

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI

UOT: 621.3:007

YANACAQ VERİLMƏSİNİN QABAQLAMA BUCAĞININ 6L20 MARKALI BAŞ GƏMİ DİZELİNDƏ YANMA PROSESİNƏ VƏ MÜHƏRRİKİN ƏSAS GÖSTƏRİCİLƏRİNƏ TƏSİRİNİN NƏZƏRİ TƏDQIQI

Axundov İ.S.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: i.akhundov@caspmarine.com

Xülasə. Məqalədə dizellərdə yanma prosesini hesablamaq üçün təklif olunan metodikanın əsas müddəalarına, eləcə də, riyazi eksperimentlərin nəticələrinə əsasən 6L20 markalı baş gəmi dizel mühərrikində yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının yanma prosesinin parametrlərinə, mühərrikin iqtisadi və energetik göstəricilərinə təsirinin nəzəri tədqiqinə baxılmışdır.

Abstract. This Article considers as of the main provisions of proposed methodology done for calculating the parameters of combustion process in diesel engines, as well as a theoretical study of influencing features of a fuel injection advanced angle on the parameters of combustion process, and also to the energetically and economic indicators based on results of computational experiments done for main ship diesel engine of type 6L20.

Аннотация. В статье рассматриваются основные положения предложенной методики для расчета процесса сгорания в дизелях, а также, теоретическое исследование, на основе результатов вычислительных экспериментов, влияния угла опережения подачи топлива на параметры процесса сгорания, на энергетические и экономические показатели главного судового дизельного двигателя марки 6L20.

Açar sözlər: dizel mühərriki, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağı, riyazi eksperimentlər, iqtisadi və energetik göstəricilər, orta effektiv təzyiq, effektiv güc, yanacaq sərfi, yanma müddəti, istilikdə istifadə olunma əmsali, induksiya periodu

Key words: diesel engine, fuel injection advanced angle, computational experiments, energy and economic indicators, mean effective pressure, brake power, fuel consumption, combustion duration, heat utilization coefficient, induction period

Ключевые слова: дизельный двигатель, угол опережения подачи топлива, вычислительные эксперименты, энергетические и экономические показатели, среднее эффективное давление, эффективная мощность, расход топлива, продолжительность сгорания, коэффициент использования теплоты, период индукции

Giriş. Məlumdur ki, gəmidə istismar xərclərinin azaldılması məqsədilə baş dizel mühərriklərində distillat dizel yanacağı ilə yanaşı nisbətən ucuz olan ağır yanacaqlardan da istifadə olunur. Bu halda yanacağın növü dəyişdiyindən yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının mühərrikin energetik və iqtisadi göstəricilərinin yaxşılaşmasını təmin edən, rəşional qiyməti də təyin edilməlidir. Bunun üçün isə yanma prosesinin əsas göstəriciləri: - induksiya periodu, yanmanın maksimum təzyiqi və temperaturu, təzyiqin yüksəlmə sürəti, yanma zamanı silindrdə istilik ayrılmasının xarakteri, yanma müddəti və s. parametrlər, eləcə də, mühərrikin energetik və iqtisadi göstəriciləri: - effektiv güc, orta effektiv təzyiq, xüsusi effektiv yanacaq sərfi və s. hesablanmalı və təhlil edilməlidir. Bu parametrlər mühərrikin indikator diaqramına görə, və yaxud, sınaq qurğusunda ölçmə yolu ilə təyin edilə bilər. Lakin, məlumdur ki, gəmidə bu işləri yerinə yetirmək olduqca çətin

və çox vaxt tələb edir. Çünki bu işlərin yerinə yetirilməsi lazımi cihaz və avadanlığın quraşdırılması, material və vaxt itkiləri ilə bağlıdır.

Mühərrikdə istifadə olunan yanacağın növü dəyişdikdə, daha yüksək indikator göstəriciləri almaq üçün yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağı, püskürmə təzyiqi və öz-özünə alışmanın gecikmə periodu elə olmalıdır ki, yanma prosesi y.ö.n.-in yaxılığında inkişaf etsin.

Yanacaq həddindən artıq tez püskürüldükdə silindrdəki havanın temperaturu az olduğundan induksiya periodu böyüyə bilər. Belə olduqda, yanma prosesi y.ö.n.-ə görə elə sürüşə bilər ki, silindrdə maksimum təzyiq porşen y.ö.n.-ə çatmamış alınar. Bu, sıxma işinin kəskin artması, genişlənmədəki işin azalması və, aydın məsələdir ki, indikator göstəricilərinin də kiçilməsi ilə müşayiət olunacaqdır. Bundan başqa görünən yanma mərhələsi təzyiqin yüksəlmə sürətinin də böyüməsi ilə xarakterizə olunacaqdır.

Yanacaq gec püskürülsə, yanma genişlənmə prosesinə keçir və mühərrikin indikator göstəriciləri yenə də pisləşir. Yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının rəşional (optimal) qiyməti yanıcı qarışığın hazırlanma üsulundan, eləcə də mühərrikin sürət və yük rejimindən asılıdır. Hər bir mühərrik üçün bu qiymət eksperimental tədqiqatlar nəticəsində seçilir.

Beləliklə, bu mülahizələrdən göründüyü kimi, gəmi dizellərində istifadə olunan yanacağın növü dəyişdikdə yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının rəşional (optimal) qiymətləri təyin edilməlidir. Bu qiymətlərin sınaq təcrübələri yolu ilə seçilməsi istər material və maddi vəsait, istərsə də vaxt itkiləri baxımından əlverişli olmadığına görə riyazi eksperimentlərdən istifadə olunması daha məqsəduyğundur. Bu isə dizel mühərrikinin işçi tsiklinin, o cümlədən, yanma prosesinin müvafiq hesablama metodikasının olmasını tələb edir.

Əsas hissə. Yanma prosesinin hesabı zamanı öz-özünə alışmanın gecikmə və yaxud induksiya periodu A.İ.Tolstovun təklif etdiyi aşağıdakı empirik düsturla təyin olunur [1]:

$$\tau_i = \sqrt{\left(\frac{V_\theta - V_c}{V_{s.kl.}} + \frac{1}{\varepsilon}\right) \frac{T_0}{p_0}} \cdot 10^{-2} \cdot B \cdot \exp \left[\left(\frac{V_\theta + V_c}{V_{s.kl.}} + \frac{1}{\varepsilon} \right)^{n_1} \cdot \frac{E}{R_\mu T_0} \right], \quad (1)$$

burada $V_\theta, V_c, V_{s.kl.}$ - uyğun olaraq püskürmənin əvvəlində, sıxmanın sonunda və sorma klapanı bağlandığı anda silindrin həcmələri, m^3 ; ε - sıxma dərəcəsi; T_0 - ətraf mühitin temperaturu, K ; p_0 - ətraf mühitin təzyiqi, Pa ; E - şərti aktivləşmə enerjisi, $C/kmol$; R_μ - universal qaz sabiti, $C/(kmol \cdot K)$; n_1 - sıxmanın politrop göstəricisi; B - əmsaldır:

$$B = (1 - 1,16 \cdot 10^{-4} \cdot n) \cdot 12 \cdot 10^{-5}$$

n - dirsəkli valın dövrlər sayıdır, $dəq^{-1}$.

Müxtəlif növ yanacaqlar üçün şərti aktivləşmə enerjisi onların setan ədədlərindən asılı olaraq aşağıdakı düsturla təyin edilir [4]:

$$E = E_{DY} \cdot (S.Ə._{DY} / S.Ə._{qar})^{0,1128}, \quad C/kmol \quad (2)$$

burada E_{DY} - dizel yanacağının şərti aktivləşmə enerjisi, $C/kmol$; $S.Ə._{DY}$ və $S.Ə._{qar}$ - uyğun olaraq dizel yanacağının və qarışıqların setan ədədləridir.

Yanacağın silindrə verilməsinin qabaqlama bucağının həqiqi qiymətinin isə aşağıdakı kimi təyin olunması təklif edilir:

$$\theta = \theta_{men} - \Delta\theta, \quad (3)$$

burada θ_{men} – yanacağın silindrə verilməsinin qabaqlama bucağının meniskə görə qiyməti, *saniyə* və ya *dərəcə* ilə; $\Delta\theta$ - yüksək təzyiqli yanacaq nasosunun (YTYN) çıxışından forsunkanın soplo dəşiklərinin çıxışına qədər olan hissədə yanacağın sıxılması nəticəsində yanacaq verilməsinin gecikməsinə nəzərə alan bucaqdır, *saniyə* və ya *dərəcə* ilə.

$\Delta\theta$ aşağıdakı empirik düsturla hesablanır [5]:

$$\Delta\theta = 5,85 \cdot 10^{-3} \cdot n - 2,7, \quad (4)$$

burada n – mühərrikin dövrlər sayıdır, *dəq*⁻¹.

Yanma prosesi başladıqdan sonra yanacağın yanmış hissəsinin nisbi miqdarını təyin etmək üçün İ.İ.Vibenin təklif etdiyi empirik tənlikdən istifadə olunmuşdur:

$$X = 1 - \exp\left[-6,908(\varphi / \varphi_z)^{m+1}\right], \quad (5)$$

burada φ - dirsəkli valın dönmə bucağı, *dər.*; φ_z - şərti yanma müddəti, *dər.*; m - yanmanın xarakterinin göstəricisidir.

Tənliyə daxil olan əmsallar (şərti yanma müddəti və yanmanın xarakterinin göstəricisi) indikator diaqramının köməyi ilə hesablanır. Belə ki, mühərrikin müxtəlif iş rejimlərində çıxarılmış indikator diaqramlarının işlənməsi nəticəsində m və φ_z -i təyin etmək üçün mühərrikin dövrlər sayından asılı olaraq aşağıdakı empirik düsturlar alınmışdır [3]:

$$m = A_0 + A_1 \cdot n + A_2 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 + A_3 \cdot n^3, \quad (6)$$

$$\varphi_z = B_0 + B_1 \cdot n + B_2 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 + B_3 \cdot n^3, \quad (7)$$

burada $A_0, A_1, A_2, A_3, B_0, B_1, B_2, B_3$ - məlum ədədi əmsallardır.

Yanma prosesi başladıqdan sonra yanacağın yanması nəticəsində ayrılan istiliyin miqdarı Δt zaman intervalında aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\Delta Q_{H_{uj}} = \xi_z \cdot H_u \cdot g_{ts} \cdot \Delta x_j, \quad (8)$$

burada ξ_z - yanma məhsullarının dissosiasiyasını, yanmanın tamlığını və istilik itkilərini nəzərə alan istilikdən istifadə olunma əmsalı; Q_H - yanacağın aşağı yanma istiliyi, *C/kq*; g_{ts} - tsiklik yanacaq verilişidir, *kq*; Δx_j - Δt zaman intervalında yanan yanacağın miqdarı:

$$\Delta x_j = x_{j+1} - x_j,$$

x_{j+1} və x_j yanacaq miqdarının, uyğun olaraq, t_{j+1} və t_j anındakı qiymətləridir.

İstilikdən istifadə olunma əmsalı da indikator diaqramlarının işlənməsi nəticəsində çıxarılan empirik düstur vasitəsi ilə təyin edilir:

$$\xi_z = \frac{\rho_{DY}}{\rho_{qar}} \cdot (C_0 + C_1 \cdot n - C_2 \cdot n^2), \quad (9)$$

burada ρ_{DY} - standart dizel yanacağının sıxlığı, kq/m^3 ; ρ_{qar} - standart dizel yanacağı və digər yanacaq növlərinin müxtəlif nisbətlərdə hazırlanmış qarışıqlarının sıxlığıdır, kq/m^3 ; C_0 , C_1 və C_2 - məlum ədədi əmsallardır.

ξ_z -in ifadəsindən göründüyü kimi, gəmi dizellərində müxtəlif növ ağır və yüngül yanacaqlardan, eləcə də onların standart dizel yanacağı ilə müxtəlif nisbətlərdə hazırlanmış qarışıqlarından, istifadə etdikdə qarışığın sıxlığı (ρ_{qar}) azaldıqca, ρ_{DY}/ρ_{qar} nisbəti və istilikdən istifadə olunma əmsalı artır, əksinə qarışığın sıxlığı (ρ_{qar}) artdıqca, ρ_{DY}/ρ_{qar} nisbəti və istilikdən istifadə olunma əmsalı azalır. Bu, qarışıqda yüngül fraksiyanın artması ilə onun buxarlanma qabiliyyətinin artması hesabına yanıcı qarışığın keyfiyyətinin və ona görə də yanma prosesinin yaxşılaşması, əksinə qarışıqda ağır fraksiyanın artması ilə onun buxarlanma qabiliyyətinin azalması hesabına yanıcı qarışığın keyfiyyətinin və yanma prosesinin pisləşməsi ilə izah olunur.

Tsiklik yanacaq verilişi aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$g_{ts} = \frac{G_h}{30 \cdot n \cdot \alpha \cdot l_o \cdot i}, \text{ kq/tsikl} \quad (10)$$

burada G_h - mühərrikin saatlıq hava sərfi, $kq/saat$; α - hava artıqlıq əmsalı; l_o - 1 kq yanacağın tam yanması üçün tələb olunan nəzəri hava miqdarıdır, $kq \text{ hava} / (kq \text{ yanacaq})$; i - mühərrikin silindrlərinin sayıdır.

Sıxma, genişlənmə, sorma və xaric proseslərinin hesabı zamanı $dQ_{Hu} = 0$, yanma prosesi real indikator diaqramlarına görə hesablandığından yanma zamanı $dQ_w = 0$ qəbul olunur.

Silindrdəki parametrlərin hesabı zamanı işçi qarışığın karbon qazından (CO_2), su buxarlarından (H_2O), oksigendən (O_2), və azotdan (N_2) ibarət olduğu qəbul olunmuşdur. İşçi qarışığın mol miqdarının dəyişməsi həmin komponentlərin mol miqdarlarının cəmi kimi təyin edilmişdir:

$$dM = dM_{CO_2} + dM_{H_2O} + dM_{O_2} + dM_{N_2}, \quad (11)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, sıxma, yanma və genişlənmə proseslərində işçi qarışığın mol miqdarı sabit götürülmüşdür: sıxmada işçi qarışığın mol miqdarı silindrə daxil olmuş hava ilə qalıq qazların mol miqdarları cəminə bərabər, genişlənmədə isə tsiklik yanacaq dozasının mol miqdarı qədər artdığı qəbul olunmuşdur.

Yanma zamanı işçi qarışığın ayrı-ayrı komponentlərinin mol miqdarları:

$$\begin{aligned} M_{CO_2j+1} &= M_{CO_2j} + \frac{C}{12} \cdot g_{ts} \cdot \Delta x_j; \\ M_{H_2Oj+1} &= M_{H_2Oj} + \frac{H}{2} \cdot g_{ts} \cdot \Delta x_j; \\ M_{O_2j+1} &= M_{O_2j} - 0,21 \cdot L_0 \cdot g_{ts} \cdot \Delta x_j; \\ M_{N_2j+1} &= M_{N_2j}; \end{aligned} \quad (12)$$

burada C və H –1 kq yanacaqda olan karbon (C) və hidrogenin (H) kütlə hissələridir.

Yanma zamanı silindrdəki işçi qarışığın ümumi mol miqdarı:

$$M_{j+1} = M_{CO_2j+1} + M_{H_2Oj+1} + M_{O_2j+1} + M_{N_2j+1} + (G_{y+1} - g_{ts} \cdot x_{j+1}) / \mu_y, \quad (13)$$

Bütün hallarda mühərrikin silindrindəki təzyiq və temperaturun cari qiymətləri aşağıdakı düsturlarla təyin edilmişdir:

$$dT = \frac{dU}{\mu C_V \cdot M}, \quad (14)$$

$$p = \frac{R_\mu MT}{V}, \quad (15)$$

burada dU - silindrdəki qazların daxili enerjisinin dəyişməsidir, C ; M - silindrdəki qazların mol miqdarı, $kmol$; V - silindrin həcmnin cari qiyməti, m^3 ; μC_V - silindrdəki qarışığın sabit həcmdəki molekulyar istilik tutumudur.

Riyazi eksperimentlər yanma prosesinin yuxarıda şərh olunmuş hesablama metodikası da daxil olmaqla dizel mühərrikinin işçi tsiklinin tərtib olunmuş riyazi modeli [1] əsasında mühərrikin nominal iş rejimində, Fortran alqoritmik dilində hazırlanmış proqram əsasında kompyuterdə yerinə yetirilmişdir. Hesablamanın nəticələri, daha doğrusu, yanma prosesini xarakterizə edən əsas parametrlər, o cümlədən, mühərrikin iqtisadi və energetik göstəriciləri cədvəldə göstərilmişdir.

Riyazi eksperimentlər yanacağın başlanğıc püskürmə təzyiqi $p_{fo}=45 MPa$, mühərrikin nominal dövrlər sayı $n=1000 d\dot{a}q^{-1}$, mexaniki faydalı iş əmsalı $\eta_m=0,85$, yanacağın sıxlığı $\rho_y=848 kq/m^3$ olduqda yerinə yetirilmişdir

Cədvəl

Yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağından asılı olaraq 6L20 markalı baş gəmi dizelinin əsas göstəriciləri

Göstəricilər	θ_{men} , dər. Y.Ö.N.-ə qalmış				
	4,8	9,8	14,8	19,8	24,8
1.Yanmanın maksimum təzyiqi (p_z), MPa	15,94	18,97	21,87	24,36	26,26
2.Yanmanın maksimum temperaturu (T_z), K	1949	2000	2061	2122	2185
3.İndikator f.i.ə. (η_i)	0,519	0,539	0,553	0,561	0,565
4.İnduksiya periodu ($\tau_i \cdot 10^3$), $san.$	0,5173	0,572	0,7031	0,9352	1,309
5.Orta indikator təzyiqi (p_i), MPa	2,738	2,846	2,921	2,963	2,982
6.İndikator gücü (N_i), kVt	1204	1252	1285	1303	1312
7.Xüsusi indikator yanacaq sərfi (g_i), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	162,8	156,6	152,6	150,4	149,4
8.Orta effektiv təzyiq (p_e), MPa	2,327	2,42	2,483	2,519	2,535
9.Effektiv güc (N_e), kVt	1023	1064	1092	1108	1115
10.Xüsusi effektiv yanacaq sərfi (g_e), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	191,5	184,2	179,5	176,9	175,8
11.Effektiv f.i.ə. (η_e)	0,441	0,458	0,470	0,477	0,48

Cədvəldən göründüyü kimi, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının böyüməsi induksiya periodunun (τ_i) da artmasına səbəb olur. Bu, θ -nın artması ilə silindrə yanacaq verilməsi anında silindrdəki havanın sıxlıq və temperaturunun azalması ilə izah olunur [2]. Riyazi eksperimentlər

yanma müddətinin (φ_z), istilikdən istifadə olunma əmsalının (ξ_z) sabit və optimal qiymətlərində yerinə yetirilmişdir.

Yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının yüksəlməsi nəticəsində silindrdəki maksimum təzyiq (P_z) və maksimum temperatur (T_z) da artır. Bu isə təzyiqin yüksəlmə sürətinin, daha doğrusu, mühərrikin sərtlik dərəcəsinin də artması ilə müşahidə olunur. Bundan başqa yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının həddindən artıq kiçilməsi (məsələn, $\theta_1 = 4,8^\circ$ olduqda) zamanı yanma prosesi genişlənmə xəttinə keçir ki, bu da indikator və effektiv göstəricilərin pisləşməsinə, daha doğrusu, gücün azalmasına, yanacaq sərfinin isə artmasına səbəb olur.

Cədvəldən aydın olur ki, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının artması zamanı mühərrikin indikator və effektiv gücü (N_i və N_e) artır, xüsusi indikator və effektiv yanacaq sərfişi (g_i və g_e) isə azalır. Deməli, 6L20 markalı baş gəmi dizelində yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının $14,8^\circ$ -dən çox böyüdülməsi mühərrikin effektiv göstəricilərinin yaxşılaşması, həmçinin silindrdəki maksimum təzyiq və temperaturun çox böyüməsi nöqtəyi-nəzərindən effektiv deyil və $\theta = 9,8^\circ$ qiyməti optimal hesab oluna bilər.

Nəticə. Mühərrikin göstəricilərinin yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağından asılı olaraq dəyişməsinin təhlili göstərdi ki, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının $9,8^\circ$ -dən çox və ya az olması elə də əlverişli deyil. Çünki bucağın $9,8^\circ$ -dən böyük qiymətlərində mühərrikin indikator və effektiv göstəricilərinin cüzi də olsa yaxşılaşmasına baxmayaraq, yanmanın maksimum təzyiq və temperaturu xeyli artır ki, bu da DŞM-də istilik və mexaniki gərginliklərin də böyüməsinə, eləcə də mühərrikin motivesursunun azalmasına səbəb olur.

Yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının $9,8^\circ$ -dən kiçik olması isə yanmanın genişlənmə xəttinə keçməsi səbəbindən mühərrikin indikator və effektiv göstəricilərinin pisləşməsi ilə nəticələnir. Odur ki, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının rəşional qiymətini $\theta_{men} = 9,8^\circ$ qəbul etmək məqsəduyğundur.

Ədəbiyyat

1. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности “Двигатели внутреннего сгорания” / Д.Н.Вырубов, Н.А.Ивашенко, В.И.Ивин и др.: Под ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983, - 372с., ил.
2. Исмаилов, А.Ш., Ахундов И.С. Методика расчета и математическая модель рабочего цикла четырехтактного судового дизеля // «Актуальные вопросы развития транспортной системы», Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. - Махачкала: Филиал МАДИ, -14-15 мая, -2015 г, -с. 78-83.
3. Исмаилов, А.Ш. Исследование рабочего процесса дизеля с ПАРСС, восстанавливающим объем камеры сгорания в конце выпуска в начале наполнения. / Дис. Канд. Техн. Наук. / - Баку, 1990. -187 с.
4. Насилов, Ф.Б. Рабочий процесс дизеля с поршнем автоматически регулирующим степень сжатия при использовании различных жидких топлив. / Диссерт. на соиск. канд. тех. наук. / - 1999, Баку, АЗТУ, 140 с.
5. Парсаданов, И.В. Оценка влияния угла начала подачи топлива на показатели динамической напряженности и топливной экономичности быстроходного дизеля / И.В.Парсаданов, С.И. Третьяков // Двигатели внутреннего сгорания, - 2004. № 1, -с.30-33.

Мəqalə qəbul olunub: 12.03.2021

Təvsiyə ediblər: t.e.d., prof. A.M. Qafarov