

UDC 621.43.032.6

DOI <https://doi.org/10.52171/herald.372>

Dynamic Analysis of the New Design of the Camshaft Cam

A.G. Huseynov, A.F. Karimov

Azerbaijan Technical University (Baku, Azerbaijan)

For correspondence:

Azad Karimov / e-mail: azad.kerimov@aztu.edu.az

Abstract

The article presents a dynamic analysis of a newly designed camshaft cam used in internal combustion engines. The study explores the structural characteristics of the cam mechanism, the role of the pressure angle, types of follower motion, and the calculation of torque using both theoretical and graphical methods. To enhance the wear resistance of the cam's working surfaces, the use of high-strength materials and modern profiling techniques is proposed. The article also elaborates on the development of the new design, its assembly technology, and methods to extend service life. The results are significant for improving the reliability of the camshaft-follower system and enhancing the performance of automotive engines.

Keywords: camshaft, profile optimization, dynamic analysis, wear resistance, valve train mechanism, internal combustion engine.

Submitted 29 July 2025

Published 16 March 2026

For citation:

A.G. Huseynov, A.F. Karimov

[Dynamic Analysis of the New Design of the Camshaft Cam]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2026, vol. 18 (1), pp. 40-52

ISSN (p): 2076-0515, ISSN (e): 2789-8245

CC BY-NC 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Paylayıcı valın yumrucuğunun yeni konstruksiyasının dinamik analizi

Ə.G. Hüseynov, A.F. Kərimov

Azərbaycan Texniki Universiteti (Bakı, Azərbaycan)

Xülasə

Məqalədə daxili yanma mühərriklərində istifadə olunan paylayıcı valın (PV) yumrucuğunun yeni konstruksiyasının dinamik analizi təqdim olunur. Yumrucuqlu mexanizmin konstruktiv xüsusiyyətləri, təzyiç bucağının rolu, itələyicinin hərəkət növləri və fırlanma momentinin hesablanması nəzəri və qrafik üsullarla təhlil edilir. Yumrucuğun işçi səthlərinin yeyilməyə qarşı dayanıqlığının artırılması məqsədilə yüksək möhkəmlikli materialların və müasir profilləmə metodlarının tətbiqi təklif olunur. Məqalədə həmçinin yeni konstruksiyanın işlənməsi, onun montaj texnologiyası və xidmət dövrünün uzadılması yolları geniş şəkildə şərh olunur. Əldə olunan nəticələr yumrucuq-paylayıcı val dəstinin etibarlılığını artırmaq və avtomobil mühərriklərinin iş qabiliyyətini yüksəltmək baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Açar sözlər: yumrucuqlu val, profilin optimallaşdırılması, dinamik analiz, yeyilməyə davamlılıq, qazpaylayıcı mexanizm, daxili yanma mühərriki.

Динамический анализ новой конструкции кулачка

распределительного вала

А.Г. Гусейнов, А.Ф. Керимов

Азербайджанский Технический Университет (Баку, Азербайджан)

Аннотация

В статье представлен динамический анализ новой конструкции кулачка распределительного вала (РВ), применяемого во внутреннем сгорании двигателя. Рассмотрены конструктивные особенности кулачкового механизма, роль угла давления, типы движения толкателя и расчет вращающего момента как с теоретической, так и с графической точек зрения. С целью повышения износостойкости рабочих поверхностей кулачка предлагается применение высокопрочных материалов и современных методов профилирования. Также подробно изложены вопросы разработки новой конструкции, технологии её монтажа и пути увеличения срока службы. Полученные результаты имеют важное значение для повышения надёжности системы кулачок–распределительный вал и улучшения эксплуатационных характеристик автомобильных двигателей.

Ключевые слова: кулачковый вал, оптимизация профиля, динамический анализ, износостойкость, газораспределительный механизм, двигатель внутреннего сгорания.

Giriş

Texnikanın bütün sahələrinin əsasını maşınlar təşkil edir. Ancaq yeni maşınların yaradılması və mövcud maşınların təkmilləşdirilməsi bazasında texnikanın inkişafı baş verə bilər. Müasir maşınların əsasını, onların hissələrinin və yığım vahidlərinin qarşılıqlı təsir qüvvələrinin müəyyənlişməsi üçün nəzəri və eksperimental tədqiqatlar, layihələndirmə, eləcə də maşınların hazırlama təcrübələri təşkil edir. Maşın və mexanizmlərin faydalı iş əməlinin artırılması nöqtəyi nəzərindən intiqalın tipinin kinematik sxeminin, konstruksiyasının, sürtünən cütlərin növ və materialının və s. düzgün seçilməsi əhəmiyyətli dərəcədə vacibdir. Yüksək resursla maşınların yaradılması işə, material, əmək və pul vəsaitlərinin sərfi olmadan əlavə maşınların buraxılışına praktiki olaraq bərabərdir. Mexanizmlərin və maşınların layihələndirilməsi üçün ilkin parametrlər onların istismar sahəsinin dəyərləndirilməsi zamanı dəqiqləşdirilir və təyinatından, quraşdırılma mövqeyindən, istismar şəraitlərindən və digər amillərdən asılıdır [1–3].

Maşınqayırmanın fərqli xüsusiyyətlərindən biri, maşın və mexanizmlərin eyni zamanla tək-tək gücünün artması ilə, onların işçi bəndlərinin hərəkət sürətlərinin fasiləsiz artmasıdır. Bütün sənayenin qarşısında ictimai istehsalat (o cümlədən avtomobil istehsalatında) bir sıra yeni yaradılmış və mürəkkəb xüsusən də maşınların dəqiqliyi, etibarlılığı və uzunömürlüyü istiqamətində problemlər irəli sürülür. Hər bir təzə buraxılan maşın daha səmərəli, məhsuldar, etibarlı, texniki xidmətdə və hazırlanmasında ucuz olmalıdır.

Mühərriklərin texniki səviyyəsinin gələcəkdə artmasının əsas istiqamətləri aşağıdakılardır: yanacaq sərfinin azalması, texniki xidmətin əmək tutumunun, mühərrikin hazırlanmasına material sərfinin azalması, səs səviyyəsinin və işlənmiş qazların zəhərlilik səviyyəsinin azadılması, avtomobilin konstruksiyasının etibarlılığının və təhlükəsizliyinin yüksəldilməsindən ibarətdir. Burada daxili yanma mühərrikinin (DYM) hissələri və mexanizmləri

əsas yerlərdən birini tutur.

Dirsəkli valla hərəkətə gətirilən və mühərrikin silindrlərində yanacaq qarışığının və işlənmiş qazların çıxarılmasını təmin edən qazpaylayıcı mexanizm (QPM) daxili yanma mühərrikin iş taktının sinxronlaşmasına xidmət edir. QPM-in hissələrinə aşağıdakılar aiddir: yumrucuqlu paylayıcı val (PV), istiqamətləndirici oymaqlar, bərkidici bəndlər və yaylar, klapan intiqallarının lingləri.

Paylayıcı mexanizmlərdə və prosesləri idarəetmədə istifadə olunan paylayıcı vallar maşınqayırmada geniş yayılmışdır. Qaz-paylayıcı mexanizmdə paylayıcı valın yerinə yetirilən əsas funksiyalarından biri mürəkkəb profilli yumrucuqlar vasitəsilə klapan itələyicilərinin hərəkətə gətirilməsidir. Daxili yanma mühərrikinin yumrucuqlu mexanizmləri yumrucuğun fırlanma hərəkətinin aparılan hissəsinin (itələyici və ya sürgü qolu) veriş hərəkətinə çevrilməsi məqsədi daşıyır.

Lakin istismar zamanı, avtomobilin layihələndirilməsinə və istehsalatına qoyulan etibarlılıq, hissələrin yeyilməsi, korroziyası, materialın sıradan çıxması, köhnəlməsi və avtomobildə baş verən başqa zərərli proseslər nəticəsində azalır. Avtomobilin iş qabiliyyətli vəziyyətini sabit saxlamaq üçün, zərərli proseslərlə əmələ gələn müxtəlif nasazlıqların və qüsurların aradan qaldırılması vacibdir. Bu səbəbdən də avtomobilin texniki xidmətinə və təmirinə obyektiv tələbat yaranır.

PV mürəkkəb konstruksiyaya malik olub işçi səthlərinin yeyilməsi çox rast gəlinəndir. Beləliklə, PV-ın etibarlılığının artırılması nöqtəyi-nəzərindən onun konstruksiyasının təkmilləşdirilməsi hesabına, ən səmərəli konstruksiyaların, mütərəqqi texnologiyanın və daha ucuz materialların tətbiqinin təmin edilməsi yollarının axtarışı aktual məsələlərdən biridir [4, 5].

İşin məqsədi

DYM-nin qazpaylayıcı vallarının yumrucuğunun dinamik göstəricilərinin tədqiqi.

Məsələnin qoyuluşu

PV mürəkkəb formaya malikdir və tez-tez onun işçi səthləri yeyilir. Bu baxımdan, etibarlılığın artırılması nöqtəyi-nəzərindən onun konstruksiyasının təkmilləşdirilməsi hesabına, ən səmərəli konstruksiyaların, mütərəqqi texnologiyanın və daha ucuz materialların tətbiqinin təmin edilməsi yollarının axtarışı aktual məsələlərdən biridir [4, 5].

Məsələnin həlli

Qeyd etmək lazımdır ki, etibarlılıq maşının istismar göstəricilərinə aid olub, verilmiş istifadə rejimləri və şəraitlər, texniki xidmət, saxlanma və daşınma şərtlərinə uyğun olaraq məmulun müəyyən edilmiş funksiya parametrlərini qoruyan kompleks xüsusiyyətdir. Eyni zamanda, məmulun təyinatından və istismar şəraitlərindən asılı olaraq, etibarlılığın göstəricisi imtinasızlığı, uzun ömürlüyü, təmirə yararlığı və saxlanma qabiliyyətini özündə əks etdirir.

Şəkil 1.a-da sxemi göstərilən sadə üç hissəli mexanizmin misalında yumrucuqlu mexanizmin quruluşunu və iş prinsipini nəzərdən keçirək. Yumrucuğun 1 fırlanması zamanı itələyici 2 ω bucaq sürəti ilə dayığa 3 nisbətən irəli-geri hərəkət edir. Yayın 4 köməyi ilə itələyicinin yumrucuqla daimi əlaqəsi təmin edilir.

Strukturuna görə yumrucuq mexanizmi iki aşağı kinematik cütləri ilə (yumrucuq-dayaq və itələyici-dayaq) və bir yuxarı cütü ilə (yumrucuq-itələyici) üç hissəli mexanizmi təsvir edir. W sərbəstlik dərəcəsinin sayı “Çebişev” düsturuna görə tapıla bilər.

$$W = 3(n - 1) - 2p_1 - p_2 = 3(3 - 1) - 2 \times 2 - 1 = 1 \quad (1)$$

Burada n – bəndlərin sayı; P_1 və P_2 – uyğun olaraq, bir və iki hərəkətli kinematik cütlərin sayı.

Yumrucuq profilinin uyğun dövrəsini çəkməklə (φ - yumrucuğun dönmə bucağı) aparıcı hissə hərəkətinin lazımı funksiyasını $S=S(\varphi)$ asanlıqla əks etdirməyə yumrucuq mexanizmi imkan verir.

Məsələ, daxili yanma mühərrikin yumrucuq mexanizmi şəkil 1. b-də verilmişdir. Mühərrikin 1 paylayıcı valı 2 yumrucuğunu fırladır, o isə 3 itələyicinin köməyi ilə 4 sürgü qoluna rəqs hərəkətini verir. Sürgü qolunun ikinci ucu 5 klapanın oxunu itələyərək silindrə yanacağı buraxmaq üçün, ardıcılıqla klapana kanalın açılması və bağlanmasına səbəb olur.

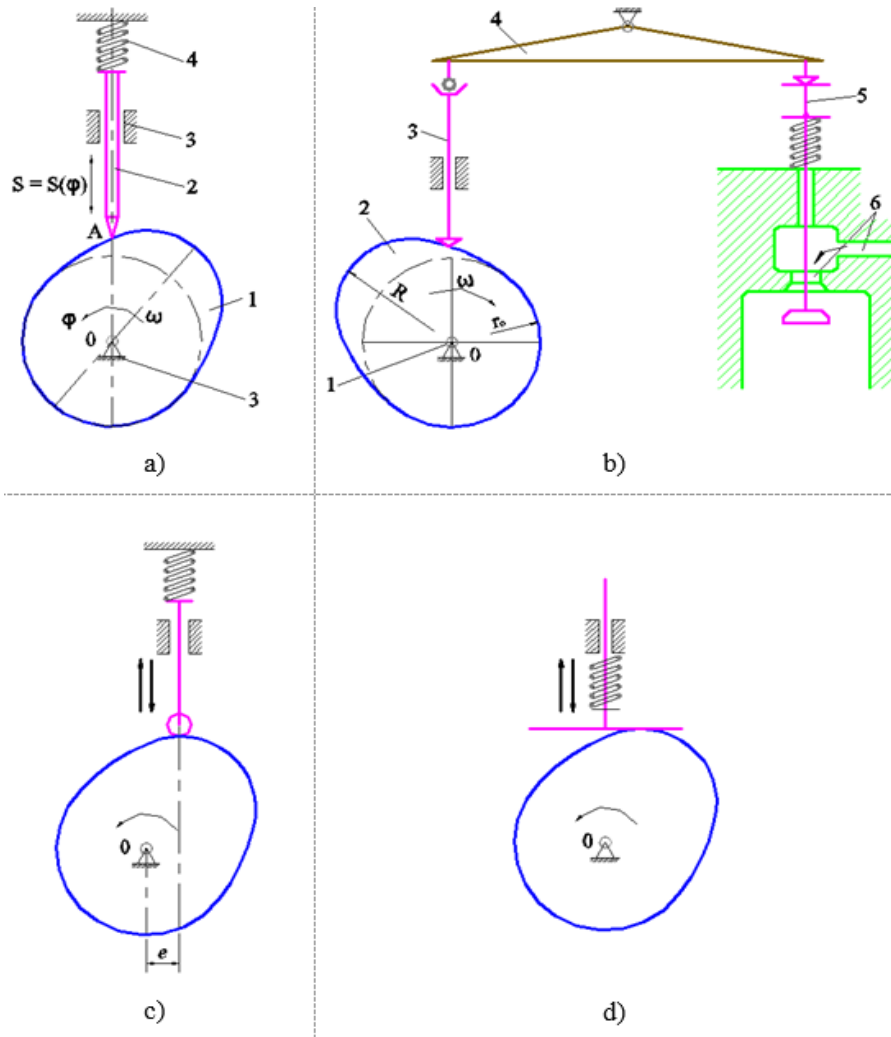
Yumrucuqlu mexanizmin hissələrinin işləmə prosesində biri digəri üzərində gərginlikli sürtündüyü üçün, onların yeyilməsi baş verir. Ən böyük yeyilməyə itələyici məruz qalır, çünki onun ucu A (şəkil 1. a) yumrucuğunun səthi üzrə fasiləsiz sürüşür. İtələyicinin yeyilməsinin azalması məqsədi ilə onun aralıq hissəsi kimi diyircək istifadə edilir; bu səbəbdən də sürüşmə sürtünməsi diyirlənmə sürtünməsi ilə əvəz olunur. Bəzi hallarda itələyici göbələk və ya yastı fincan şəklində formalaşır (şəkil 1. d). İtələyicinin ucunun və ya diyircəyinin yerdəyişmə xətti yumrucuğun fırlanma oxu ilə O kəsişən mərkəzi olan yumrucuq mexanizmindən başqa, yeri dəyişilmiş yumrucuq mexanizmi də istifadə olunur. Bu halda itələyicinin yerdəyişmə xətti yumrucuğun fırlanma oxundan bir qədər l aralıdır (şəkil 1.c).

Həmçinin, mərkəzi mexanizmlə eyni hissələrinin ölçüləri bərabər olan yeri dəyişdirilmiş yumrucuq mexanizmi faydalı iş əmsalını artırmağa imkan verir, eləcə də yumrucuğun fırlanma oxuna nisbətən itələyicinin uzaqlaşması və ya yaxınlaşması halında onun hərəkət sürəti dəyişir.

Təzyiq bucağı və f.i.ə. mühüm məna kəsb edən yumrucuqlu mexanizmlərin dinamikasının bəzi məsələlərini təhlil etmək üçün mərkəzi yumrucuqlu mexanizmi nəzərdən keçirək (şəkil 2).

Yumrucuğun fırlanma oxuna nisbətən yumrucuğun və itələyicinin toxunma nöqtəsinin A vəziyyəti radius-vektorla ρ müəyyən edilir, onun qiyməti:

$$\rho = r_0 + S(\varphi) \quad (2)$$



Şəkil 1 – Yumrucuqlu mexanizmin quruluşu və iş prinsipi
Figure 1 – Structure and working principle of the cam mechanism

Burada r_0 – yumrucuğun əsas şaybasının radiusu; $S(\varphi)$ -yumrucuğun φ bucağının dönməsinə uyğun itələyicinin yerdəyişməsi.

Yumrucuq tərəfindən itələyiciyə təsir edən hərəkətverici qüvvə P_n yumrucuğun profilinə A nöqtəsində NN normal ilə üst-üstə düşür. Bu qüvvənin vektoru və itələyicinin sürət vektoru α təzyiq bucağını təşkil edir. Təzyiq bucağının qiymətini ifadə etmək üçün yumrucuğu böyük olmayan $\Delta\varphi$ bucağı qədər döndərək.

Şəkil 2-yə əsasən:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta S}{\rho \Delta \varphi} \quad (3)$$

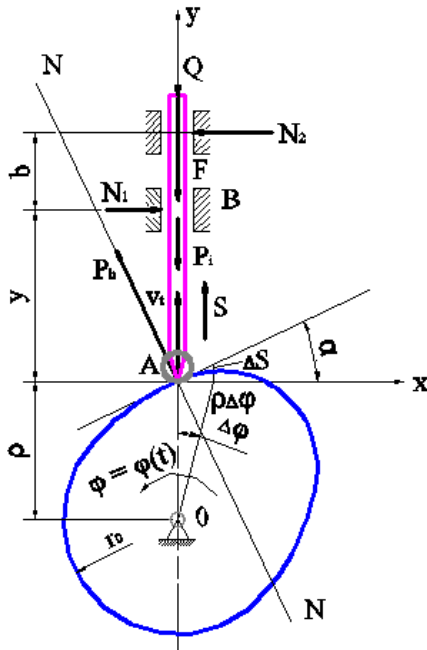
və ya

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{dS}{d\varphi} / [r_0 + S(\varphi)] = v_{r/\omega} \cdot [r_0 + S(\varphi)]$$

İfadədən belə nəticəyə gəlirik ki, yumrucuğun profili və dönmə bucağından asılı olaraq dəyişən ölçüsünü təzyiq bucağı təsvir edir və 0-dan ən böyük ölçüyə qədər d_{\max} dəyişə bilər. Eyni zamanda, qeyd etmək lazımdır ki, sürtünməyə böyük itkilərin, hətta itələyicinin ilişməsinin qarşısını almaq məqsədilə mexanizmin hər bir vəziyyətində α bucağı maksimal buraxılan qiymətindən (yəni $\alpha_i \leq \alpha_{\text{bur}}$) böyük olmamalıdır.

Yumrucuqlu mexanizmin hissələrinə

təsir edən qüvvələrin təhlilini aparaq. Bundan ötrü diyircəkli itələyici ilə mərkəzi yumrucuqlu mexanizmi nəzərdən keçirək; 0_1 aşağıdakı qüvvələrə məruz qalır: Q - faydalı müqavimətin qüvvəsi (yayın qüvvəsi, itələyicinin kütləsi və s.); $F = f(N_1 + N_2)$ - istiqamətləndiricidə itələyicinin sürtünmə qüvvəsi (f - sürüşmə sürtünmə əmsalı); $P_i = ma_t$ - itələyicinin inersiya qüvvəsi.



Şəkil 2 – Yumrucuqlu mexanizmin hissələrinə təsir edən qüvvələr
Figure 2 – Forces acting on the components of the cam mechanism

İtələyicinin a_t sürtünməsi ilə yerdəyişməsi zamanı, hərəkətverici qüvvənin P_h qiyməti aşağıdakı tarazlıq tənliklərinin köməyi ilə tapıla bilər:

$$\sum x = 0; P_h \cdot \sin \alpha = N_1 - N_2$$

$$\sum y = 0; P_h \cdot \cos \alpha = Q + f(N_1 - N_2) + ma_t$$

$$\sum M_b = 0; P_h \cdot y \cdot \sin \alpha = N_2 b$$

Bu tənliklər sistemini həll edərək, alırıq:

$$P_h = \frac{Q + ma_t}{\cos \alpha - f[1 + (2y/b)] \sin \alpha}, \quad (4)$$

İtələyicinin eyni bərabər hərəkətində ($a_t=0$), alırıq.

$$P_h = \frac{Q}{\cos \alpha - f[1 + (2y/b)] \sin \alpha} \quad (5)$$

Mexanizmin f.i.ə.

$$\eta = \frac{A_{f.m}}{A_h} = \frac{QdS}{P_h dS \cos \alpha}$$

Burada $A_{f.m}$ - faydalı müqavimət qüvvələrin işi; A_h - hərəkətverici qüvvələrin işidir. P_h -in qiymətini düstur 5-də qeyd edərək alırıq:

$$\eta = (1/\cos \alpha) \{ \cos \alpha - f[1 + (2y/b)] \sin \alpha \} \quad (6)$$

$$= 1 - f[1 + (2y/b)] \operatorname{tg} \alpha$$

Beləliklə, təzyiq bucağı α kiçildikcə, başqa bərabər şəraitlər zamanı mexanizmin f.i.ə. artır. Daha əvvəl sübut olunmuşdur ki, təzyiq bucağı α 0-dan α_{\max} -a qədər dəyişə bilər. Ancaq yumrucuqlu mexanizmin normal işi $\alpha_{\max} < \alpha_c$ şəraitində mümkündür, burada α_c - təzyiq bucağının kritik (çətin) qiymətidir. Bu zaman, sürtünmədən özünü dayandırma nəticəsində, itələyicinin və istiqamətləndiricinin hərəkəti mümkün olmur (pərçimlənir).

α_c -nin qiyməti aşağıdakı şərtlə müəyyən olunur.

$$\eta = 1 - f \left[1 + \left(\frac{2y}{b} \right) \right] \operatorname{tg} \alpha = 0$$

Buradan

$$\operatorname{tg} \alpha_c = \frac{b}{[f(b + 2y)]} \quad (7)$$

Düsturdan görünür ki, f və y artıqca α_c azalır. Yumrucuqlu mexanizmlərin əksəriyyətində ən böyük təzyiq bucağı 300-dən çox olmur.

Yumrucuqlu mexanizmin aparılan bəndi onun yerdəyişməsinin, sürətinin və ya sürətlənməsinin vaxtdan və ya yumrucuğun dönmə bucağından asılı şəkildə verilə bilər, yəni $S=S(t)$, $v=v(t)$, $a=a(t)$ funksiyalarından biri kimi. Ümumi məşın və cihazqayırmada

tez-tez yumrucuğun hərəkətinin müəyyən vaxt müddətində itələyicinin yerdəyişməsinin sadəcə ən böyük qiyməti verilir, bu yerdəyişmənin dönmə bucağından asılılığını isə seçmək lazım gəlir [6].

İtələyicinin üç tez-tez rast gələn hərəkət növlərini nəzərdən keçirək: bərabər ölçülü $v=const$, bərabər dəyişən $a=const$ və sinusoidal $a=c \cdot \sin k\varphi$. Bərabər ölçülü (xətt 1) bərabər dəyişən (2) və sinusoidal (3) hərəkət zamanı itələyicinin uzaqlaşma (qalxma) dövrü üçün onun yerdəyişmə, sürət və sürətlənmə qrafikləri şəkil 3-də verilmişdir. Bu qrafikləri rahat müqayisə etmək məqsədilə, itələyicinin uzaqlaşması zamanı φ_1 , itələyicinin ən böyük qalxmasının S_{max} , yumrucuğun fırlanma tezliyinin n və yumrucuğun dönmə faza bucağının ilkin verilənləri bərabər qəbul edilmişdir.

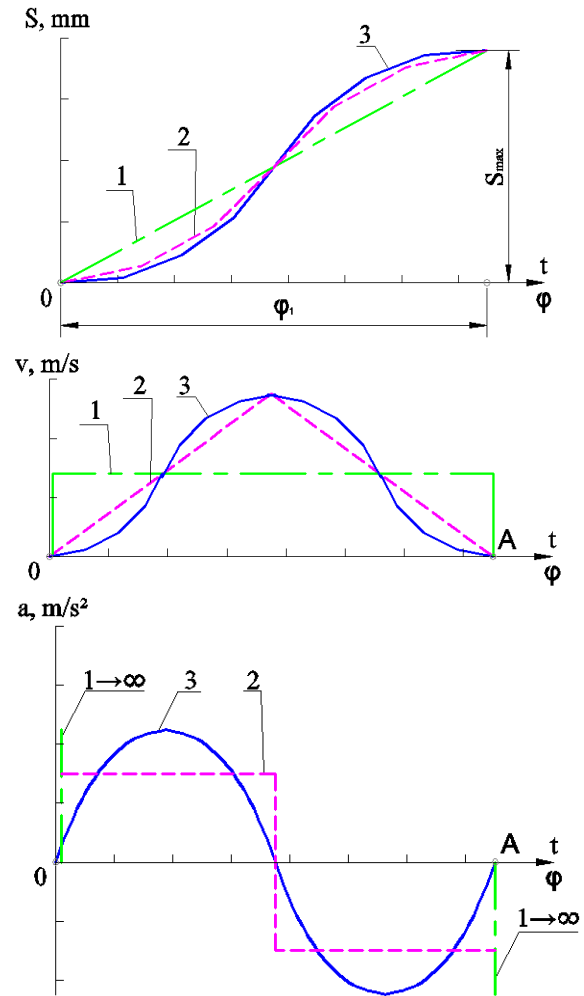
Bərabər ölçülü hərəkət zamanı O və A nöqtələrində sürətin ani dəyişməsi müşahidə olunur, bu isə itələyicinin sürətlənmələrinin nəzəri, həddsiz böyük qiymətlərinə səbəb olur. Lakin mexanizmin hissələri bir qədər elastikliyə malik olduğuna görə, itələyicinin sürətlənmələri böyük də olsa, hədd qiymətinə malik olacaqdır.

Hissələrin sürtünən elementlərinin artırılmış yeyilməsinə səbəb olan hissələrin sərt zərbə və titrəmələri itələyicinin böyük inersiya qüvvələri ilə əmələ gəlir. Bunu nəzərə alaraq, itələyicinin bərabər ölçülü hərəkəti yavaşlayan mexanizmlərdə tətbiq edilə bilər.

Bərabər dəyişən hərəkət zamanı (şəkil 3, xətt 2) itələyici əvvəlcə bərabər sürətlənən hərəkət, sonra isə - bərabər yavaşlayan hərəkət edir. İtələyicinin sürətlənməsi hədd qiyməti alır və bu səbəbdən də mexanizmin hissələrinə, $v = const$ qanunla müqayisədə, dinamiki yüklər azalır.

Sürətlənmənin sinusoidal dəyişmə qrafiki ən təkmilləşdirilmiş qrafik hesab olunur,

çünki yumrucuq mexanizmin müntəzəm, zərbəsiz təsiri müşahidə olunur; bu səbəbdən hissələrin titrəmələri, səsi və yeyilməsi azalır. Hərəkətin böyük sürətlərində sinusoidal qanun müvəffəqiyyətlə tətbiq edilir. Gedişin əvvəlində itələyicinin yavaş qalxması bu növün çatışmazlığıdır.



Şəkil 3 – İtələyicinin hərəkət növləri: bərabər ölçülü $v = const$, bərabər dəyişən $a = const$ və sinusoidal $a = c \sin k\varphi$.

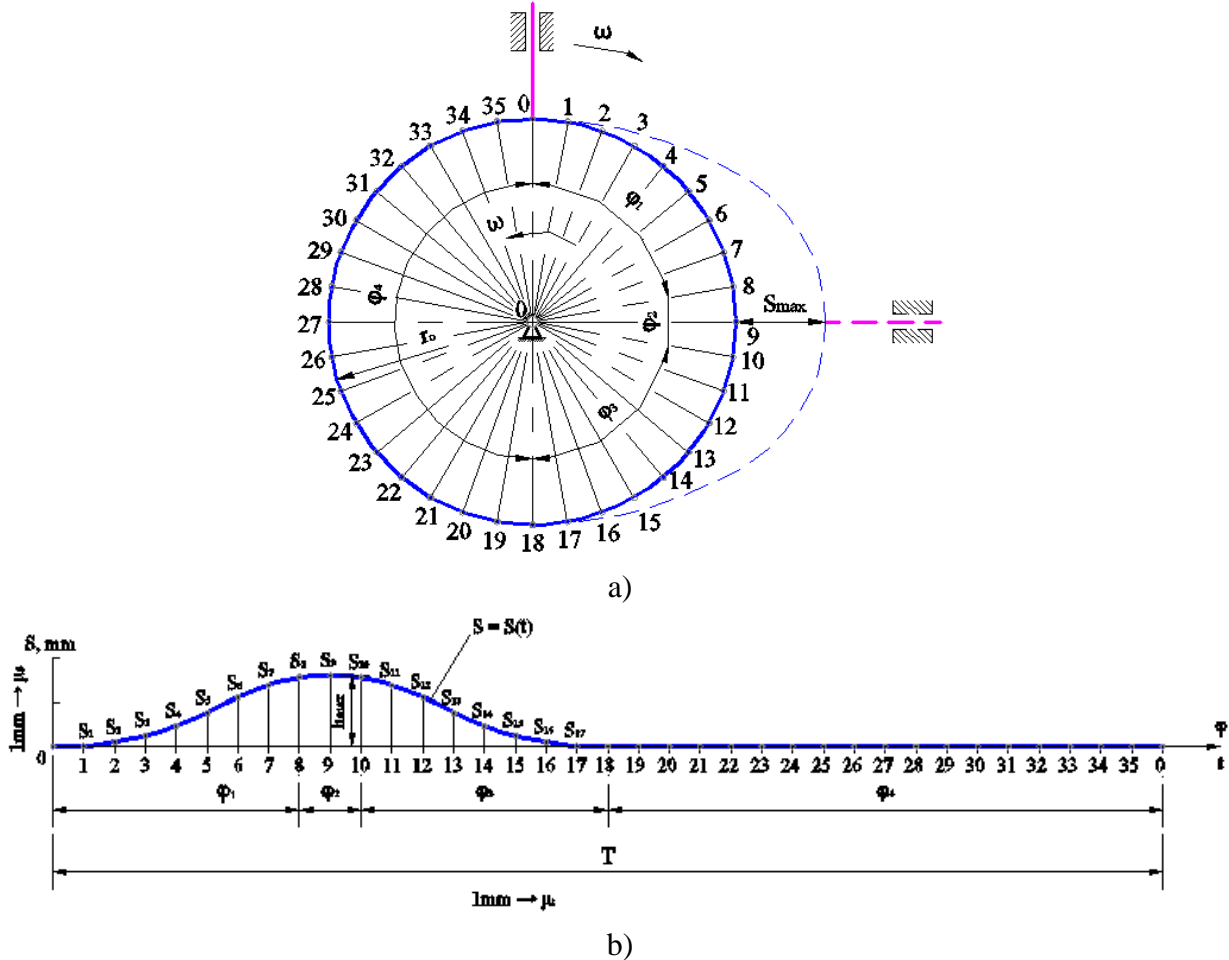
Figure 3 – Types of thruster motion: uniform $v=const$, uniform variable $a=const$, and sinusoidal $a = c \sin k\varphi$

İtələyicinin verilən hərəkətini təmin edən yumrucuğun profilinin qurulması yumrucuğun profillənməsinin məqsədidir. Yumrucuğun

profilənməsi üçün əsas qiymətləri ilə mexanizmin ümumi sxemi (r_0 - yumrucuğun profilinin əsas çevrəsinin radiusu; r_d – itələyicinin diyircəyinin radiusu, e – yerdəyişmənin qiyməti) və $S=S(t)$ şəkildə aparılan bəndin hərəkət funksiyası verilməlidir. Əgər hərəkət $v=v(t)$ və ya $a=a(t)$ asılılıqla verilmişdirsə, aparılan bəndin (itələyicinin) yerdəyişmə qrafiki qrafik inteqrallama üsulu ilə qurulur.

İtələyicinin hərəkətinin sinusoidal növünü qəbul edərək (şəkil 3), yumrucuğun dəyişmə bucağından asılı olaraq, itələyicinin yerdəyişməsini S aşağıdakı kimi müəyyən etmək olar

(şəkil 4). Bərabər miqdarda hissələrə bölünən əsas çevrə yumrucuğun profilinin ən kiçik radiusu ilə O nöqtəsindən çəkilir. Sonra bu hissələr yumrucuğun dönmə faza bucaqlarına görə qruplaşdırılır $\varphi_1... \varphi_4$; onlar yumrucuğun mərkəzindən itələyicinin uzaqlaşdırılmasına (φ_1), uzaq durmasına (φ_2), yaxınlaşmasına (φ_3) və yaxın durmasına (φ_4) uyğundur. İtələyicinin başlanğıc qalxmasına uyğun yumrucuğun profil nöqtəsi adətən hesablamaların əvvəli kimi qəbul edilir; nöqtələrin hesablanması verilən bucaq sürətinin ω istiqamətinə əks istiqamətdə aparılır.



Şəkil 4 – İtələyicinin yerdəyişməsi qrafikinə qurulması

Figure 4 – Construction of the displacement diagram of the follower

İtələyicinin yerdəyişmə qrafikinə $S=S(t)$ qurulması məqsədilə qrafikin üfüqi oxunda μt

(şəkil 4.b) miqyasında yumrucuğun fırlanma dövrünə bərabər OO (mm) kəsik ayrılır; bu

kəşik yumrucuqdakı bərabər hissələrin miqdarı kimi bölünür. Vaxtın hesablaşma miqyası bu zaman

$$\mu_t = T/\overline{00} = \frac{60}{n} / \overline{00}$$

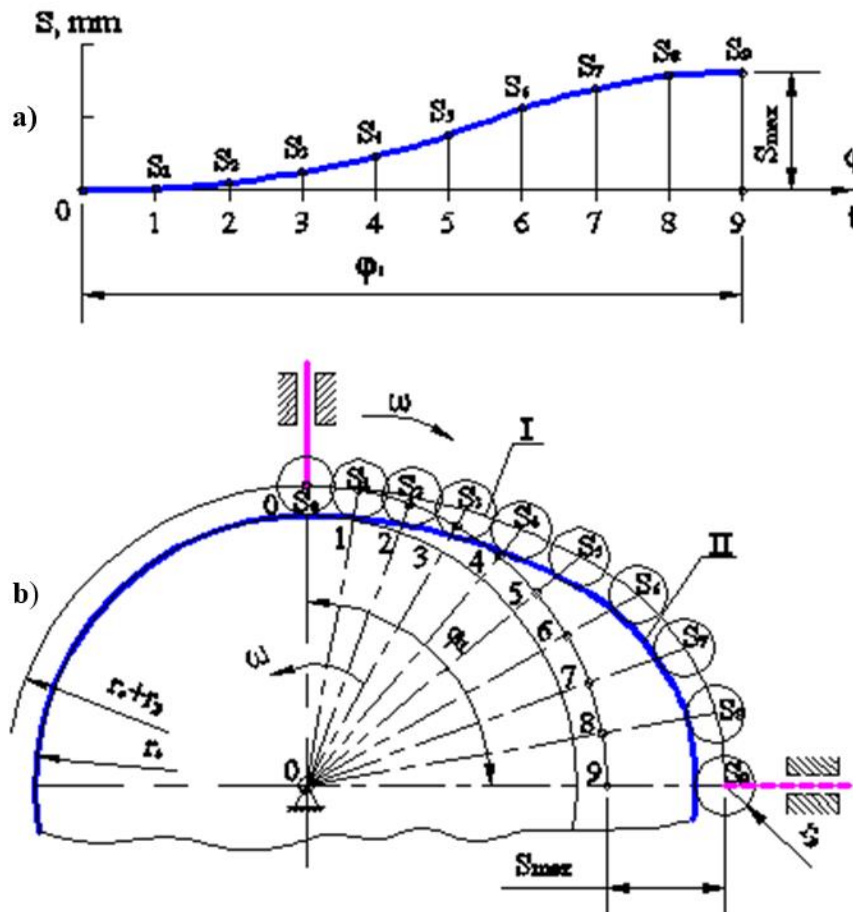
Burada n - yumrucuğun fırlanma tezliyi-
 dir, dövr/dəq.

Yumrucuğun müvafiq vəziyyətlərində
 itələyicinin μ_s miqyasında yerdəyişmələrin
 lazımi qiymətlərinə bərabər $1S_1, 2S_2$ və s.
 ordinarlar $1, 2, 3, \dots$ nöqtələrindən ayrılır. $O, S_1,$
 S_2, \dots nöqtələrini hamar əyri ilə birləşdirərək $S =$
 $= S(t)$ qrafiki alırıq. Bu qrafik $\omega = \text{const}$

şəraitində $S=S(\varphi)$ qrafiki olur. Qrafikin hesab-
 lama miqyası:

$$\mu_s = S_{\max} / h_{\max}$$

İtələyicinin gedişinin qiymətinə S_{\max}
 onun uzaqlaşdırılmasına (qalxmasına) uyğun
 yumrucuğun φ_1 bucağına dönməsi üçün,
 itələyicinin verilən yerdəyişmə qrafikinə görə
 (Şəkil 5. a) mərkəzi mexanizmin yumrucu-
 ğunun profilinin müvafiq elementini qurmaq
 mümkündür, məsələn, diyircəkli itələyici ilə.
 Bunun üçün, yumrucuğun mərkəzindən O r_0+r_d
 radiusu ilə çevrə çəkilir. Bu çevrə diyircəyin
 mərkəzinin başlanğıc vəziyyətindən keçəcək
 (şəkil 5 b).



Şəkil 5 – Diyircəkli itələyicinin yumrucuq profilinin qurulması
 Figure 5 – Construction of the cam profile for a roller follower

İtələyicinin başlanğıc vəziyyətinə uyğun $\bar{O}\bar{S}_0$ radial xəttindən ω -ya əks istiqamətdə yumrucuğun dönmə φ_1 bucağı ayrılır və verilən qrafikdəki $S=S(t)$ kimi bərabər hissələrin miqdarında bölünür. Sonra, diyircəyin mərkəzinin başlanğıc vəziyyətindən keçirilən r_0+r_d radiusu ilə çevrədən, $S=S(t)$ (miqyası nəzərə alaraq) qrafikə görə götürülən, itələyicinin yerdəyişmə qiymətləri S radial xəttlər üzrə ayrılır. Alınan nöqtələr S_0, S_1, S_2, \dots yastı əyri ilə birləşdirilir və yumrucuğun nəzəri I (mərkəzi) profili olur. Mərkəzi profildə yerləşən istənilən nöqtələrdən həqiqi profilin qurulması üçün, diyircəyin radiusuna bərabər radiusla çevrələrin traektoriyası keçirilir. Bu trayektoriyaları əhatə edən əyri yumrucuğun tələb olunan profilidir II.

Hərəkətin hər bir məqamında itələyicinin sürəti və sürətlənməsi itələyicinin yerdəyişmə qrafikinə differensiallama qrafik üsulu ilə aşağıdakı asılılıqlara görə müəyyən edilə bilər:

$$v_T = \frac{dS}{dt}$$

$$a_T = \frac{dv_T}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2}$$

Burada v_T və a_T – itələyicinin sürətinin və sürətlənməsinin ani qiymətləridir.

Yumrucuğa itələyici tərəfindən təsir edən ümumi yük P_y qüvvələrin cəbri cəminə bərabərdir: yayın P_{yay} , xarici yükün Q , kütlənin G , inersiya qüvvəsinin P_i və istiqamətləndirici itələyicinin sürtünmə qüvvəsinin F :

$$P_y = P_{yay} + Q + G + P_i + F \quad (8)$$

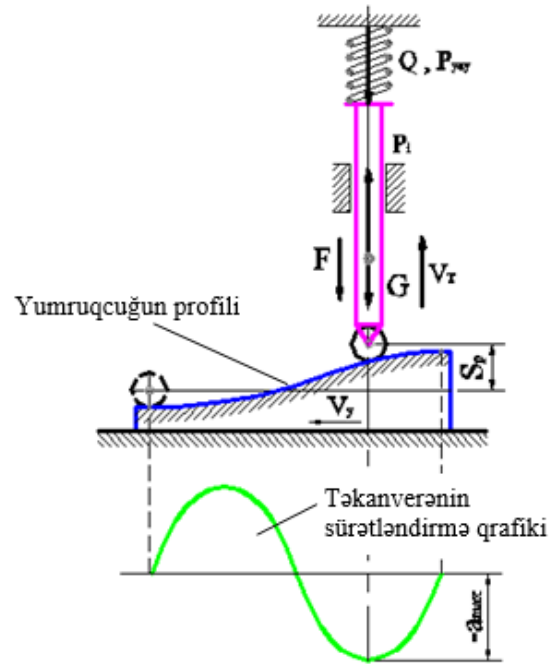
Yumrucuğa itələyicini sıxan ən böyük inersiya qüvvəsinin təsir anında maksimal qiymətə çatan P_y qüvvəsinin qiyməti, yumrucuğun dönmə bucağından asılı olaraq, dəyişir. P_y qüvvəsinin təsirini qarşılamaqla işləmək məqsədilə yumruculu vala M_y fırlanma momenti tətbiq etmək lazım gəlir. Bu moment yumrucuğun profilində A nöqtəsində (şəkil 2.)

normal qüvvə yaradır $P=P_y/\cos\alpha$. Momentin qiyməti

$$M_y = P\rho\sin\alpha$$

Nəzərə alaq ki, mərkəzi mexanizm üçün $\operatorname{tg}\alpha=v_T/(\omega\rho)$, fırlanan momentin qiymətini aşağıdakı ifadədən tapmaq olar

$$M_y = P_y\rho\operatorname{tg}\alpha = \frac{P_y v_T}{\omega} \quad (9)$$



Şəkil 6 – Yumrucuğa itələyici tərəfindən yükün təsiri

Figure 6 – The effect of the load from the follower on the cam.

İtələyicinin yumrucuğun profili ilə sürüşmə zamanı yaranan $F_y=fP=fP_y/\cos\alpha$ sürtünmə qüvvəsinə nəzərə alaraq (şəkil 6).

$$M_y = \frac{P_y v_T}{\omega} + F_y \rho \cos\alpha = P_y \left[(v_T / \omega) + f\rho \right]$$

DYM-in əvvəllər baxılan konstruksiya-larının paylayıcı valının yumrucuğunun profilinin təhlili əsasında, eləcə də şəkil 6 və (8, 9) düsturlarını nəzərə alaraq, bu nəticəyə gəlirik ki, ümumi yükün P_y artması deməli, ən böyük yeyilmə, itələyicinin yumrucuğun mərkəzindən uzaqlaşmasına uyğun faza dönmə

bucağı ilə yumrucuğun sahəsində baş verir [7].

Yumrucuğun yeni konstruksiyasının tətbiqi Xüsusi texnologiya ilə alınan yüksək bərkliyə malik qatı olan DYM-in paylayıcı valının yumrucuqlarının sürtünən işçi səthləri yeyilməyə davamlılığı və sürtünməyə qarşı itkilərin azalmasını təmin edir. Nikel, xrom və mis əlavələri ilə xüsusi legirlənmiş çuqunlar və karbonun artırılmış tərkibə malik legirli konstruksiya poladları ilkin material kimi istifadə olunur. Polad valları HRC 58-60 bərkliyə qədər sementləyərək tablanır və ya HRC 52..56 bərkliyə qədər YTC-la tablanır, çuqun materialından olan PV-1 isə ancaq tablayırlar. Yüksək möhkəmliyə malik olmayan materialdan hazırlanan hissələrin üst səthlərinə yüksək bərklik tələbləri tətbiq edilir [8].

Eləcə də, müasir riyazi üsulların tətbiqi ilə hesablanan müasir DYM-in yumrucuqlarının profilləri, DYM-in qazpaylayıcı intiqalının hissələrinə (itələyicilər, ştanqlar, yaylar və klapanlar) təsir edən inersiya yüklərinin minimuma endirilməsinə imkan verir. Yumrucuğun profilinin dəyişməsi ilə bağlı tədqiqat işləri qazpaylayıcı fazaların dəyişməsinə istiqamətlənir və qovma dinamikasının və ya avtomobilin maksimal sürətinin artması üçün mühərrikin fırlanma momentinin və gücünün xarakteristikalarını dəyişməyə xidmət edir [9-11].

Lakin DYM paylayıcı valları aşağıdakı xüsusiyyətlərə malik olmalıdır [3]:

- valın konstruksiyasının qeyri sətliyi;
- pillələrin dəyişməsinin böyük miqdarı, yastıqların və yumrucuqların dayaq boyuncuqlarının müxtəlif bərklik qiymətləri ilə gərginliklərin toplusunun mövcudluğu;

- təpəsinin müəyyən konfigurasiyası ilə yumrucuğun mürəkkəb profili yumrucuq-itələyici dəqiq cütün istismar zamanı pərçimləmə effektinin olmaması şərti;

- valın işləməsi zamanı böyük fırlanma tezliyi;

- valın elementlərinə müəyyən ardıcılıqla uzununa təsir edən tsiklik yük;

- bərklik qiymətinin artması və pillələrin keçidlərində fərqlənməsi.

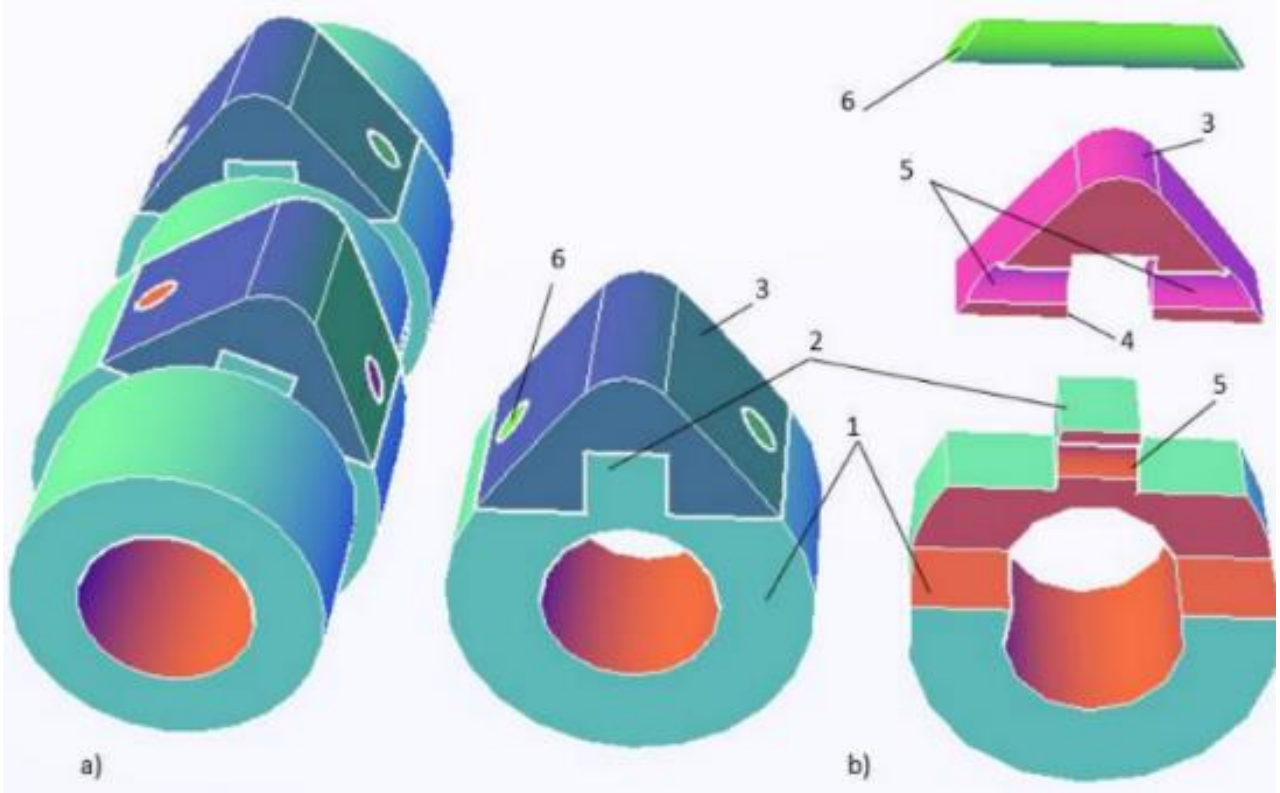
Eyni zamanda, Bakı şəhərin bəzi texniki xidmət stansiyalarında “KAMAZ” modelli yük avtomobillərinin və “BMW” və “LADA” modelli yüngül avtomobillərin DYM-in paylayıcı vallarının təhlili göstərmişdir ki, əyilmələrdən və çatların əmələ gəlməsindən başqa, yumrucuğun faza dönmə bucağı ilə φ_1 və φ_2 (şəkil 4.) sahələrinin yeyilməsi səbəbilə paylayıcı vallar iş qabiliyyətlərini itirir.

Məlum texniki həllin istifadəsi yolu ilə yumrucuq-itələyici dəqiq cütün etibarlılığının artması mümkündür. Onun konstruksiyası, dayaq yastıqların və yumrucuqların boyuncuqlarının pillələri arasında diametrin əhəmiyyətsiz dəyişməsi eləcə də yumrucuqların oturdulan dayaqları ilə silindrik içi boş pilləli valı təmsil edir. İstismar şərtlərinin saxlanılması, yumrucuqlu paylayıcı valın hazırlanma üsulu və ucuz materialları seçərək, bu qurğu tərkib hissələrin materiallarını uyğunlaşdırmağa imkan verir. Eyni zamanda, qeyd etmək lazımdır ki, silindrik valı aşağı yumşaldılmış, orta karbonlu legirli poladdan, yumrucuqları isə yeyilməyə davamlı tsiklik yüklərə davam gətirən karbid poladdan ovuntu metallurgiya üsulu ilə hazırlanır. Bununla bərabər, uyğunlaşdırılmış materiallardan hazırlanmış yumrucuğun sökülə bilən profili inersiya yüklərin səviyyəsinin minimuma salınması müasir tələblərə cavab verməlidir. Qovma dinamikasının yaxşılaşdırılması və avtomobilin maksimal sürətini artırmaq üçün, mühərrikin gücünün artması şərti ilə bu tələblər yerinə yetirilməlidir.

Şəkil 7a-da yumrucuqlu paylayıcı valın bir hissəsinin sxematik görünüşü verilmişdir. Şəkil 7 b-də yumrucuqlu paylayıcı valın konstruksiyası və elementləri göstərilmişdir. Burada 1- yumrucuq boyuncuğu, 2- yumrucuq boyuncuğunun işkil səthi, 3-yumrucuq, 4-yumrucuğun işkil yuvasına perpendikulyar istiqamətdə açılmış deşik, 5-yumrucuğu yumrucuq boyuncuğu ilə birləşdirən ox verilmişdir. Bərkitmə sxeminə əsasən (şəkil 1.) yumrucuq

(3) yumrucuq boyuncuğunda (1) olan işkil (2) üzərində oturdulur, sonra yumrucuqda və işkil üzərində açılmış deşiklərdən (4) ox (5) vasitəsilə pərçimlənmə oturtması ilə onu yumrucuq boyuncuğuna bərkidilir. Pərçimlənmiş ox (5) yumrucuğun iş

prosesində yumrucuqlu paylayıcı valın oxu və oxuna perpendikulyar istiqamətdə yerdəyişməsinə məhdudlaşdırır, bu da mühərrikin istismar zamanı yarana bilən zərbələrin və səslərin azaldılmasına səbəb olur.



Şəkil 7 – Sökülə bilən yumrucuqlu paylayıcı valın yığılı
Figure 7 – Assembly of a modular camshaft with detachable lobes

Nəticə

Yumrucuqlu mexanizmin daha məqsədə uyğun konstruksiyasının işlənməsi və hissələrinin ölçülərinin müəyyənəşdirilməsi; Aparıcı hissənin funksiyasının və ya hərəkət qrafikinə seçilməsi; İtələyicinin hərəkətini təmin edən yumrucuq profilinin qurulması; mexanizmin dinamik hesabı; hissələrin möhkəmliyə və etibarlılığa hesabı.

Yumrucuqların yeyilməyə məruz qalan səth profilinin möhkəmliyinin artırılması üçün mümkün müxtəlif bərpa və səthi möhkəmliyinin artırılması üsulunun tətbiq edilməsinə

imkan vardır.

Yumrucuqlu valın hazırlanmasının və istismar parametrlərinin bərpa prosesi zamanı yumrucuqların təmirinin istismar dövrünü artıraraq və əmək tutumunu azaldaraq, yuxarıda göstərilən əlamətlər texniki nəticəyə öz təsirini göstərməyə imkan verəcək.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

- 1. Hüseynov Ə.G., Abbasov V.A., Əsədov Ş.N., Kərimov A.F.** Paylayıcı valların konstruktiv və istismar xüsusiyyətlərinin onun etibarlılığına təsiri. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. Bakı, 2024, cild 16, No 4, s. 17-26. https://doi.org/10.52171/2076-0515_2024_16_04_17_26
- 2. Abbasov V.A., Hüseynov Ə.G., Kərimov A.F.** Yumrucuqlu paylayıcı val və hazırlanma üsulu. Patent. İ2024 0109.
- 3. Abbasov, V., Amirov, F., Karimov, A.** Wear properties of camshaft cams and improvement of their wear resistance. *Reliability: Theory & Applications*. 2025. 20(SI 7 (83)), 297-303.
- 4. Abbasov, V., Amirov, F., Karimov, A.** Features of the New Design of the Camshaft of Internal Combustion Engines. *Research and Updates on the Use of Artificial Intelligence in Drone Technology*. ISUDEF 2024. Sustainable Aviation. Springer, Cham. 2026. https://doi.org/10.1007/978-3-032-07678-6_50
- 5. Huseynov, A., Huseynli, F., Safarov, M.** Reliability prediction of precision parts of fuel pumps with enhanced surface hardness achieved through laser technology. *Tribologia – Finnish Journal of Tribology*, 2025. 42(1–2), 64–71. <https://doi.org/10.30678/fjt.152491>
- 6. Huseynov A.G., Karimov A.F.** Study of the Camshaft Feed of the Internal Combustion Engine. *Herald of Azerbaijan Engineering Academy*, 2025, 17(3), 35–46. <https://doi.org/10.52171/herald.291>
- 7. Sahoo S., Tripathy A.** Tribological Behavior of Camshaft Materials with Advanced Surface Coatings. *Tribology International*. 2022, 170, 107548. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107548>
- 8. Bai, H., et al.** Fatigue Life Prediction of Cam-Follower Mechanisms under Variable Loads. *Mechanism and Machine Theory*, 2023. 183, 105142. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2023.105142>
- 9. Kang, M. J., & Yoon, J. H.** Improvement of Wear Resistance in Cam Profiles by Laser Surface Hardening. *Surface and Coatings Technology*. 2022, 441, 128569. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128569>
- 10. Gómez, P., & Ortega, A.** Modeling and Simulation of Valve Train Systems with Variable Motion Laws. *Applied Mathematical Modelling*. 2024, 121, 573–589. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2024.02.010>
- 11. Li, X., & Yang, D.** Multi-objective Design Optimization of Cam-Follower Mechanisms Considering Inertia and Contact Stresses. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. 2023, 51(2), 313–332. <https://doi.org/10.1080/15397734.2023.2164991>