

UOT 621.791.92:620.178.154.876

KLAPANLARI İDARƏETMƏ MEXANİZMİNİN KİNEMATİKA VƏ DİNAMİKASININ TRIBOLOJİ BAXIMDAN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Şirzadov F.M., Dadaşov R.Y.

*Bakı Mühəndislik Universiteti
AZ0101, Xırdalan şəh., Həsən Əliyev küç., 120
Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ1073, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
E-mail: shirzadov@rambler.ru, mr_dadashov@mail.ru*

Xülasə. Məqalədə klapanları idarəetmə mexanizminin kinematika və dinamikası triboloji baxımdan qiymətləndirilmişdir. Klapanları idarəetmə mexanizmini kinematik qiymətləndirmə zamanı bir çox amillər nəzərə alınmaqla, effektiv layihələndirmə mümkünlüyü əsaslandırılmışdır. Bundan əlavə klapanları idarəetmə mexanizminin dinamikasının triboloji baxımdan qiymətləndirilməsi zamanı klapanları idarəetmə mexanizmində zərərli titrəyişlərin azaldılması üçün klapanları idarəetmə mexanizminin bütün hissələri mümkün qədər sərt hazırlanmalı, istehsal dəqiqliyinin yüksəldilməsi, materialın zədələnmələrinin azaldılması və həndəsi dəqiqliyin saxlanması, klapanın qalxmasının, sürətinin və təcilinin optimallaşdırılması, yumrğun maksimal təcillənməsi mümkün qədər kiçik olmalı, təcillənmə diaqramında müsbət sahə mənfi sahəyə bərabər olmalı, klapanları idarəetmə mexanizminin konstruksiyasının optimallaşdırılması, hərəkətli hissələr mümkün qədər yüngül olmalı

(titan, magnezium, aliminium, keramik və s. materialların tətbiqi), sürtünmə itkiləri kiçik olmalı və yağlama keyfiyyəti yüksəldilməlidir. Təklif olunan məqalə klapanları idarəetmə mexanizmlərinin müxtəlif məqsədlər üçün layihələndirilməsində istifadə oluna bilər.

Abstract. The article evaluates the kinematics and dynamics of valve control mechanisms from a tribological point of view. During the kinematic assessment of the valve control mechanisms, the possibility of effective design is substantiated, taking into account several factors. In addition, when evaluating the dynamics of valve control mechanisms from a tribological point of view, in order to reduce harmful vibrations in valve control mechanisms, it is necessary to - make all parts of the valve control mechanism as rigid as possible, increase manufacturing accuracy, reduce material damage and maintain geometric accuracy, optimization of valve lift, speed and acceleration, cam acceleration should be as small as possible, the positive field should be equal to the negative field in the acceleration diagram, optimization of the design of valve control mechanisms, moving parts should be as light as possible (using titanium, magnesium, aluminum, ceramic and other materials), friction losses should be small and the quality of the lubricant should be improved. The proposed article can be used for various purposes in the design of valve control mechanisms.

Аннотация. В статье с трибологической точки зрения оценена кинематика и динамика механизмов управления клапанов. При кинематической оценке управляющих механизмов клапанов обоснована возможность эффективного проектирования с учётом нескольких факторов. Кроме этого, во время оценки динамики механизмов управления клапанами с трибологической точки зрения для уменьшения вредных вибраций в механизмах управления клапанами необходимо изготавливать все детали механизма управления клапанами как можно наиболее жёсткими, повышение точности производства, уменьшение повреждений материала и сохранение геометрической точности, оптимизация подъёма, скорости и ускорения клапана, ускорение кулачка должно быть в максимальной степени малым, положительное поле должно быть равно отрицательному полю на диаграмме ускорения, оптимизация конструкции механизмов управления клапанами, подвижные детали должны быть как можно более лёгкими (применение титановых, магниевых, алюминиевых, керамических и других материалов), потери на трение должны быть малыми и повышено качество смазки. Предлагаемая статья может быть использована с разными целями при проектировании механизмов управления клапанов.

Açar sözlər: mühərrik, klapan, idarəetmə mexanizmi, triboloji qiymətləndirmə

Key words: engine, valve, control mechanism, tribological evaluation

Ключевые слова: двигатель, клапан, механизм управления, трибологическое оценивание

Giriş. Klapanları idarəetmə mexanizminin bütün xüsusiyyətləri kinematik, qüvvə, dinamik və triboloji nöqteyi - nəzərdən qiymətləndirilə bilər. Kinematik xüsusiyyətlərdə heç bir qüvvə nəzərə alınmır və kinematik şərtlər daxilində mexanizm qabaqcadan ona verilmiş hərəkət trayektoriyasını yerinə yetirməlidir. Klapanları idarəetmə mexanizmini kinematik qiymətləndirmə zamanı növbəti amillər nəzərə alınmaqla, effektiv layihələndirmə mümkündür [1], [2], [3], [4]:

- Konstruktiv tələblərdən asılı olaraq, mexanizmin növü seçilir;
- Ötürmənin modelləşdirilməsi, həndəsi, kütlə və kinematik parametrlərin statik hesablanması;
- Yumruğun forması;
- Ötürmənin ümumi həndəsəsi;
- Kütlə və kütlə momenti;
- Ağırlıq mərkəzinin yerləşməsi;
- Kontaktda ayrılıq radiusunun minimal qiyməti;
- „Zaman-kəsiyi“ diaqramının maksimal qiyməti;
- Klapanın qalxması;
- Maksimal sürət;
- Maksimal təcil;

- Silindr formalı itələyicinin fırlanma tezliyi;
- Hers təzyiqi;
- Yağ təbəqəsinin qalınlığı.

Əsas hissə. Mühərrikin mümkün qədər yüksək dövrlər sayına nail olmaq üçün, hər şeydən əvvəl bütün sistemin sərtliliyinin yüksəldilməsinə və sonra isə hərəkətli kütlənin azaldılmasına cəhd etmək, nəhayət səmərəli yumruq forması seçmək lazımdır. İdarə olunan hissələrin hərəkət qanunauyğunluğunu seçdikdən və klapanları idarəetmə mexanizminin əsas parametrlərini müəyyən etdikdən sonra yumruğun profili təyin olunur [5], [6].

Yumruq formaları üçün əyri qövsü (tangensial, qabarıq və çökük yumruqlar), polinom, harmonik (multi-sinus qövsü), polidin (dinamik xüsusiyyətlər nəzərə alınmaqla polinom yumruğun modifikasiyası) yumruqlar fərqləndirilir. Çökük yumruqlar burucu momenti, mühərrikin gücünü artırır və ixrac qazlarının emissiasını azaldır. Belə yumruqlarda yan səth xətti deyil, çökük olub, klapanın tez açılıb bağlanmasına səbəb olur [7], [5].

Klapanların qalxma hərəkətinin qanunauyğunluqları silindrlərin dolma dərəcəsinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Klapanların maksimal qalxmasına qədər mümkün sürətli açılması (yumruğun açma yan səthi mümkün qədər sərt yoxuşlu və qısa olmalıdır), belə vəziyyətdə mümkün qədər çox saxlanması („zaman-kəsiyi“ diaqramının maksimal qiymətinə nail olmaq üçün) və klapanın mümkün qədər tez bağlanması (yumruğun bağlama yan səthi mümkün qədər sərt enişli və qısa olmalıdır) ideal hal hesab olunur. Amma, belə bir hal yüklərin səmərəsiz paylanmasına, yüksək təcillənməyə, yay və kütlə qüvvələrinə və bütün mexanizmin rəqsi hərəkətinə səbəb olur. Belə vəziyyətdə „zərbəsiz“ yumruq (polidin yumruq) tətbiq olunur ki, burada təcillənmə az sıçrayışlı olur. „zərbəsiz“ yumruğun bir mənfəi cəhəti yumruğun təpəsində yan səth təcillənməsinin daimi olaraq pozitiv qiymətdən neqativ qiymətə keçməsidir. Belə hal da triboloji baxımdan səmərəsiz hesab olunur [6], [8], [9], [10].

Yumruğun əsas radiusu, yan səthinin radiusu, təpə radiusu, eni, itələyicinin konstruksiyası və yumruğun konusluğu yumruq ling cütünün sürət və qüvvə xarakteristikasına belə ki, fırlanma sürətinə, hidrodinamik sürətə, təcillənmə və ətalət qüvvələrinə, Hers təzyiqinə və nəhayət onun tribologiyasına əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir [10].

Bir çox maşınlarda klapanların qalxması, sürəti və təcillənməsi əsasdır və bununla hər hansı bir yumruq formasının istismar üçün səmərəliliyinin müəyyən olunması və mühərrikin yanacaq sərfinə təsirini qiymətləndirməyə nail olmaq olar. Klapanın qalxma, sürət və təcillənmə əyrilərinin analizi əsasında zərbə, səs-küy, yeyilmə, vibrasiya və nəhayət yumruq itələyici sisteminin dinamikası haqqında qabaqcadan məlumatlar əldə etmək olar. Müəyyən olunmuşdur ki, təcillənmə əyrisi pilləsiz və təcillənmənin maksimal qiyməti mümkün qədər kiçik olduqda ən yaxşı nəticələr əldə olunur [7], [9].

Təcillənmə əyrisində hər bir sıçrayış bir zərbə deməkdir ki, bu da mexanizmin detallarında güclü elastiki deformasiyalara səbəb olur. Bu hal yalnız mühərrikin istismarında deyil, həmçinin yumruğun paradaqlanması zamanı da təsir edir. Bütün klapanları idarəetmə mexanizmlərində itələyicinin qalxması analitik olaraq növbəti bərabərliklə ifadə oluna bilər [11]:

$$s = f(\varphi_N); \varphi_N = \omega_N t \quad (1)$$

burada t – zaman, san; φ_N - yumruğun dönmə bucağı, dərəcə; ω_N - yumruğun bucaq sürətidir, dövr/dəqiqə.

Klapanın sürəti kimi onun qalxmasının zamana görə dəyişmə anı başa düşülür:

$$V = \frac{ds}{dt} \quad (2)$$

Klapanları idarəetmə mexanizminin müasir üsulla layihələndirilməsində klapanın təcillənməsi əsas rol oynayır. Klapanın təcili kimi onun sürətinin zamana görə dəyişmə anı başa düşülür:

$$b = \frac{d^2s}{dt^2} = \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

Titrəyişlərin azaldılması üçün maksimal sürətdə klapanın qalxmasının üçüncü tərtib törəməsi – zərbə və yaxud sürət qradientinin impulsu (s''') uyğun qiymətə görə məhdudlaşdırılmalıdır [10], [11], [12]:

$$s''' = \frac{d^3s}{dt^3} = \frac{db}{dt} \quad (4)$$

Silindr formalı diyircək itələyici kimi tətbiq olunduqda yaranan kontakt təzyiqi Hers-Balayev ifadəsinə əsasən belə təyin olunur [1-34], [9-134], [13-116]:

$$Hp = 0,418 \sqrt{\frac{F_N E_{red}}{b_N r_{red}}} k_{H\beta} k_{HV} \quad (5)$$

burada F_N - normal qüvvə, N; $E_{red} = 2E_N E_R / (E_N + E_R)$ - gətirilmiş elastiklik modulu, Pa; $k_{H\beta}$ -

yükün konsentrasiya əmsalı; k_{HV} - dinamik yüklənmə əmsalıdır. $r_{red} = \left(\frac{r_N r_R}{r_N + r_R} \right)$ - gətirilmiş əyrilik

radiusu, mm; r_R - diyircəyin radiusu, mm; r_N - yumruğun kontaktda əyrilik radiusudur, mm.

İstismarda hansı yumruq formasının ən böyük kontakt sahəsi yaratması və bununla da ən kiçik yeyilməyə məruz qalması praktikada mühüm əhəmiyyətə malikdir. Həmçinin, hansı yumruq formalarının elastohidrodinamik (EHD) yağ təbəqəsinin əmələ gəlməsi üçün səmərəli olması və yumruğun hansı formalarından imtina olunmasının tədqiqi də vacib məsələlərdən biridir [16].

Detalların ölçülərinin, material seçiminin əsaslandırılması, yay və yastıqların qabaqcadan seçilməsi, optimal sürət və tələb olunan enerjinin təyin edilməsi üçün uzunömürlülüüyü nəzərə alınmaqla qüvvə analizinin aparılması çox vacibdir. Yumruğa təsir edən qüvvələri dövrlər sayından asılı olanlara və olmayanlara bölünə bilərlər. Yumruqlu valın və ötürmə elementlərinin kontakt sahəsinin yüklənməsi yay (F_F), kütlə (F_{MV}), sürtünmə (F_L) və qaz qüvvələri (F_B) hesabına ola bilər ki, bunu ümumi şəkildə aşağıdakı kimi yazmaq olar [5], [14],:

$$F_{res} = F_F \pm F_{MV} + F_L + F_B = -F_N \quad (6)$$

Hərəkətli hissələrin kütləsinin artması ilə yumruğun təpə nöqtəsinin yüklənməsi onun yan tərəfinə köçürülür (eyni dövrlər sayında), müsbət təcillənmə sahəsində yumruğun yan səthinə təsir edən qüvvələr artır və yumruğun təpəsi yayın elastik qüvvəsinin əksinə yönələn ətalət qüvvələri hesabına yükəndən azad olunur [9].

Klapan yayının təsir qüvvəsi - F_F dövrlər sayından asılı olmayıb, yayın elastiklik əmsalından asılı olaraq, klapanın maksimal qalxmasına qədər xətti artır, klapanın bağlanması zamanı isə ilkin gərilmə qüvvəsinə qədər azalır:

$$F_F = F_0 + c \cdot s \quad (7)$$

burada F_0 - klapanın tam bağlı vəziyyətində yayın ilkin gərilmə qüvvəsi, N; c - yayın elastiklik əmsalı, N/m; s - klapanın qalxma hündürlüyüdür, mm.

Klapan yayı ətalət qüvvələrini, ağırlıq qüvvələrini, zərbələri söndürmə qüvvələrini, dinamik qüvvələri, digər kənar yüklənmələri və sürtünmə qüvvələrini üstələməli və yaxud klapanın yayının elastiki qüvvəsi klapanın gecikmə qüvvəsindən (və ya təcillənmədən) böyük olmalıdır [7].

Klapanın hərəkət sürəti nə qədər böyük olarsa, yayın elastiklik qüvvəsi bir o qədər yüksək olmalıdır. Əgər klapan yayı kontaktın təminatı üçün kifayət deyilsə, onda böyük sürətlərdə „atlanmalar“ baş verir. Amma, qeyd etmək lazımdır ki, yayın yüksək elastiklik qüvvəsi kontakt səthlərində yüksək təzyiqə səbəb olur ki, bu da klapanın açılması üçün əlavə güc itgilərinə və nəhayət kontakt səthlərinin dağılmasına (əsasən pitting yeyilməsinə) gətirib çıxarır [5].

Klapanın real qalxma hündürlüyü onun hesablanmış qiymətindən fərqlənir. Buna görə də klapan yayı kifayət qədər rezervlə layihələndirilməlidir. Baş verən təcillənmədən, verilmiş elastiklik modulundan və mümkün ola biləcək dövrlər sayı artımından asılı olaraq, yay rezervi əsasən 30%-dən 50%-ə qədər yüksəldilir və bəzən 100% seçilir [5].

Yumruqlu valın dövrlər sayından asılı olan yüklənmə qüvvəsi **hərəkətli hissələrin ağırlıq qüvvəsi** hesabına yaranır. Ətalət qüvvələri kütlənin təcilə olan hasili ilə təyin olunur və təcil vektorundan asılı olaraq, istiqamətlərini dəyişirlər

$$F_{MV} = m \cdot b \quad (8)$$

burada m - klapan milinə gətirilmiş kütlə, kq; b - klapanın təcillənməsidir, m/san².

Silindr formalı itələyiciyə malik klapanları idarəetmə mexanizmində hərəkətli kütlə klapanın, yayın yuxarı şaybasının və pazının, silindr formalı itələyicinin, nizamlayıcı lövhənin və yayın yarım kütləsinin cəmindən ibarətdir [9].

Müasir dövrdə konstruktorlar mühərrikin dövrlər sayının yüksəldilməsinə cəhd edirlər ki, bu da sistemin dinamik vəziyyətinə mənfi təsir edə bilər. Bu mənfi təsirin azaldılması üçün hissəni yüngül materialla istehsalə və ya konstruktiv cəhətdən nisbətən kiçik ölçülü çox klapanlı sistemlərə üstünlük verilir. Yumruqaltı hərəkətli kütlənin azaldılmasına baxmayaraq, çox klapanlı mühərriklərdə klapanları idarəetmə mexanizminin cəm kütləsi artır. Klapanları idarəetmə mexanizminin kütləsinin azaldılması üçün 3 sahə nəzərdən keçirilməlidir [15]:

- Adi material tətbiq etməklə detalların həndəsəsinin optimallaşdırılması;
- Alternativ materialın tətbiqi (məsələn, aluminium, titan, keramika);
- Çoxklapanlı mexanizmlərin tətbiqi ilə hər bir yumruğa düşən kütlənin azaldılması.

Müasir klapanları idarəetmə mexanizmlərində adi materiallarla yüngül istehsal konseptini tətbiq etməklə, klapan yayının tələb olunan elastiklik qüvvəsi 30%-ə qədər, alternativ materialların tətbiqi ilə (məsələn, dolu polad klapanın titan aluminidlə və ya keramika ilə əvəz olunması, poladdan olan klapan yayının şaybasının aluminium şayba ilə əvəz olunması) 50%-ə qədər azaldıla bilər. Bu hal xüsusən aşağı dövrlər sayında yayın elastiki qüvvəsindən nəticələnən sürtünmə işinin, yeyilmələrin əhəmiyyətli dərəcədə azaldılmasına, mühərrikin yanacaq qənaətliliyinə səbəb olur. Eyni zamanda titrəyişlərin azalması hesabına mexanizmin istismar dinamikası yaxşılaşır və bunun hesabına yumruqlu valın dövrlər sayını 30%-ə qədər yüksəltmək mümkün olmuşdur [4], [15].

İstiqamətləndirmə qüvvəsi - itələyicinin və klapanın istiqamətləndiricilərində baş verən sürtünmə qüvvəsi hesabına yaranır. Digər qüvvələrlə müqayisədə bu qüvvələr çox kiçik olduğundan dinamik hesabatlar zamanı nəzərə alınmaya bilər.

Qaz qüvvəsi yalnız xaricətmə klapanında, onu açma anında təsir edir:

$$F_B = \frac{\pi D_V^2}{4} P_A \quad (9)$$

burada D_V - klapan nimçəsinin böyük diametri, mm; P_A - klapanı açma anında silindrdəki təzyiqdir, Pa.

Daxili yanma mühərriklərinin vibrasiyalara hesablanması zamanı qaz qvvələri - F_B nəzərə alınmır, çünki bundan yaranan xəta çox kiçikdir.

İtələyiciyə zərbə qüvvəsi

$$S_N = V_N \sqrt{m_N c_N} \quad (10)$$

burada V_N - ara boşluğunu keçdikdən sonra yumruğun səthində sürət, m/san; m_N - yumruq üzərinə gətirilmiş hərəkətli kütlə, kq; c_N - yumruğun səthində idarəetmə sisteminin elastiklik sabitidir, N/m.

Maksimal qüvvələr klapanın ən yüksək təcillənmə sahələrində baş veriri ki, (klapanın açılma və bağlanması anında) bu da ağırlıq qüvvələri tərəfindən yaradılır. Titrəmələrin amplitudunun azaldılması üçün söndürmə təsirlərinin artırılmasına diqqətlə yanaşmaq lazımdır. Çünki, söndürmə qüvvələri dinamik qüvvələri artırır. Titrəmələri kiçik söndürmə cəhrlərində belə söndürmə qüvvələri ətalət qüvvələrindən böyük alınır. Yüksək sürətli daxili yanma mühərriklərində ən yaxşı söndürmə parametrlərinin əldə olunması üçün mühərrikin real işini imitasiya edən eksperimentlərin aparılması gərəklidir. İstismar zamanı baş verən dinamik titrəyişlərin hesabi analizi və optimallaşdırılması, „çoxkütləli titrəyiş modeli“nin köməyi ilə əldə olunur [11].

Klapanları idarəetmə mexanizmində zərərli titrəyişlərin azaldılması üçün növbəti tədbirlər təklif olunur:

- klapanları idarəetmə mexanizminin bütün hissələri mümkün qədər sərt hazırlanmalı;
- istehsal dəqiqliyinin yüksəldilməsi;
- materialın zədələnmələrinin azaldılması və həndəsi dəqiqliyin saxlanılması;
- klapanın qalxmasının, sürətinin və təcilinin optimallaşdırılması;
- yumruğun maksimal təcillənməsi mümkün qədər kiçik olmalıdır;
- təcillənmə diaqramında müsbət sahə mənfi sahəyə bərabər olmalıdır.
- klapanları idarəetmə mexanizminin konstruksiyasının optimallaşdırılması;
- hərəkətli hissələr mümkün qədər yüngül olmalıdır (titan, maqnezium, aliminium, keamik və s. materialların tətbiqi);
- sürtünmə itgilərinin azaldılması və yağlama keyfiyyətinin yüksəldilməsi.

Nəticə. Daxiliyanma mühərriklərinin klapanlarını idarəetmə mexanizmlərinin layihələndirilməsi zamanı bir çox hallarda yanacaq qənaətliliyinə, ixrac qazlarının miqdarına, güc və burucu momentin yüksəldilməsinə və s. diqqət yetirildiyi halda, triboloji amillər lazımi qiymətləndirmə ilə nəzərə alınmır. Bu baxımdan klapanları idarəetmə mexanizminin detalları kəskin yeyilmələrə məruz qalmaqdadır. Klapanları idarəetmə mexanizminin kinematik, qüvvə, dinamik və triboloji nöqtəyi - nəzərdən qiymətləndirilməsi zamanı triboloji nöqtəyi-nəzərdən bəzi nəticələr əldə edilmişdir. Klapanları idarəetmə mexanizminin uzunmüddətli effektiv işini təmin etmək üçün kinematik qiymətləndirmə zamanı böyük kontak sahəsində aşağı təzyiqə, kiçik kontak sahəsində səthin yüksək möhkəmliyinə, sürüşmə səth sahəsinin termiki yüklənməsini azalda biləcək konstruktiv tədbirlərə, belə ki, cütlərə əlavə fırlanma hərəkətinin verilməsi, hərəkətli hissələrinin sayının və kütlənin azaldılmasına imkan verən kinematik layihəyə üstünlük verilməlidir. Mühərrikin optimal funksional çıxış parametrlərinə və səmərəli triboloji iş şəraitinə nail olmaq üçün, hər şeydən əvvəl bütün sistemin sərtliliyinin yüksəldilməsinə, hərəkətli kütlənin azaldılmasına, müsbət və mənfi təcillənmənin bərabərləşdirilməsinə cəhd etmək, nəhayət mühərrikin iş funksiyasına müsbət təsir edən səmərəli ötürmə kinematika əsasında səmərəli yumruq forması seçmək lazımdır. Beləliklə, klapanları idarəetmə mexanizminin bir çox amillər nəzərə alınmaqla kinematika və dinamikasının triboloji baxımdan qiymətləndirməklə, effektiv layihələndirilməsi mümkündür.

Ədəbiyyat

1. Халилов, Р.А. Системный анализ кулачковых механизмов автомобилей: / кандидатская диссертация технических наук / - Баку, 2001. - 258 ст.
2. Левитский, Н.И. Кулачковые механизмы / Н.И.Левитский. - Москва: - Машиностроение, - 1964. - 288 с.
3. Berg, M. Kuhn, P. Schön, H. Ein neues Getriebe zur variablen Ventilsteuerung in Hubkolbenmotoren // - Wiesbaden: Motortechnische Zeitschrift - MTZ, - 1992. Band 54, Heft 10, - S. 484-488.
4. Mendl, G. Motordynamik und ihre Interaktion zu Festigkeit, Ladungswechsel und Akustik / G. Greding. – Düsseldorf: VDI Verlag, - 2002. – 139 S.
5. Bensinger, W.D. Die Steuerung des Gaswechsels in schnell laufenden Verbrennungsmotoren. Konstruktion und Berechnung der Steuerelemente / W.D. Bensinger. - Berlin/Heidelberg/New York: Springer, - 1968. - 256 S.
6. 169-Stipek, T. Neue Gesichtspunkte bei der Auslegung von Nocken fuer Dieseleinspritzpumpen // - Wiesbaden: Motortechnische Zeitschrift - MTZ, - 1980. Band 41, Heft 01, - S. 13-18.
7. 126-Flierl, R. Oehling, K.H. Hösl, J. Ventiltriebauslegung moderner Motoren // - Wiesbaden: Motortechnische Zeitschrift - MTZ, - 1993. Band 54, Heft 9, - S. 462-469.
8. 133-Heck, K. Einfluss der Prozessführung beim Umschmelzhärten auf die Randschichteigenschaften von Nockenwellen aus ledeburitischem Gusseisen: / Dissertation für Doktor der Ingenieurwissenschaften / - München, 1983. – 173 S.
9. 134-Heinrich U. Zur Reibung von Nockentrieben mit Flachstößeln. Konstruktionstechnik: / Dissertation für Doktor der Ingenieurwissenschaften / – Düsseldorf, 1985. - 134 S.
10. 145-Kirschner, J. Tribologische und kinematische Untersuchungen an einem Nocken – Rollenstößel – Trieb: / Dissertation für Doktor der Ingenieurwissenschaften / - Karlsruhe, 1988. – 285 S.
11. 90-Rothbart, H.A. Cam Design Handbook / H.A. Rothbart. - New Jersey: McGraw-Hill Professional, - 2003. - 606 p.
12. 32-Тимофеев, Г.А. Теория механизмов и механика машин / Г.А. Тимофеев. – Москва: изд. МГТУ им. Н.Е. Баумана, – 2017. – 565 с.
13. 116-Berg, M. Untersuchung einer radial verschraubten Nockenwelle zur bauraumoptimalen Gestaltung einer variablen Ventilsteuerung: / Dissertation für Doktor der Ingenieurwissenschaften) / -Karlsruhe, 1996. - 174 S.
14. 113-Ayanoglu, P. Experimentelle Erfassung des elastohydrodynamischen Kontaktes in Zahnradgetrieben und Nocken/Flachstößel-Paarungen: / Dissertation für Doktor der Ingenieurwissenschaften /- Aachen, 1993. - 192 S.
15. 112-Arnold, M. Ross, J. Friedrich-Wilhelm Speckens. Analyse und Optimierung von Ventil- und Steuertrieben in Verbrennungsmotoren // - Wiesbaden: Motortechnische Zeitschrift - MTZ, - 1993. Band 54, Heft 3, - S. 142-148.
16. Spiegel, K. Beiträge zur Elastohydrodynamik bei Nocken-Stößel-Paarungen: / Dissertation für Doktor der Ingenieurwissenschaften /- Clausthal, - 1982. - 196 S.

Məqalə qəbul olunub: 21.04.2022

Təvsiyə ediblər: t.e.d., prof. A.T.Məmmədov; t.e.d., prof. N.Ş.İsmayilov