estos niveles están por encima de lo establecido en el Decreto N° 150 del 19 de febrero de 1971 del Ministerio de Salud donde se establece límites de 85 dB(A) de ruido ambiental.