

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ

AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ

«AVTOMOBİL TEXNİKASI» KAFEDRASI

“DYM-nin işçi proseslərinin nəzəriyyəsi və qidalanma sistemləri – I “ fənni üzrə

MÜHAZİRƏ KONSPEKTLƏRİ

Tərtib edən: dos. Fərzəliyev M.N.

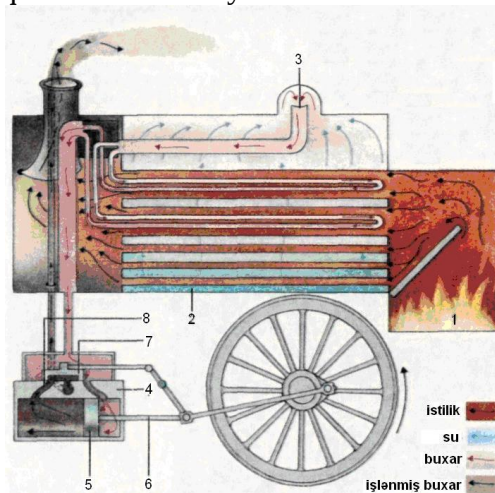
BAKİ-2016

GİRİŞ

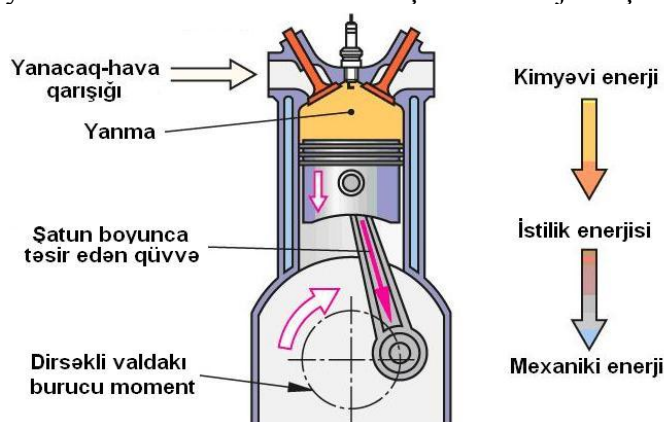
Məlumdur ki, istənilən maşın və ya mexanizmi hərəkətə gətirmək, elektrik enerjisi əldə etmək üçün mexaniki enerji tələb olunur. Bu enerjini istilik, hidravlik, Günəş və külək enerjilərindən istifadə etməklə almaq olar. Hidravlik enerjiden elektrik enerjisi almaq üçün geniş istifadə olunsa da, onun Yer üzündəki resursları məhduddur. Günəş və külək enerjiləri isə əksinə, bəşəriyyətin tələbatından qat-qat çoxdur. Lakin mövcud texnologiya bu enerji növlərinin arzuolunan həcmdə reallaşdırılmasına hələlik imkan vermir. Çağdaş dövrdə ən çox istifadə olunan üzvi və nüvə yanacaqlarından alınan istilik enerjisidir. Yanacağın tərkibindəki karbohidrogenlərlə oksigenin birləşməsi zamanı ayrılan istiliyin bir hissəsindən mexaniki enerjinin alınması kifayət qədər əlverişlidir.

Hər hansı enerji növünü mexaniki enerjiyə çevirən maşın və ya qurğuya *mühərrik* deyilir. Sərf etdiyi enerji növünə görə mühərriklər müxtəlif olurlar: elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən mühərriklərə elektrik mühərrikləri, külək enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən mühərriklərə külək mühərrikləri, nüvə enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən mühərriklərə nüvə mühərrikləri və ya reaktorları, istilik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən mühərriklərə isə istilik mühərrikləri deyilir.

İstilik mühərriklərində mexaniki enerji yanacağın yanmasından alınan istiliyin hesabına əldə edilir. Bu mühərriklər öz növbəsində iki əsas qrupa bölünürlər: yanacağı kənarda yandıraraq, onun verdiyi istilikdən istifadə etməklə mexaniki enerji istehsal edən *xarici yanma mühərrikləri* (buxar maşınları və turbinləri, Stirling və Eriksson mühərrikləri və s.) (şək.1.1) və yanacağın bilavasitə mühərrikin daxilində yanmasından alınan istiliyin müəyyən hissəsini mexaniki enerjiyə çevirən *daxili yanma mühərrikləri* (porşenli, qaz turbinli və mayeli reaktiv mühərriklər) (şək.1.2).



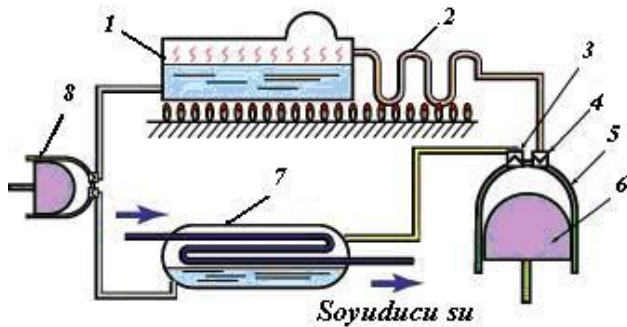
Şək.1.1. Xarici yanma mühərriki olan buxar maşınında enerjinin çevrilmə mexanizmi



Şək.1.2. Məcburi alışdırılmalı daxili yanma mühərrikində enerjinin çevrilmə mexanizmi
Xarici yanma mühərrikləri aşağıdakı xüsusiyyətlərə malikdir:
- işçi cismə istilik mühərrikdən kənarda, adətən istilik mübadiləediciyə verilir;

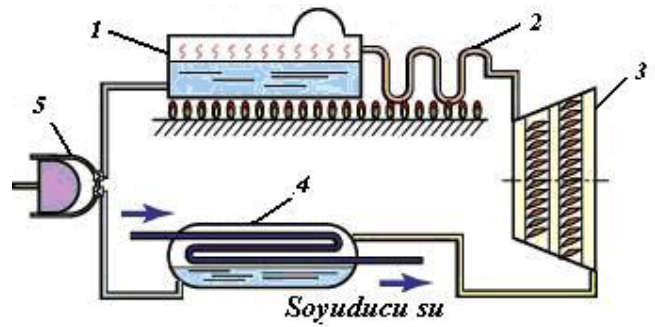
- işçi cisim hər dəfə yenilənmir, o qapalı kontur üzrə müxtəlif aqrekat halında dövr edir;
- iş ya genişləndirici silindrdə, ya da turbində görülür.

Bu tip istilik mühərriklərinə nümunə kimi buxar mühərriki və buxar turbininin sxemləri müvafiq olaraq şəkl.1.3 və şəkl.1.4-də göstərilmişdir. Hər ikisində işçi cisim rolunu su oynayır. Buxar generatorunda qızdırılaraq nəm buxara çevrilən işçi cisim buxar qızdırıcısında daha yüksək tempera-



Şəkil. 1.3. Buxar mühərrikinin prinsipial iş sxemi:

- 1 – buxar generatoru (qazan); 2 - buxar qızdırıcısı;
3 – xaric klapanı; 4 - doldurma klapanı; 5 – silindr;
6 – porşen; 7 – kondensator; 8 – su nasosu



Şəkil. 1.4. Buxar turbininin prinsipial iş sxemi:

- 1 – buxar generatoru (qazan); 2 - buxar qızdırıcısı;
3 – turnin; 4 – kondensator; 5 – su nasosu

tura qədər qızdıqdan sonra ya porşenli kompressora, ya da buxar turbininə daxil olaraq iş görür. Bundan sonra kompressordan və ya turbindən çıxan işlənmiş buxar kondensatora daxil olaraq yenidən suya çevrilir və nasos tərəfindən buxar generatoruna göndərilir.

Daxili yanma mühərrikləri isə aşağıdakı xarakterik əlamətlərə malikdir:

- yanacağın yandırılması, istiliyin ayrılması və onun işə çevrilməsi bilavasitə mühərrikin daxilində baş verir;
- işçi cisim mühərrikin iş prosesi zamanı daim yenilənir.

Daxili yanma mühərriklərinin xüsusiyyətləri

Daxili yanma mühərrikləri istilik mühərriklərinin ən geniş yayılmış növüdür. Onların prinsipial sxemləri şəkl.1.5-də göstərilmişdir.

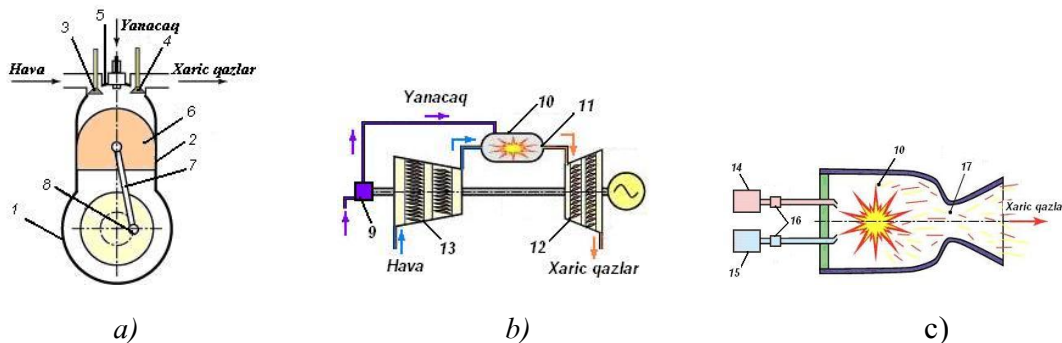
Porşenli mühərrikin (şəkl.1.5a) əsas hissələri silindr (2), silindrlər başlığı (5), karter (1), porşen (6), şatun (7), dirsəkli val (8), sorma (3) və xaric (4) klapanlarıdır. Yanacaq və onun yandırılması üçün zəruri olan hava silindrə verilir. Silindrin yanma gedən qapalı həcmi silindrin divarları, porşenin təpəsi və silindrlər başlığının daxili səthi təşkil edir. Yanma nəticəsində yaranan, yüksək temperatur və təzyiqə malik qazlar porşenə (6) təsir göstərərək onu silindr (2) daxilində aşağıya doğru itələyir. Porşenin düzxətli hərəkəti şatunun (7) köməyi ilə karterdə yerləşdirilmiş dirsəkli valın (8) fırlanma hərəkətinə çevrilir. Porşenin düzxətli hərəkəti növbə ilə həm irəli, həm də geriye istiqamətləndiyi üçün porşenli mühərrikdə yanacağı periodik olaraq ardıcıl dozalarla yandırmaq mümkün olur. Hər bir yanacaq dozasının yandırılmasından qabaq isə bir neçə hazırlıq proseslərinin həyata keçirilməsi vacibdir.

Qazturbinli mühərriklərdə (şəkl.1.5b) yanacaq xüsusi yanma kamerində (10) yandırılır. Kamera yanacaq nasosun (9) və forsunkanın köməyi ilə verilir. Yanma üçün zəruri olan hava isə qaz turbininin (12) işçi çarxı ilə eyni val üzərində yerləşən kompressor (13) vasitəsilə vurulur. Yanma məhsulları istiqamətləndirici aparatdan (11) keçməklə qaz turbininə daxil olur.

İşçi orqanları disk üzərində yerləşdirilmiş xüsusi profilli pərləri olan qaz turbinləri diskə bir yerdə fırlanaraq işçi çarxı təşkil edir. Qaz turbini yüksək dövrlər sayı ilə işləyə bilər. Ardıcıl olaraq yerləşdirilən pərlər cərgəsi turbinin pillələrini təşkil edir. Belə turbinlər çoxpilləli turbinlər adlanır və qızmış qazların enerjisindən daha yaxşı istifadə etməyə imkan verir. Lakin qaz turbinləri qənaətliliyinə görə hələ ki, porşenli mühərriklərə uduzurlar.

Mayeli reaktiv mühərriklərdə (şəkl.1.5c) maye yanacaq və oksidləşdirici yanma kamerinə (10) nasosun (16) köməyi ilə təzyiq altında 14 və 15 çənlərindən vurulur. Yanma məhsulları soplo

deşiyindən (17) keçməklə genişlənərək böyük sürətlə ətraf mühitə axır. Qazların soplo deşiyindən axması mühərrikin reaktiv dartı qüvvəsinin yaranmasına səbəb olur. Reaktiv dartı qüvvəsi qurğunun hərəkət sürətindən asılı deyil, güc isə mühərrikə daxil olan hava axınının sürəti böyüdükcə artır. Bu xüsusiyyətdən turboreaktiv mühərriklərin aviasiyada tətbiqi zamanı istifadə edirlər. Reaktiv mühərriklər də porşenli mühərriklərlə müqayisədə qənaətiliyə görə uduzur.



Şək.1.1. Daxili yanma mühərriklərinin sxemləri:
a) porşenli d.y.m.; b) qazturbanlı mühərrik; c) mayeli reaktiv mühərrik

Qənaətilik baxımından porşenli daxili yanma mühərrikləri istilik mühərriklərinin hamısından üstündür. Bundan başqa onların istismarı asan və istismar müddəti uzundur, qabarit ölçüləri və kütlələri nisbətən azdır, onların xarakteristikaları istehlakçının xarakteristikası ilə yaxşı uyğunlaşır. Məhz bunlara görə porşenli daxili yanma mühərrikləri nəqliyyat və stasionar energetikada geniş tətbiq olunur.

Daxili yanma mühərriklərinin inkişaf tarixi

Porşenli daxili yanma mühərriklərinin inkişafı XIX əsrin ikinci yarısından başlansa da, onların yaradılmasına ilk cəhdlər hələ XVII əsrin sonlarında edilmişdir. Belə ki, hələ 1680-ci ildə holland fizik **Kristian Hüygens** (*Christian Huygens*) ilk dəfə qara barıtlı işləyən daxili yanma mühərriki layihə etdi. Lakin o, belə bir mühərriki yarada bilmədi. Hərçənd ki, həm o, həm də fransız alimi **Deni Papen** (*Denis Papin*) barıtlı işləyən belə mühərrikin təkmilləşdirilməsi üçün xeyli çalışdılar.

Porşenli daxili yanma mühərriki üçün ilk patenti 1794-cü ildə ingilis **Robert Strit** (*Robert Street*) aldı. Mühərrik silindr və hərəkət edən porşendən ibarət idi. Porşenin hərəkətinin ilkin mərhələsində silindrə uçucu mayenin (spirtin) və havanın daxil olması nəzərdə tutulurdu. Maye və maye buxarları hava ilə qarışdıqdan sonra porşenin gedişinin ortasında qarışıq alışırdırdı və porşeni itələyirdi.

1799-cu ildə ingilis ixtiraçısı **Con Barber** (*John Barber*) oduncağın distillə olunmasından alınan qaz və havanın qarışığı ilə işləyən porşenli daxili yanma mühərriki yaratmaq üçün cəhd göstərmişdi.

1801-ci ildə isə fransız ixtiraçısı **Filipp Lebon** (*Phillipe Lebon*) qazla işləyən daxili yanma mühərrikinin layihəsini təklif etmişdi. Bu mühərrikdə hava və qazın bir-birindən asılı olmayan iki nasosla ayrılıqda sıxılıb qarışdırıcı kamerə, oradan isə mühərrikin silindrinə verilməsi və qaz-hava qarışığının elektrik qığılcımı vasitəsilə alışıdırılması nəzərdə tutulmuşdu. Qeyd etmək lazımdır ki, bu layihə yanacaq-hava qarışığının elektrik qığılcımının köməyi ilə alışıdırılması ideyasının əsasını qoydu.

1806-cı ildə fransız ixtiraçısı **Nisefor Nyeps** (*Nisefor Neps*) qardaşı Klodla birgə Fransa Milli İnstitutuna (indiki Fransa Elmlər Akademiyası) gücünə görə buxar maşınları ilə müqayisə oluna biləcək, lakin onlardan xeyli az yanacaq işlədəcək yeni qurğu – daxili yanma mühərrikinin prototipi haqda elmi məruzə təqdim etdilər. Onlar öz ixtiralarını “*pireolofor*” (yunanca “odlu küləklə hərəkətə gətirilən” deməkdir) adlandırmışdılar. Bu qurğu elə 1806-cı ildə yaradılaraq uzunluğu 3 metr olan qayıqda qoyuldu və Sena çayı sularında axına əks istiqamətdə sınaqdan keçirildi. “*Pireolofor*” daş kömür tozu ilə işləyirdi və onun alışıdırılması atmosfer təzyiqi şəraitində həyata keçirilirdi. Bu qurğu qayığa axın sürətindən iki dəfə artıq sürətlə üzməyə imkan verirdi. Lakin öz ixtiralarını geniş istehsal məqsədi ilə satmaq qardaşlara nəsib olmadı.

1807-ci ildə isveçrəli **Fransua İsaak de Rivaz** (*François Isaac de Rivaz*) yanacaq kimi hidrogenlə oksigen qarışığından istifadəni nəzərdə tutan daxili yanma mühərriki icad etdi.

1824-cü ildə ingilis mühəndis **Samuel Braun** (*Samuel Brown*) köhnə buxar mühərrikini qazla işləmək üçün rekonstruksiya etdi.

Nisbətən kompakt daxili yanma mühərriklərinin yaradılmasında baza rolunu italyan ixtiraçı **Luigi Kristoforisin** 1841-ci ildə yaratdığı və “sıxma-alışdırma” prinsipi ilə işləyən mühərrik oldu. Bu mühərrikdə alışdırılan maye yanacaq rolunu kerosin oynayır və onun mühərrikə verilməsini xüsusi nasos təmin edirdi.

İtalyan ixtiraçılar **Eugenio Barzanti** (*Eugenio Barsanti*) və **Felis Mattoççi** (*Felice Matteucci*) Kristiforisin təklif etdiyi ideyanı inkişaf etdirərək yeni daxili yanma mühərriki layihə edib, 1854-cü ildə ona ingilis patenti aldılar. 1856-cı ildə isə onlar bu ixtira əsasında ilk əsil daxili yanma mühərrikini yaratdılar. Bu mühərrik üç taktlı iş tsikli ilə (sıxma gedişi olmadan) işləyirdi və su ilə soyutma sisteminə malik idi. Yanacaq kimi daş kömür qazı ilə havanın qarışığından istifadə edilən mühərrik 5 a.q. güc almağa imkan verirdi.

1858-ci ildə fransız mühəndisi **Jan Jozef Etyen Lenuar** (*Jan Joseph Etienne Lenoir*) işıqlandırma üçün istifadə olunan təbii qazla işləyən, elektrik qığılcımı ilə alışdırılmalı 2 taktlı daxili yanma mühərrikini icad etdi və 24 yanvar 1860-cı ildə bu ixtiraya patent aldı. Sənaye əhəmiyyətli ilk daxili yanma mühərriki hesab olunan bu qurğu 2-taktlı, qazla işləyən, zolotnikli paylayıcıya malik mühərrik idi. Lenuarın mühərrikində qaz-hava qarışığı sorma taktının ortalarında elektrik qığılcımının köməyi ilə alışdırılırdı. Yanma prosesi nəticəsində silindrdəki təzyiq artdığından porşen özünün aşağıya doğru hərəkətini sürətləndirərək iş görürdü. İkinci taktı isə porşen əks istiqamətdə hərəkət edərək yanma məhsullarını silindrdən xaric edirdi. Bu mühərrikin faydalı iş əmsalı çox aşağı (3÷5%) olduğundan o zamankı buxar maşınları ilə rəqabətə girə bilməzdi.

1862-ci ildə fransız mühəndisi **Alfons Bo de Roşa** (*Alphonse Beau de Rochas*) alışdırmadan qabaq qaz-hava qarışığının sıxılması ideyasını irəli sürdü və 4 taktlı mühərrik üçün patent aldı. Lakin işləyən mühərrik yaradılmadı.

1864-cü ildə avstriyalı mühəndis **Ziqfrid Markus** (*Siegfried Marcus*) işləyən bir silindrlı karbüratörlü mühərrik yaratdı və onu avtokartda sınaqdan keçirdi.

Bo de Roşanın ideyasını 2-taktlı işçi proses üçün 1866-cı ildə alman texnikləri **Eugen Langen** (*Eugen Langen*) və **Nikolaus Avqust Otto** (*Nicolaus August Otto*) həyata keçirdi. Onlar I.Rivaz və E.Lenuar tərəfindən təklif edilən və qazla işləyən təkmilləşdirilmiş, 2 taktlı daxili yanma mühərriki yaratdılar.

1873-cü ildə amerikalı mühəndis **Corc Brayton** (*George Brayton*) kerosinlə işləyən 2 taktlı mühərrik layihə etdi.

1876-cı ildə isə N.Otto qarışığın qabaqcadan sıxılıb sabit həcmdə yandırılması ideyasına əsaslanan ilk 4-taktlı qaz mühərrikini yaratdı və 1878-ci ildə onu patentləşdirdi. O vaxtdan yüngül yanacaqlarla işləyən məcburi alışdırılmalı mühərriklərə Otto mühərrikləri də deyilir.

1876-cı ildə ingilis mühəndisi ser **Duqald Klerk** (*Dougald Clerk*) birinci olaraq işlək 2 taktlı daxili yanma mühərrikini yaratmağa müvəffəq oldu.

1878-ci ildə alman ixtiraçıları **Vitting** və **Hess** tərəfindən ixtira edilmiş 2 taktlı daxili yanma mühərriklərinin istehsalına başlandı.

1882-ci ildə ingilis mühəndis **Ceyms Atkinson** (*James Atkinson*) Otto tsiklindən fərqli tsikl üzrə işləyən, daha yüksək genişlənmə dərəcəsinə və f.i.ə-na malik mühərrik təklif etdi.

1883-cü ildə fransız mühəndis **Eduard Delamar-Debutvil** (*Edouard Delamere-Debouteville*) soba qazı ilə işləyən bir silindrlı 4 taktlı daxili yanma mühərrikini yaratdı.

XIX əsrin sonlarına yaxın neftin sənaye emalının inkişafı ilə əlaqədar benzin, kerosin və s. maye yanacaqlarla işləyən məcburi alışdırılmalı mühərriklər də meydana gəldi. İlk belə mühərrik 1879-cu ildə rus dəniz mühəndisi **I.Kostoviç** tərəfindən layihələndirildi. Kiçik kütləyə və xeyli gücə malik olan 8 silindrlı, benzinlə işləyən bu mühərrik 1885-ci ildə yaradıldı və müvəffəqiyyətlə sınaqdan keçirildi. Qeyd etmək lazımdır ki, bu mühərrik uçuş aparatları üçün nəzərdə tutulmuşdu.

Hələ 1890-ci ildə alman mühəndisi **Rudolf Dizel** (*Rudolph Diesel*) ilk dəfə yanacağın silindr daxilində sıxılmış hava ilə alışdırılması ideyasını irəli sürmüş və belə mühərrik üçün ilk patentin sahibi olmuşdu. O, bu mühərrik üçün ideal yanacaq kimi daş kömür tozunu təklif etmişdi. Lakin aparılan təcrübələr belə yanacaqdan istifadənin mümkün olduğunu göstərirdi.

Elə həmin 1890-cı ildə Kanada əsilli ingilis mühəndisi **Herbert Akroyd Styuart** (*Herbert Akroyd Stuart*) **Çarlz Riçard Banni** (*Charles Richard Binney*) ilə birlikdə dünyada ilk sıxma ilə alışdırılmalı daxili yanma mühərrikinə patent verilməsinə icazə aldılar. Onların təklif etdiyi mühərrikdə silindrə təmiz hava sorulur, sıxılır və sonra yanacağın püskürüldüyü həcmə vurulurdu. Belə mühərrikin işə salınması üçün sıxılmış havanın vurulduğu həcm əvvəlcə xaricdən lampa vasitəsilə qızdırılırdı. Mühərrik işə düşdükdən sonra isə xaricdən istiliyin verilməsi kəsilirdi.

H.Styuart yüksək sıxma dərəcəsi ilə işin üstünlüklərini nəzərdən keçirmirdi. Onun məqsədi o zaman mövcud olan daxili yanma mühərriklərindəki məcburi alışdırma sisteminin aradan çıxarılması imkanlarını araşdırmaq idi. Bu səbəbdən o, belə mühərrikin ən böyük üstünlüyü olan yüksək yanacaq qənaətliliyini nəzərdən qaçırdı.

1897-ci ildə R.Dizel öz ideyasını H.Styuartın etdiyi təklifi nəzərə almaqla həyata keçirdi. Bu mühərrikdə kerosin, solyar yağı və ya xam neft silindrə xüsusi kompressorda sıxılmış havanın köməyi ilə verilir. Belə mühərrik qənaətliliyi ilə seçilsə də, yanacağın püskürülməsi üçün iri ölçülü kompressorun vacibliyi onun tətbiqini (xüsusilə də, nəqliyyatda) ləngidirdi. Öz ixtiraçısının adı ilə *dizel* adlandırılan mühərriklərin konstruksiyasının təkmilləşdirilməsi və kompressorsuz dizellərin yaradılması üçün bir sıra ixtiraçılar çoxlu cəhdlər göstərməyə başladılar.

1899-cu ildə rus-alman ixtiraçısı və alimi **Qustav Trinkler** ilk kompressorsuz dizeli yaratdı və 1904-cü ildə bu mühərrik üçün patent aldı.

XX əsrin 20-ci illərində alman mühəndisi **Robert Bosch** (*Robert Bosch*) yanacağın mühərrikin silindrinə püskürülməsi üçün nəzərdə tutulan yüksək təzyiqli nasosun kompakt və təkmil modelini yaratdı. Bundan sonra dizel mühərrikləri sənaye və nəqliyyatın müxtəlif sahələrində geniş yayılmağa başladı.

Dünyada xam neftin emalının maye fraksiyaları ilə işləyən nəqliyyat mühərriklərinin ilk rəsmi ixtiraçıları isə 29 avqust 1885-ci ildə aldığı patentə əsasən motosikl üçün silindrləri şaquli yerləşən, benzinlə işləyən 4 taktlı karbürətorlu mühərriki yaratmış alman konstruktoru **Qotlib Daymler** (*Gottlieb Daimler*), 3 iyul 1886-cı ildə aldığı patentlə 3 təkərli sərnəşin ekipajı üçün qazla işləyən 2 silindrli, 4 taktlı mühərriki yaratmış alman **Karl Bents** (*Karl Benz*) və yuxarıda qeyd etdiyimiz **Rudolf Dizel** hesab olunurlar.

1889-cu ildə Q.Daymler təkmilləşdirilmiş V şəkilli, 2 silindrli, 4 taktlı mühərrik yaratdı, 1890-cı ildə isə alman **Vilhelm Maybax** (*Wilhelm Maybach*) ilk 4 silindrli, 4 taktlı mühərrik yaratdı.

Daxili yanma mühərriklərinin tətbiqindəki müvəffəqiyyətlər onların iş proseslərinin tədqiqi və nəzəriyyəsinin yaradılmasından sonra əldə edilmişdir. Bu mühərriklərin işçi proseslərinin nəzəri əsasları - onların istilik hesabının klassik üsulu isə 1906-cı ildə məşhur rus alimi **V.Qrinevetski** tərəfindən yaradılmışdır. Hesablama texnikası sahəsindəki nailiyyətlər isə işçi proseslərin riyazi modelləşdirilməsinə geniş imkanlar açdı və yeni mühərriklərin layihələndirilməsi, mövcud mühərriklərin modernləşdirilməsi işləri daha geniş vüsət aldı.

Daxili yanma mühərriklərinin tətbiq edildiyi sahələr

Çağdaş dövrümüzdə daxili yanma mühərrikləri Yer üzündə ən geniş yayılmış enerji istehsal edən qurğudur. Statistik məlumatlara görə illik dünya enerji istehsalının 60÷65 %-i bu mühərriklərin payına düşür. Proqnozlara görə daxili yanma mühərriklərinin dünya energetikadakı hegemonluğu XXI əsrdə də davam edəcəkdir.

Bu mühərriklərdən sənayenin müxtəlif sahələrində, nəqliyyatda, kənd təsərrüfatında, stasionar energetikada çox geniş miqyasda istifadə edilir. Bunun əsas səbəblərindən ən başlıcası daxili yanma mühərriklərinin qənaətliliyidir. Daxili yanma mühərriklərindən ən qənaətlisi isə dizellərdir. Bu mühərriklər gücün dəyişməsinin çox geniş diapazonunda yanacağın yanmasından alınan istilik enerjisini ən yüksək faydalı iş əmsalı ilə mexaniki işə çevirirlər.

Daxili yanma mühərrikləri yığcamdırlar, nisbətən kiçik kütləyə və istehsal xərclərinə malikdir. Onlar istənilən enerji istehlakçısı ilə birləşə bilirlər. Daxili yanma mühərrikli qurğular böyük müstəqillik dərəcəsinə (avtonomluğa) malikdirlər - götürülmüş yanacaq ehtiyatı ilə uzun müddət işləyə bilirlər. Bu mühərriklər adi şəraitdə asan işə düşür, soyuq hava şəraitində isə xüsusi qurğuların köməyi ilə işə salındıqdan sonra qısa müddət ərzində tam güc rejiminə keçə bilirlər. Qərarlaşmamış və keçid iş

rejimlərinə yaxşı uyğunlaşırlar. Nəqliyyat vasitələri üçün vacib olan kifayət qədər tormoz momentinə malikdirlər. Daxili yanma mühərrikləri, xüsusən də dizellər çoxyanacaqlıdırlar.

Lakin daxili yanma mühərriklərinin bir sıra mənfi cəhətləri də mövcuddur. Bunlardan aqreqat gücünün buxar və qaz turbinlərinə nisbətən az olmasını, xaric qazların zəhərliliyini, səsin yüksək səviyyəsini, işəsalma zamanı dirsəkli valın dövrlər sayının nisbətən yüksək olmasını, enerji istehlakçısı ilə bilavasitə birləşmənin mümkünsüzlüyünü və s. göstərmək olar.

Deyilənlərə baxmayaraq, müsbət cəhətləri üstünlük təşkil etdiyindən onların tətbiq miqyası çox genişdir.

Daxili yanma mühərrikləri müxtəlif tipli və təyinatlı avtomobil nəqliyyatı vasitələrinin əsas enerji mənbəyidir. Çağdaş avtomobillərdə istifadə olunan mühərrikləri gücü 1600 kVt-dan çoxdur.

Dəmir yol nəqliyyatında - teplovozlarda gücü 4500 kVt -a qədər olan dizellərdən istifadə olunur.

Çay nəqliyyatının bütün növləri dizellərlə təchiz olunur.

Dəniz nəqliyyatındakı o qədər də böyük olmayan gəmilərdə - teploxolarda və dizel-elektroxodlarda gücü 37,5 MVt -a çatan dizel mühərrikləri qoyulur. Bu dizellərin daha ucuz olan ağır yanacaqlarla işləməsi onların tətbiqini daha da genişləndirir.

Aviasiyada kiçik təlim, idman, gəzinti və nəqliyyat təyyarələrində gücü 4000 kVt -a qədər olan porşenli daxili yanma mühərriklərindən istifadə edilir.

Kənd təsərrüfatı texnikasında (traktorlarda, kombaynlarda və s.) gücü 400 kVt -a qədər olan dizellər qoyulur. Bu mühərriklərdən yol-inşaat maşınlarında (buldozərlərdə, ekskavatorlarda, skreperlərdə, qreydlərdə), stasionar qurğularda (kompresorlarda, qaynaq aparatlarında, su nasoslarında və s.) da istifadə olunur.

Stasionar energetikada daxili yanma mühərrikləri gücü bir neçə kVt olan kiçik elektrik stansiyalarından tutmuş iri qəza enerji qurğularına qədər böyük elektrik stansiyalarında, o cümlədən modul tipli elektrik stansiyalarında istifadə olunur.

Daxili yanma mühərriklərinin təsnifatı

Daxili yanma mühərrikləri müxtəlif əlamətlərə görə təsnif olunurlar.

1. Təyinatına görə:

a) stasionar mühərriklər (elektrik stansiyaları, neft və qaz vuran qurğuların, nasos qurğularının mühərrikləri);

b) nəqliyyat mühərrikləri (avtomobil, traktor, aviasiya, gəmi, lokomotiv, kənd təsərrüfatı maşınları mühərrikləri).

2. İstifadə olunan yanacağın növünə görə:

a) maye yanacaq ilə işləyən mühərriklər (benzin, liqroin, kerosin, dizel yanacağı, qazoyl, solyar yağı və mazutla işləyən mühərriklər);

b) qaz yanacağı ilə işləyən mühərriklər (təbii, sıxılmış, mayeləşdirilmiş, generator və sənaye qazları ilə işləyən mühərriklər);

c) qarışıq (qaz-maye) yanacaq ilə işləyən mühərriklər (əsas yanacaq kimi qaz istifadə olunur, yalnız işəsalma zamanı maye yanacaq tətbiq edilir).

3. Yanıcı qarışığın hazırlanma üsuluna görə:

a) xarici qarışdırılmalı (karbüratorlu, yanacağı sorma borusuna püskürülən - injektorlu) mühərriklər;

b) daxili qarışdırılmalı (dizel, yanacağı birbaşa silindrə püskürülən və qığılcımla alışdırılan) mühərriklər.

4. İş tsiklinin icra olunmasına görə:

a) iş tsikli dörd taktda (porşenin gedişi ilə) və ya dirsəkli valın iki tam dövründə baş verən 4-taktlı mühərriklər;

b) iş tsikli iki taktda (porşenin gedişi ilə) və ya dirsəkli valın bir tam dövründə baş verən 2-taktlı mühərriklər.

5. İşçi qarışığın alışdırılmasına görə:

a) qığılcımla alışdırılmalı (karbüratorlu, injektorlu və qaz) mühərrikləri;

b) sıxma ilə özü-özünə alışdırılmalı mühərriklər (dizellər);

c) forkamer-məşəllə alısdırmalı mühərriklər (qarışıq kiçik həcmli xüsusi kamerdə - forkamerdə və ya turbulizatorla alısdırılır, sonrakı yanma prosesi isə əsas kamerdə yanıcı qarışığın forkamer məşəli ilə alısdırılmasından sonra baş verir).

6. Sorma (doldurma) prosesinin icrasına görə:

a) üstəlik üfürməsiz mühərriklər;

b) üstəlik üfürməli mühərriklər.

7. Silindrlərin yerləşməsinə görə (şəkil 1.6):

a) sırayı şaquli mühərriklər (şək.1.6a);

b) sırayı maili mühərriklər (şək.1.6b);

c) sırayı üfüqi mühərriklər (şək.1.6c);

d) iki sıralı - V-şəkilli mühərriklər (sıralar arasındakı bucaqlar 15° - (bunlara VR-şəkilli də deyilir), 60° , 65° , 75° , 90° , 180° (bunlara oppozit mühərriklər də deyilir) və s. olmaqla) (şək.1.4d,e,f);

e) üç sıralı - W-şəkilli mühərriklər (şüa şəkilli mühərriklər – şüalar arasındakı bucaqlar 60°) (şək.1.6g);

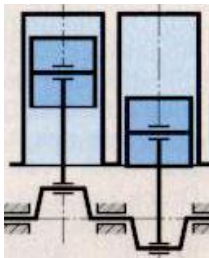
f) dörd sıralı - W-şəkilli mühərriklər (sıralar arasındakı bucaqlar 15° , 72° və 15°) (şək.1.6h).

g) Π – şəkilli mühərriklər (şək.1.6i);

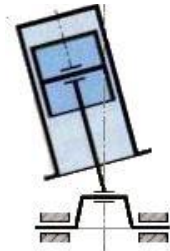
h) X – şəkilli mühərriklər (şək.1.6j);

i) Y – şəkilli mühərriklər (şək.1.6k);

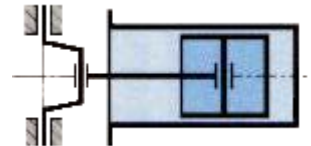
j) ulduz şəkilli mühərriklər (şək.1.6l).



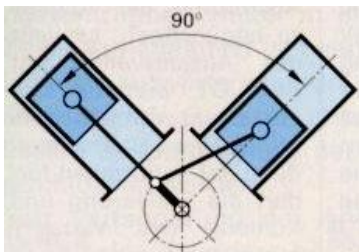
a) sırayı şaquli



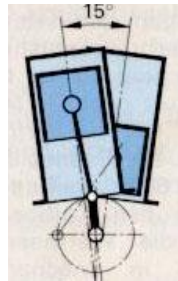
b) sırayı maili



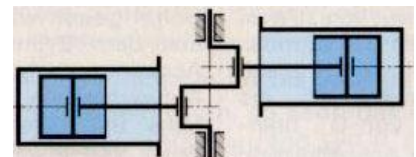
c) sırayı üfüqi



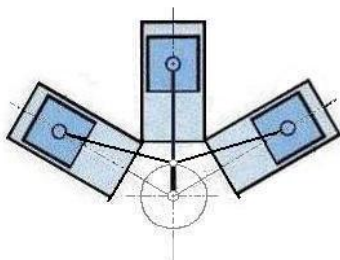
d) V-şəkilli



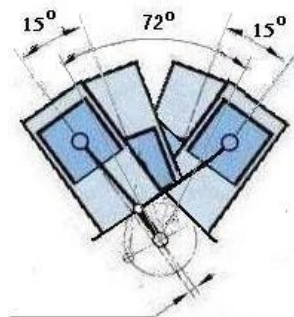
e) VR-şəkilli



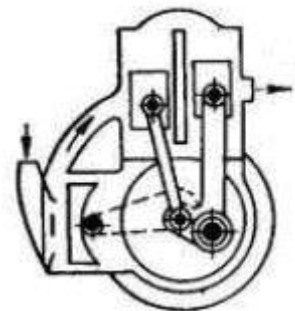
f) oppozit



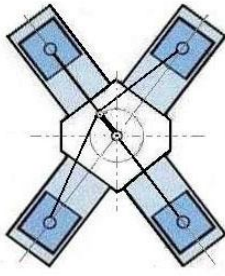
g) W-şəkilli, üç cərgəli



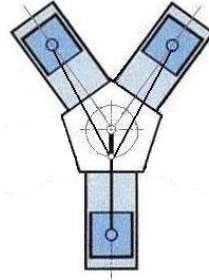
h) W-şəkilli, dörd cərgəli



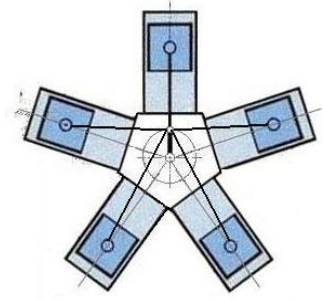
i) Π -şəkilli



j) X-şəkilli



k) Y-şəkilli



l) ulduz şəkilli

Şəkil 1.6. Silindrlərin yerləşməsinə görə mühərriklərin təsnifatı

8. Silindrlərin sayına görə:

1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 16, 24, 36, 48 və s. silindrli mühərriklər.

9. Qazpaylayıcı valın yerləşməsinə görə:

a) qazpaylayıcı valı blok-karterdə yerləşən mühərriklər;

b) qazpaylayıcı valı silindrlər başlığında yerləşən mühərriklər.

10. Qazpaylayıcı valın sayına görə:

1, 2, 4 qazpaylayıcı valı olan mühərriklər.

11. Silindrdəki klapanların sayına görə:

2, 3, 4, 5, 6 klapanlı mühərriklər.

12. Soyutma üsuluna görə:

a) maye ilə soyudulan mühərriklər;

b) hava ilə soyudulan mühərriklər.

13. Konstruksiyasına görə:

a) porşenli mühərriklər;

b) rotolu-porşenli mühərriklər;

c) qaz turbinli mühərriklər;

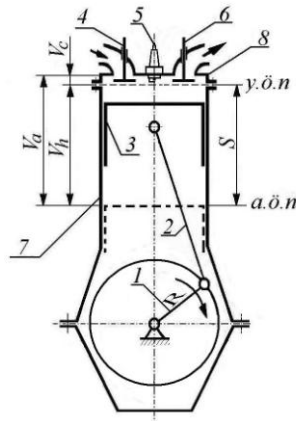
d) reaktiv mühərriklər.

Daxili yanma mühərrikləri göstərilənlərdən başqa əlamətlər üzrə də təsnif oluna bilərlər.

DAXİLİ YANMA MÜHƏRRİKİNİN ÜMUMİ QURULUŞU VƏ ƏSAS PARAMETRLƏRİ, İŞ PRİNSİPİ VƏ ƏSAS PARAMETRLƏRİ HAQQINDA ANLAYIŞLAR

Porşenli daxili yanma mühərriki müxtəlif funksiyaları yerinə yetirən iki mexanizmdən və dörd əsas sistemdən ibarətdir. Bunlar dirsək-şatun və qazpaylama mexanizmləri, habelə qidalanma, yağlama, soyutma, işəsalma və ya alıxdırma (məcburi alıxdırma mühərriklərdə) sistemləridir.

Porşenli daxili yanma mühərrikinin quruluşunu və iş prinsipini 4-taktlı məcburi alıxdırma mühərrikinin sxemi üzərində aydınlaşdıraraq (şək.2.1).



Şək. 2.1. 4 taktlı məcburi alıxdırma mühərrikinin sxemi:

- 1 - dirsəkli val; 2 - şatun; 3 - porşen; 4 - sorma klapanı; 5 – alıxdırma şamı;
6 - xaric klapanı; 7 - silindr; 8 - silindrlər başlığı; y.ö.n – yuxarı ölü nöqtə;
a.ö.n – aşağı ölü nöqtə; S – porşenin gedişi; R – dirsəyin radiusu

Bu mühərrikdə enerjinin çevrilməsi silindr (7), silindrlər başlığı (8) və porşenin (3) yaratdığı qapalı həcmdə baş verir. Porşen $a.ö.n$ -yə doğru hərəkət edərkən silindrdən kənarda hazırlanmış yanacaq-hava qarışığı açılmış sorma klapanından (4) içəri daxil olur. Müəyyən vaxtdan sonra porşen əks istiqamətdə $y.ö.n$ -yə tərəf hərəkət edir və sorma klapanı bağlı olduğu üçün silindrdəki yanacaq-hava qarışığını sıxmağa başlayır. Silindrin daxilində qarışığın təzyiq və temperaturu yüksəlir. Porşen özünün ən yuxarı vəziyyətinə ($y.ö.n$ -yə) çatmağa az qalmış alıxdırma şamından (5) verən qığılcım yanacaq-hava qarışığını alıxdırır və yanma başlayır. Silindrdəki qazların təzyiqi sürətlə artır və porşeni geriyə, $a.ö.n$ -yə doğru itələyir. Şatun (2) porşenin silindr daxilindəki düzxətli irəliləmə hərəkətini dirsəkli vala (1) ötürərək onu öz oxu ətrafında fırlanmağa məcbur edir. Xaric klapanı (6) açıldıqda porşenin növbəti $y.ö.n$ -yə doğru hərəkəti ilə işlənmiş qazlar silindrdən çıxarılır. Beləliklə, silindrə doldurulmuş yanacağın yandırılmasından alınan istilik enerjisi mexaniki enerjiyə, porşenin düzxətli irəliləmə hərəkəti isə dirsəkli valın fırlanma hərəkətinə çevrilir ki, bu da ötürmə üçün ən əlverişli hərəkət növüdür.

Silindrdə yanma prosesi periodik olaraq baş verir. Hər bir yanacaq dozasının yandırılmasından qabaq qaz mübadiləsi prosesləri baş verir ki, bu zaman silindrə təzə yanacaq-hava qarışığı doldurulur, işlənmiş qazlar (və ya yanma məhsulları) isə silindrdən qovulur.

Dirsəkli valın fırlanmasının bir dövrü ərzində porşen iki dəfə dayanır və öz hərəkət istiqamətini dəyişir.

Porşenli daxili yanma mühərrikinin işi aşağıda göstərilən anlayışlarla xarakterizə olunur.

Porşenin dirsəkli valın oxundan ən uzaq olduğu vəziyyət *yuxarı ölü nöqtə* - $y.ö.n$ adlanır.

Porşenin dirsəkli valın oxuna ən yaxın olduğu vəziyyət *aşağı ölü nöqtə* - $a.ö.n$ adlanır.

Dirsəkli valın əsas boynunun oxu ilə şatun boynunun oxu arasındakı məsafəyə *dirsəyin radiusu* deyilir və R -lə işarə olunur.

Porşenin $y.ö.n$ -dən $a.ö.n$ -yə qədər (və ya əksinə) getdiyi yol *porşenin tam gedişi* adlanır və S -lə işarə olunur. Porşenin gedişi dirsəyin radiusunun iki mislinə bərabərdir ($S=2R$).

Porşen $y.ö.n$ -dən $a.ö.n$ -yə doğru hərəkət etdikcə silindrin həcmi minimumdan maksimuma qədər dəyişir.

Porşen $y.ö.n$ -də olarkən silindrin porşen dibi ilə silindrlər başlığı arasında qalan həcmə *yanma kamerinin həcmi* deyilir və V_c ilə işarə edilir.

Silindrin $y.ö.n$ ilə $a.ö.n$ arasında qalan həcmə *silindrin işçi həcmi* deyilir və V_h ilə işarə edilir. Silindrin işçi həcmi:

$$V_h = \pi D^2 S / 4, \quad l$$

burada D - silindrin diametridir.

Porşen $a.ö.n$ -də olduqda silindrin porşenin dib hissəsindən yuxarıda qalan həcmə *silindrin tam həcmi* deyilir və V_a ilə işarə edilir. Silindrin tam həcmi yanma kamerinin həcmi ilə silindrin işçi həcmi cəminə bərabərdir:

$$V_a = V_c + V_h, \quad l.$$

Mühərrikin bütün silindrlərinin işçi həcmələrinin cəminə mühərrikin *litraşı* deyilir və V_l ilə işarə edilir:

$$V_l = i V_h, \quad l.$$

burada i - mühərrikin silindrlərinin sayıdır.

Silindrin tam həcmi yanma kamerinin həcmi olan nisbətə *sıxma dərəcəsi* deyilir və ε ilə işarə edilir:

$$\varepsilon = V_a / V_c = (V_h + V_c) / V_c = 1 + V_h / V_c.$$

Düsturdan göründüyü kimi sıxma dərəcəsi porşen $a.ö.n$ -dən $y.ö.n$ -yə çatdıqda silindrdəki qarışıqın neçə dəfə sıxıldığını göstərir. Çağdaş məcburi alışırmalı mühərriklərdə sıxma dərəcəsi $\varepsilon=6,5 \div 12,5$, dizellərdə isə $\varepsilon=14 \div 25$ hədlərində olur. Nəzəri olaraq sıxma dərəcəsinin artması mühərrikin gücünün, faydalı iş əmsalının artmasına səbəb olmalıdır. Lakin təcrübə göstərir ki, sıxma dərəcəsinin müəyyən qiymətindən sonra effektiv faydalı iş əmsalının artımı dayanır. Effektiv faydalı iş əmsalının maksimal qiymətinə uyğun gələn sıxma dərəcəsinə onun *optimal qiyməti* (ε_{op}) deyilir. Müəyyən edilmişdir ki, bütün porşenli mühərriklər üçün sıxma dərəcəsinin optimal qiyməti $\varepsilon_{op}=11 \div 13$ hədlərindədir.

Lakin mühərriklərdə sıxma dərəcəsinin optimal qiymətini götürmək hələlik mümkün olmur. Məcburi alışırmalı mühərriklərdə sıxma dərəcəsinin optimal qiymətəcn yüksəltməyə detonasiyalı yanma təhlükəsi imkan vermir. Dizellərdə isə sıxma dərəcəsinin optimal qiymətəcn aşağı salmağa yanacağın etibarlı özülüşməsinin təmin edilməməsi əngəl yaradır. Hal-hazırda birincilərdə sıxma dərəcəsinin artırmaq, ikincilərdə isə azaltmaq üsulları axtarılır.

Doldurma əmsalı silindrin təzə qarışıqla doldurulma dərəcəsinin xarakterizə edən parametrdir və η_v ilə işarə edilir.

Silindrə doldurulmuş təzə qarışıqın həqiqi miqdarının ətraf mühit şəraitində silindrin tuta biləcəyi qarışıq miqdarına olan nisbətə **doldurma əmsalı** deyilir.

Porşenin gedişi S və silindrin diametri D mühərrikin *əsas konstrktiv ölçüləri* adlanırlar.

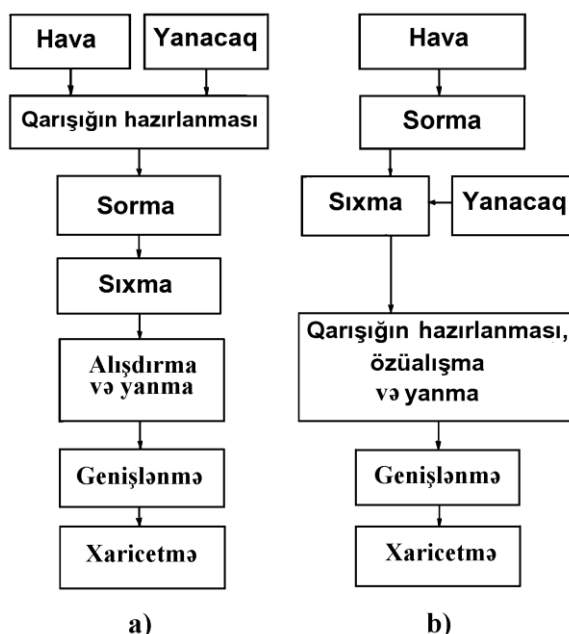
Porşenli daxili yanma mühərriklərinin iş siklləri

Porşenli daxili yanma mühərriklərində istilik enerjisi bir sıra ardıcıl baş verən fiziki-kimyəvi və termodinamiki proseslərin köməyi ilə mexaniki enerjiyə çevrilir. Bu proseslərin məcmusu periodik, dönməyən və açıq sikl təşkil edir. Belə siklə mühərrikin *iş sikli* deyilir. Porşenli daxili yanma

mühərriklərinin iş sikli aşağıdakı proseslərin ardıcılığından ibarətdir: təzə qarışıqın sorulması (və ya doldurulması), sıxma, genişlənmə (və ya işçi gediş) və xaricətmə. İş siklinin porşenin bir gedişi və ya dirsəkli valın 180° dönməsi ərzində baş verən hissəsi *takt* adlanır.

İş sikli dörd və ya iki takt ərzində həyata keçirilə bilər. Birinci halda sikl 4-taktlı, ikinci halda isə 2-taktlı sikl adlanır.

İstənilən daxili yanma mühərrikinin iş sikli şək.2.2-də verilmiş iki sxemdən biri üzrə həyata keçirilə bilər.



Şək.2.2. Mühərriklərin iş sikllərinin sxemləri

Şək. 2.2a-da göstərilmiş sxemə görə iş sikli aşağıdakı ardıcılıqla baş verir. Yanacaq və hava silindrdən kənarda qarışdırılaraq yanıcı qarışıq əmələ gətirir. Alınmış yanıcı qarışıq silindrə sorulduqdan sonra sıxılır. Həm sorma, həm də sıxma zamanı yanacağın hava ilə qarışması və yanıcı qarışıqın qızması davam edir. Sıxma nəticəsində silindrdə yanacağın yanması üçün lazımi şərait yaranır.

Silindrdəki yanıcı qarışıq elektrik şamından verilən qığılcımının köməyiylə alışdırılır. Qarışıqın sürətlə yanması nəticəsində silindrdəki təzyiq və temperaturun kəskin artımı porşenə təsir göstərir və onu silindr daxilində düzxətli yerdəyişməyə məcbur edir. Genişlənmə prosesi ərzində yüksək temperatura qədər qızmış qazlar faydalı iş görürlər. Bu, silindrdəki təzyiq və temperaturun azalması ilə müşayiət olunur. Genişlənmə prosesindən sonra silindrin yanma məhsullarından təmizlənməsi (xaric) prosesi baş verir və iş sikli təkrar olunur.

Baxılan sxemdə yanacaq-hava qarışıqının hazırlanması prosesi əsasən silindrdən kənarda baş verir. Ona görə belə sxem üzrə işləyən mühərriklərə *xarici qarışdırılmalı mühərriklər* deyilir. Qaz mühərrikləri, karbürətorlu və yanacağı sorma borusuna püskürülən (injektorlu) mühərriklər xarici qarışdırılmalı mühərriklərdir. Belə mühərriklərdə adi şəraitdə asan buxarlanan və hava ilə yaxşı qarışa bilən yanacaqlardan istifadə olunur. Bu mühərriklərdə yanıcı qarışıqın sıxılması elə həddə qədər olmalıdır ki, vaxtından qabaq alışma və detonasiya hadisələri baş verməsin.

İş sikli şək.2.2b-də göstərilmiş sxem üzrə həyata keçirilirsə, onda yanıcı qarışıqın hazırlanması prosesi ancaq silindrin daxilində baş verir. Bu halda silindr yanıcı qarışıqla deyil, təmiz hava ilə doldurulur, sonra isə sıxılır. Sıxma prosesinin sonunda forsunka vasitəsilə silindrə yüksək təzyiq altında yanacaq püskürülür. Püskürmə zamanı yanacaq kiçik zərrəciklər şəklində tozlanır və hava ilə qarışır. Yanacaq zərrəcikləri qızgın hava ilə təmasdan buxarlanaraq yanacaq-hava qarışığı yaradır. Belə sxemlə işləyən mühərriklərdə yanıcı qarışıqın alışması sıxılmış havanın yanacağın özüləşmə temperaturuna qədər qızması nəticəsində baş verir. Vaxtından qabaq özüləşmənin baş verməməsi üçün yanacağın püskürülməsinə sıxma taktının sonunda başlanılır. Özüləşmə anında yanacağın

püskürülməsi hələ davam edir. Yanacağın püskürülməsindən sonra əmələ gələn qarışıq yekcins olmadığından onun tam yanması üçün izafi hava tələb olunur. Yəni silindrdəki qarışıq yanacaq cəhətdən kasıb olmalıdır. Belə mühərrikdə yüksək sıxma dərəcəsi olduğundan onun faydalı iş əmsalı da yüksək alınır.

Yanacağın yanmasından sonra genişlənmə və silindrin yanma məhsullarından təmizlənməsi (xaric) prosesləri baş verir.

Şək.2.2b-də göstərilən sxem üzrə işləyən mühərriklərdə yanıcı qarışın hazırlanması bütövlükdə silindrin daxilində baş verdiyindən belə mühərriklərə *daxili qarışdırılmalı mühərriklər* deyilir.

Daxili qarışdırılmalı mühərriklərdə yanacaq kimi maye və qaz yanacaqlarının bütün növlərindən istifadə oluna bilər. Bu mühərriklərin əksəriyyəti maye yanacaqlarla işləyir. Onlarda yanacağın alışıması yüksək sıxılma nəticəsində baş verdiyindən belə mühərriklərə *sıxma ilə alışdırılmalı mühərriklər* və ya *dizellər* də deyilir (belə mühərrikin yaradıcısı R.Dizelin adı ilə).

Yüngül yanacağı birbaşa silindrə püskürülən və məcburi alışdırılmalı (elektrik qığılcımı və ya forkamer məşəli vasitəsilə) mühərriklərdə də yanıcı qarışıq silindrin daxilində hazırlandığından onlar da daxili qarışdırılmalı mühərriklərə aiddirlər.

Yanıcı qarışığın bir hissəsi xarici, digər hissəsi isə daxili qarışdırılmalı olan mühərriklər də var (ikimərhələli qarışdırılmalı mühərriklər). Belə mühərriklərdə siklik yanacaq dozasının bir hissəsi (25 %-ə qədər) sorma borusuna (xarici qarışdırma), qalan hissəsi isə birbaşa silindrə (daxili qarışdırma) püskürülür. Yanıcı qarışığın bu cür hazırlanması silindrdəki qazların maksimal təzyiqini və yanma zamanı səs-küyün səviyyəsini aşağı salmağa, daha zəngin yanıcı qarışığın yandırılmasına imkan verir.

4-taklı məcburi alışdırılmalı mühərrikin iş sikli

İş siklləri nəzərdən keçirilərkən onların başlanğıcının *y.ö.n* ilə üst-üstə düşməsi, hər bir taktın isə ölü nöqtələrdən birində başlanıb sona çatması şərti olaraq qəbul edilir.

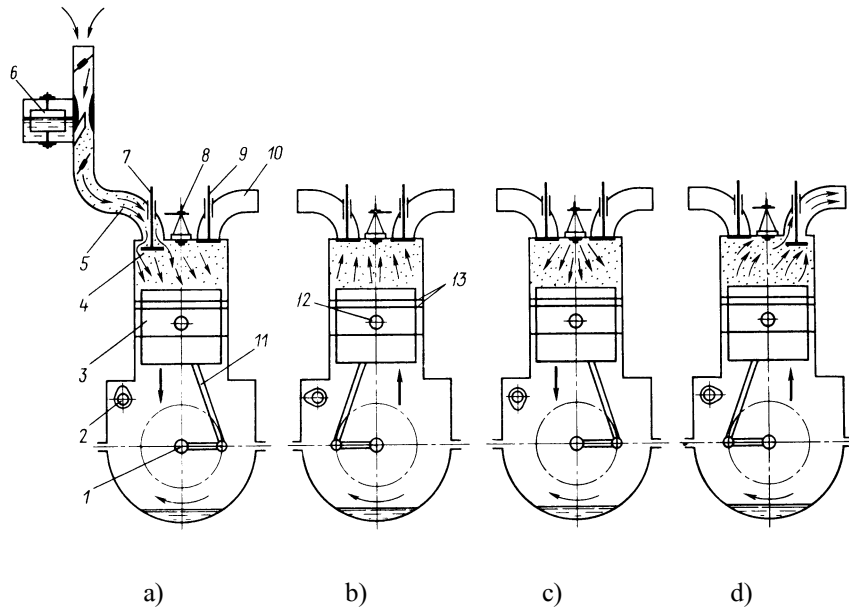
Nəzərdən keçirdiyimiz mühərrikdə (şək.2.3) silindr silindrlər başlığı ilə qapanır. Sorma və xaric klapanları silindrlər başlığında yerləşdirilir. Onlar yayların köməyi ilə bağlı vəziyyətdə saxlanırlar. Lazımı anda klapanlar qazpayılma mexanizminin köməyi ilə açılırlar.

Qazpayılma mexanizmi adətən paylayıcı valın üzərindəki yumruqların təsiri altında olan çiyinliklər, millər və itələyicilərdən ibarət olur. Paylayıcı val hərəkəti dirsəkli valdan alır və ondan iki dəfə az tezliklə fırlanır. Çünki hər bir klapan dirsəkli valın iki tam dövrü ərzində bir dəfə açılmalıdır.

İş sikli aşağıdakı ardıcılıqla baş verir.

Birinci takt - sorma (şək. 2.3a). Dirsəkli val (1) fırlanıqda porşen (3) *y.ö.n*-dən *a.ö.n*-yə doğru hərəkət edir, sorma klapanı (7) açılır, xaric klapanı (9) isə bağlıdır. Açıq sorma klapanı (4) silindri sorma traktı (sistemi) ilə birləşdirir. Sorma borusu (5) və sorma klapanının (7) hidravliki müqaviməti, habelə porşenin (3) yerdəyişməsilə həcmənin böyüməsi nəticəsində silindrdəki (4) təzyiq azalaraq atmosfer təzyiqindən aşağı düşür. Yaranan təzyiq düşküünün təsiri ilə hava silindrə dolmağa başlayır. Sorma borusu ilə hərəkət edən hava injektordan püskürülmüş yanacaq zərrəcikləri ilə qarışaraq *yanıcı qarışıq* əmələ gətirir. Silindrə dolan yanıcı qarışıq orada əvvəlki sikldən qalmış, az miqdarda olan yanma məhsulları (bunlara *qalıq qazlar* deyilir) ilə qarışaraq *işçi qarışıq* əmələ gətirir. Porşen *a.ö.n*-yə çatdıqda silindrdəki təzyiq atmosfer təzyiqindən 0,01÷0,02 MPa az olur. Qarışığın temperaturu isə mühərrikin qızmış hissələri ilə təmas nəticəsində 350÷390 K-ə qədər qalxır.

İkinci takt - sıxma (şək. 2.3b). Porşen *y.ö.n*-yə doğru hərəkət etdikdə sorma klapanı (7) bağlanır və silindrdəki işçi qarışıq sıxılır. Bu zaman təzyiq və temperatur artır və porşen *y.ö.n*-yə yaxınlaşdıqda silindrdəki təzyiq 2,5 MPa -a, tempe-ratur isə 800 K-ə qədər yüksəlir.



Şəkil 2.3 taktlı, qığılıcımalla alışdırılmalı mühərrikin iş siklinin sxemi:

Silindrdə yandırılan yanacağın verdiyi istilikdən səmərəli istifadə edilməsi naminə yanmanın porşen $y.ö.n$ -dən mümkün qədər az keçmiş vəziyyətdə olarkən başa çatması tələb olunur. Bu məqsədlə karbüratolu mühərriklərdə qarışığın elektrik qığılıcımı vasitəsilə məcburi alışdırılması porşen $y.ö.n$ -yə çatmamış həyata keçirilir.

Elektrik şamından qığılıcımın verildiyi an *alışdırmanın tezləşdirmə bucağı* adlanan parametrlə xarakterizə edilir və θ ilə işarə edilir. θ dirsəkli valın qığılıcım verilən andan porşenin $y.ö.n$ vəziyyətinə qədər dönmə bucağı ilə müəyyən edilir. Mühərrikin ən yaxşı güc və qənaət göstəricilərinin alındığı bucaq optimal hesab edilir. Mühərrikin işi zamanı sürət rejimindən asılı olaraq yanmaya ayrılan vaxt dəyişdiyindən alışdırmanın tezləşdirmə bucağının optimal qiyməti də dəyişir: dirsəkli valın fırlanma sürəti azaldıqca θ -nın optimal qiyməti kiçilir, əksinə, yüksəldikcə - artır.

Üçüncü takt - genişlənmə və ya işçi gediş (şək.2.3c). Bu taktın əvvəlində yanacağın yanması nəticəsində xeyli miqdarda istilik ayrılır və nəticədə silindrdə yaranmış qazların təzyiq və temperaturu kəskin olaraq artır. Qazların təzyiqi porşeni $a.ö.n$ -yə doğru hərəkət etməyə məcbur edir, qazlar isə genişlənərək faydalı iş görürlər. Genişlənmənin əvvəlində silindrdəki təzyiq $4\div 7,5 \text{ MPa}$, temperatur isə $2400\div 3100 \text{ K}$ hədlərində olur. Porşen $a.ö.n$ -yə yaxınlaşdıqca silindrin cari həcmi böyüdüyündən buradakı təzyiq və temperatur azalır. Porşen $a.ö.n$ -yə çatarkən silindrdəki təzyiq $0,35\div 0,6 \text{ MPa}$, temperatur isə $1200\div 1700 \text{ K}$ hədlərində azalır.

Dördüncü takt – xaricetmə (şək. 2.3d). Porşen $a.ö.n$ -dən $y.ö.n$ -yə doğru hərəkət edir. Silindrdəki işlənmiş qazlar açılmış xaric klapanından (9) xaric borusuna (10), oradan isə atmosfərə qovulur. Xaricetmə taktı ərzində silindrin işlənmiş qazlardan tamamilə təmizlənməsi mümkün olmur. Belə ki, silindrdə yanma kamerinin həcmi qədər işlənmiş qazlar qalır. Bu səbəbdən xaric taktının sonunda silindrdəki təzyiq $0,105\div 0,12 \text{ MPa}$, temperatur isə $700\div 900 \text{ K}$ hədlərində olur.

Xaricetmə taktı ilə iş sikli başa çatmış olur. Porşenin sonrakı hərəkəti ilə sikl eyni ardıcılıqla təkrar olunur. Dirsəkli val dörd takt ərzində 720° dönr, yəni iki tam dövr edir.

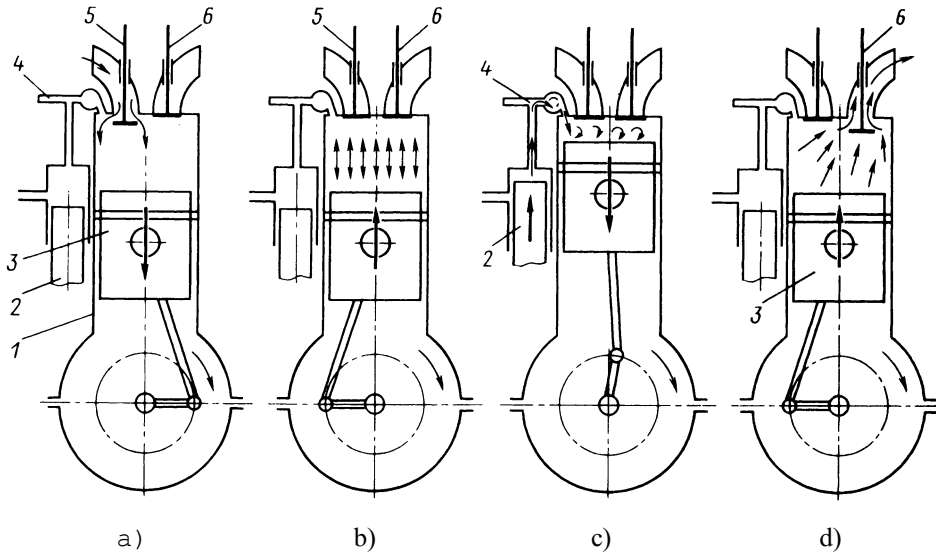
Taktların gedişindən göründüyü kimi yalnız genişlənmə taktı ərzində faydalı iş görülür, qalan taktlar isə köməkçi rolunu oynayır. Bu taktlar ərzində porşen fırlanan dirsəkli valla nazimçarxın enerjisi hesabına, çoxsilindrli mühərriklərdə isə həm də digər silindrlərdə baş verən genişlənmə taktlarının sayəsində hərəkət edir.

4-taktlı dizelin iş sikli

4-taktlı dizeldə taktların baş vermə ardıcılığı 4-taktlı karbüratolu mühərrikdəki kimidir. Lakin dizelin iş tsikli ərzində sorma taktı zamanı silindrə karbüratolu mühərrikdən fərqli olaraq təmiz hava

sorulur. Yanacaq isə tozlandırılmış halda birbaşa silindrə sıxma taktının sonunda püskürülür. Yanacaq zərrəcikləri silindrəki qızmış hava mühitinə düşdükdə çox tez buxarlanır, hava ilə qarışır və yüksək sıxma dərəcəsinin təsiri ilə özü-özünə alışır.

Birinci takt - sorma (şək. 2.4a). Porşen (3) *y.ö.n*-dən *a.ö.n*-ə doğru hərəkət etdikdə silindrəki təzyiq havatəmizləyicinin və sorma borusunun hidravliki müqaviməti nəticəsində azalır və təmizlənmiş hava sorma klapanından (5) keçərək silindrə daxil olur. Daxil olmuş hava silindrə əvvəlki tsikldən qalmış qalıq qazlarla qarışır və qızır. Lakin havanın qızması karbürətorlu mühərrikdə təzə qarışığın qızmasından az olur. Çünki, dizelin sıxma dərəcəsi yüksək olduğundan onun yanma kamerinin həcmi kiçik olur və burada qalmış qalıq qazların miqdarı da az olur. Sorma taktının sonunda silindrəki havanın təzyiqi $0,08 \div 0,09 \text{ MPa}$, temperaturu isə $320 \div 350 \text{ K}$ hədlərində olur.



Şəkil 2.4 taktlı dizel mühərrikinin iş siklinin sxemi:

İkinci takt - sıxma (şək. 2.4b). Porşen *a.ö.n*-dən *y.ö.n*-yə doğru hərəkət edir. Bu zaman sorma (5) və xaric (6) klapanları bağlı olduğundan silindrəki havanın təzyiq və temperaturu artır. Porşen *y.ö.n*-yə çatdıqda silindrəki təzyiq $4,0 \div 5,5 \text{ MPa}$, temperatur isə $750 \div 1000 \text{ K}$ -ə çatır. Sıxma taktının sonunda yüksək təzyiqli yanacaq nasosu (2) və forsunkanın (4) köməyi ilə silindrə yüksək təzyiq altında yanacaq püskürülür. Yanacağın başlanğıc püskürülmə təzyiqi $13,0 \div 18,5 \text{ MPa}$ -a çatır. Belə təzyiq altında püskürülən yanacaq xırda zərrəciklər şəklində tozlanır. Yanacaq zərrəcikləri silindrəki qızmış hava mühitinə düşərək buxarlanır. Yanacaq buxarları hava ilə qarışır və öz-özünə alışır.

Üçüncü takt - genişlənmə və ya işçi takt (şək. 2.4c). Özəalışmadan sonra silindrə püskürülmüş yanacaq yanır, silindrəki təzyiq və temperatur kəskin artmağa başlayır. Genişlənmə taktının əvvəlində silindrəki təzyiq $6,0 \div 12,0 \text{ MPa}$ -a, temperatur isə $2100 \div 2300 \text{ K}$ -ə qədər yüksəlir. Yüksək təzyiqin təsiri altında porşen *y.ö.n*-dən *a.ö.n*-yə doğru hərəkət edərək faydalı iş görür. Bu zaman silindrin cari həcmi böyüdüyündən oradakı qazların təzyiq və temperaturu aşağı düşür. Porşen *a.y.n*-yə yaxınlaşdıqda silindrəki təzyiq $0,2 \div 0,5 \text{ MPa}$ -a, təzyiq isə $800 \div 1200 \text{ K}$ -ə qədər azalır.

Dördüncü takt - xaricetmə (şək. 2.4d). Porşen *a.ö.n*-dən *y.ö.n*-yə doğru hərəkət etdikcə silindrəki işlənmiş qazlar porşenin təsiri ilə açıq xaric klapanından xaricetmə borusunun köməyi ilə atmosfərə qovulmağa başlayır. Xaricetmə taktının sonunda silindrəki qazların təzyiqi $0,11 \div 0,12 \text{ MPa}$ -a, temperaturu isə $800 \div 900 \text{ K}$ -ə qədər düşür.

Bununla dizelin bir iş tsikli başa çatır.

2-taktlı, məcburi alışdırılmalı mühərrikin iş sikli

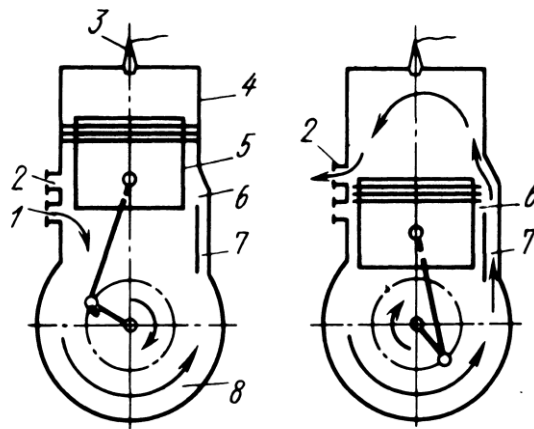
4-taktlı siklləri nəzərdən keçirdikdə məlum olur ki, 4-taktlı mühərriklər iş siklinin yerinə yetirilməsinə ayrılan vaxtın tən yarısını istilik mühərriki kimi işləyir (sıxma və genişlənmə taktları). Qalan vaxt ərzində isə mühərrik nasos kimi işləyir (sorma və xaricetmə taktları).

2-taktlı mühərriklərdə isə iş siklinin yerinə yetirilməsi üçün ayrılan vaxtdan daha dolğun istifadə olunur. Belə ki, iş sikli porşenin cəmi 2 gedişi (və ya dirsəkli valın bir tam dövrü) ərzində baş verir. 4-taktlı mühərriklərdən fərqli olaraq 2-taktlı mühərriklərdə silindrin işlənmiş qazlardan təmizlənməsi və onun təzə qarışıqla doldurulması prosesləri porşenin *a.ö.n* yaxınlığındakı hərəkəti zamanı baş verir. Yəni qaz mübadiləsi üçün porşenin ayrıca gedişi (və ya ayrıca takt) tələb olunmur. Silindrdəki işlənmiş qazlar da porşen tərəfindən deyil, öz izafi təzyiqi ilə və bu məqsədlə əvvəlcədən müəyyən təzyiqə qədər sıxılmış yanıcı qarışıq və ya havanın köməyi ilə xaric edilir. Yanıcı qarışığın və ya havanın əvvəlcədən sıxılması üçün üfurmə nasoslarından istifadə olunur. Bəzi hallarda isə üfurmə aqreqatı rolunu karter-daxili həcm (və ya dirsək kameri) və mühərrikin porşeni oynayır. Belə mühərriklər *dirsək-kamer üfurməli* mühərriklər adlanırlar.

Şək. 2.5-də 2-taktlı dirsək-kamer üfurməli karbüratorlu mühərrikin iş siklinin sxemi göstərilmişdir. Bu tip mühərriklərdə siklə başlamazdan əvvəl porşenin iki hazırlıq gedişi tələb olunur. Birinci gediş zamanı porşen (5) *a.ö.n*-dən *y.ö.n*-yə doğru hərəkət edir və sorma pəncərəsini (1) açır. Porşenin yuxarıya doğru hərəkəti zamanı dirsək kamerində (8) təzyiq aşağı düşdüündən orada seyrəklik yaranır və sorma pəncərəsindən yanıcı qarışıq dirsək kamerinə sorulur. Porşenin ikinci gedişi zamanı *y.ö.n*-dən *a.ö.n*-yə doğru hərəkət edən porşen müəyyən anda sorma pəncərəsini qapayır. Nəticədə dirsək kamerindəki yanıcı qarışıq sıxılır, buradakı təzyiq artır. Porşen üfurmə pəncərəsini (6) açdıqda yanıcı qarışıq üfurmə kanalı (7) vasitəsilə silindrə (4) daxil olur.

Porşenin *a.ö.n*-dən *y.ö.n*-yə doğru hərəkəti zamanı üfurmə pəncərəsi bağlanan kimi silindrə daxil olmuş yanıcı qarışıq sıxılmağa başlayır, eyni zamanda artıq açılmış sorma pəncərəsindən dirsək kamerinə yanıcı qarışığın növbəti dozəsi daxil olur. Porşen *y.ö.n* yaxınlığına çatarkən elektrik şamından (3) qılgıncım verilir. Qarışıq alışır, yanma başlayır, silindrdəki təzyiq və temperatur artdığından porşen *a.ö.n*-yə doğru itələnir və işçi gediş (və ya genişlənmə taktı) baş verir. Porşen *a.ö.n*-yə yaxınlaşdıqda əvvəlcə xaric pəncərəsi (2) açılır və işlənmiş qazlar silindrdən çıxmağa başlayır (silindrlə ətraf mühit arasındakı təzyiq fərqinin nəticəsi olaraq). Bir qədər sonra üfurmə pəncərəsi (6) də açıldığından dirsək kamerindən silindrə müəyyən təzyiq altında təzə qarışıq dolmağa başlayır. Təzə qarışıq işlənmiş qazları sıxışdırır, bu zaman onun müəyyən hissəsi işlənmiş qazlarla qarışaraq silindrdən xaric olunur.

Beləliklə, porşenin *y.ö.n*-dən *a.ö.n*-yə doğru hərəkəti zamanı həm genişlənmə, həm də silindrin üfürülməsi ilə xaricetmə prosesləri baş verir. Porşenin *a.ö.n*-dən *y.ö.n*-yə doğru hərəkəti zamanı isə



Şəkil 2.5. 2 taktlı məcburi alışdırılmalı mühərrikin iş siklinin sxemi:

a) sıxma taktı - işçi qarışığın silindrdə sıxılması; b) genişlənmə taktı - yanma məhsullarının genişlənməsi (işçi gediş), işlənmiş qazların xaric edilməsi, yanıcı qarışığın silindrə üfürülməsi; c) sıxma taktı - işçi qarışığın silindrdə sıxılması

və məcburi alışdırılıb yanması, yanıcı qarışıqın dirsək kamerinə sorulması; d) genişlənmə taktı – yanma məhsullarının genişlənməsi, işlənməmiş qazların xaric edilməsi, yanıcı qarışıqın silindrə üfürülməsi;

1 – doldurma borusu; 2 – xaric borusu; 3 – alışdırma şamı; 4 – silindr; 5 – porşen; 6 – üfürmə pəncərəsi; 7 – üfürmə kanalı; 8 – dirsək kameri; 9 – əks-klapan; 10 – karter

silindrə həm sorma, həm də sıxma prosesləri gedir.

2-taktlı siklin parametrləri də (təzyiq və temperatur) 4-taktlı benzin mühərriki siklinin parametrləri səviyyəsində olur.

Nəzərdən keçirilən qaz mübadiləsi sxemi üzrə işləyən 2-taktlı mühərriklərin karterində yağ olmur. Mühərrikin sürtünməyə işləyən hissələrinin yağlanmasını təmin etmək üçün yanacağa 1:20 nisbətində yağ əlavə edilir. Karterdə yaranan yanacaq, yağ və havadan ibarət qarışıq mühərrikin hissələrinin yağlanmasını təmin edir.

2-taktlı dizelin iş sikli

Şək. 2.6-da *düzaxınlı, klapan-pəncərə* qaz mübadiləsi sxemi üzrə işləyən 2-taktlı dizel mühərrikinin sxemi göstərilmişdir. Belə mühərrikin quruluşunun əsas xüsusiyyətləri aşağıdakılardır:

- doldurma pəncərələri (8) silindrin aşağı hissəsində yerləşdirilir və onların hündürlüyü porşenin gedişinin 10÷20 %-i qədər olur. Doldurma pəncərələri porşenin hərəkəti ilə açılıb-bağlanır;

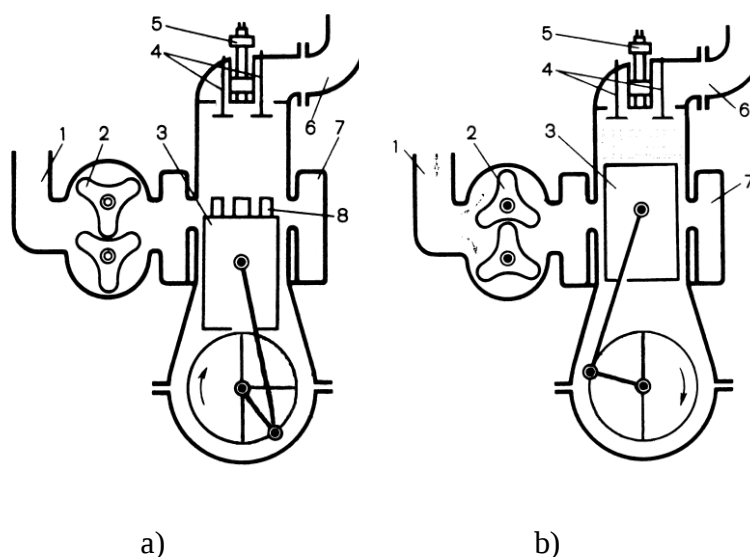
- xaric klapanları (4) silindrlər başlığında yerləşdirilir və qazpaylama valı tərəfindən açılır. Dirsəkli valın bir tam dövrü ərzində klapanların bir dəfə açılması təmin edilir;

- silindri yanma məhsullarından təmizləmək və onu təzə qarışıqla təmin etmək məqsədilə hava üfürmə nasosunun (2) köməyi ilə müəyyən təzyiqə resiverə (7) vurulur. Doldurma pəncərələri (8) açıldıqda sıxılmış hava silindrə daxil olur.

İş sikli aşağıdakı ardıcılıqla baş verir. Porşenin *y.ö.n*-dən *a.ö.n*-yə doğru hərəkəti birinci taktıdır (şək.1.6a). Silindrə artıq yanma prosesi olub, qazların genişlənməsi prosesi gedir, yəni işçi gediş baş verir. Porşenin təpə hissəsinin doldurma pəncərələrinə çatmasına az qalmış xaric klapanları (4) açılır və yanma məhsulları silindri tərk etməyə başlayır. Bu, silindrəki təzyiqin kəskin düşməsi ilə müşayiət olunur. Porşen doldurma pəncərələrini (8) silindrəki təzyiq resiverindəki (7) təzyiqlə təxminən bərabərləşən zaman açır. Doldurma pəncərələrindən silindrə daxil olan hava hələ burada qalmış yanma məhsullarını sıxışdıraraq üfürmə yolu ilə silindrin təmizlənməsini təmin edir. Bu zaman təzə qarışıqın (yəni havanın) bir hissəsi yanma məhsulları ilə birgə xaric olunur.

Beləliklə, birinci takt ərzində silindrə yanacağın yanması, qazların genişlənməsi və xaric olunması, silindrin üfürülməsi və doldurulması baş verir.

İkinci taktı porşen *a.ö.n*-dən *y.ö.n*-yə doğru hərəkət edir (şək. 1.6b). Porşenin bu gedişinin əv-



Şək. 2.6. 2-taktlı dizelin iş tsiklinin sxemi:

a) yanma, genişlənmə, xaricətmə, silindrin üfürülməsi və doldurulması;

b) xaricətmə, silindrin üfürülməsi və doldurulması, sıxma;

1- doldurma borusu; 2 - üfürmə nasosu; 3 - porşen;

4 - xaric klapanları; 5 - forsunka; 6 - xaric borusu;

7 - hava resiveri; 8 - doldurma pəncərələri

vəzində yanma məhsullarının xaric edilməsi, silindrin üfürülməsi və təzə qarışıqla (hava ilə) doldurulması prosesləri davam edir. Doldurma pəncərələrinin və xaric klapanlarının bağlanması ilə silindrin üfürülməsi prosesi də başa çatır. Xaric klapanları doldurma pəncərələri ilə eyni vaxtda və ya bir qədər tez bağlanır. Belə mühərriklərdə qaz mübadiləsinin sonu üçün silindrdəki təzyiq atmosfer təzyiqindən bir qədər çox alınır və resiverə vurulmuş havanın təzyiqindən asılı olur. Bu mühərriklər *üstəlik üfürməli mühərriklər* kimi də tanınır. Doldurma pəncərələri porşen tərəfindən tamamilə qapandıqdan sonra silindrdə havanın sıxılması prosesi gedir. Porşenin *y.ö.n*-yə çatmasına az qalmış (dirsəkli valın dönməsi üzrə $10\div 30^\circ$) forsunka (5) vasitəsilə silindrə yanacaq püskürülməsi başlanır, sonra isə yanacaq-hava qarışığının özülüşməsi baş verir. Yanma prosesi başlanır.

Beləliklə, ikinci takt ərzində porşen gedişinin əvvəlində silindrdə yanma məhsullarının xaric edilməsi, silindrin üfürülməsi və təzə qarışıqla doldurulması proseslərinin sonu, porşenin gedişinin davamında isə sıxma prosesi baş verir.

2-taktlı və 4-taktlı mühərriklərin müqayisəsi

2-taktlı və 4-taktlı mühərriklərin iş tsikllərini müqayisə etsək birincilərin aşağıdakı üstünlüklərə malik olduqları aşkar olar:

1. Nəzəri olaraq eyni ölçülü silindrlərə malik, dirsəkli vallarının dövrlər sayı eyni olan mühərriklərdən 2-taktlı mühərrikin gücü iki dəfə çox olmalıdır. Çünki 4-taktlı mühərrikdə bir iş tsikli başa çatınca 2-taktlı mühərrikdə iki iş tsikli baş verir. Real mühərriklərdə isə bu artım $1,5\div 1,7$ dəfə olur. Səbəb silindrin işçi həcmnin bir hissəsinin qaz mübadiləsi proseslərinə itirilməsi, silindrin yanma məhsullarından yaxşı təmizlənməməsi, silindrə doldurulan təzə qarışığın bir hissəsinin xaric qazlarla itirilməsidir. Üfürmə nasosu tətbiq edildikdə onun hərəkətə gətirilməsinə də güc sərf olunduğundan itki artır.

2. 2-taktlı mühərriklər konstruktiv cəhətdən daha sadə və yığcamdırlar.

3. 2-taktlı mühərriklərdə burucu momentin müntəzəmliyi daha yüksəkdir.

2-taktlı mühərriklərin aşağıdakı çatışmazlıqlarını da qeyd etmək lazımdır:

1. 2-taktlı mühərriklərdə qaz mübadiləsi proseslərinə (sorma və xaric) az vaxt ayrıldığından silindrin yanma məhsullarından təmizlənməsi və onun təzə qarışıqla doldurulması prosesləri mükəmməlliklərinə görə 4-taktlı mühərriklərə uduzurlar.

2. 2-taktlı mühərriklərdə silindrlər başlığının, porşenin və klapanların temperaturları daha yüksəkdir.

3. Doldurma, üfürmə və xaric pəncərələrinin olması 2-taktlı mühərriklərin silindrlərinin həqiqi işçi həcmələrini azaldır.

4. Doldurma və xaric proseslərinin qeyri-mükəmməlliyi nəticəsində təzə qarışığın müəyyən hissəsi xaric qazları ilə itirildiyindən yanacaq qənaətliliyinə görə 2-taktlı mühərriklər 4-taktlı mühərriklərlə müqayisədə uduzurlar.

5. 2-taktlı mühərriklər daha gərgin iş sikli ilə işlədiyindən onların ömür uzunluğu nisbətən azdır.

2-taktlı benzin və dizel mühərriklərini öz aralarında müqayisə etsək dizel mühərriklərinin daha üstün olduğu aydınlaşır. Bu səbəbdən 2-taktlı iş tsiklinə malik dizellərdən daha çox istifadə olunur. 2-taktlı benzin mühərriklərindən isə yalnız motosikl və mopedlərdə, qayıqlarda, kiçik stasionar enerji qurğularında istifadə olunur.

Məcburi alışdırılmalı və dizel mühərriklərinin müqayisəsi

Çağdaş energetikada, nəqliyyatda və digər texnika sahələrində daxili yanma mühərrikləri çox geniş şəkildə tətbiq edilir. Ən geniş tətbiq sahələrindən biri sözsüz ki, nəqliyyat vasitələri, xüsusilə də avtomobil nəqliyyatıdır.

Hal-hazırda avtomobillərdə həm karbüratorlu, həm injektorlu (sorma borusuna və ya silindrə benzin püskürməli) məcburi alışdırılmalı mühərriklər, həm də dizel mühərrikləri qoyulur. Bu zaman mühərriklərin texniki-iqtisadi göstəriciləri geniş təhlil edilir və istifadə üçün ən münasibləri seçilir. Ən mühüm kriterilər mühərriklərin işlənmiş qazlarının zəhərliyi və onların yanacaq qənaətliliyidir. Məhz bu göstəricilərinə görə karbüratorlu mühərriklər digər adıçəkilən mühərriklərdən geri qaldıqlarına görə onların avtomobillərdə istifadəsi kəskin şəkildə azalmaqdadır. Güman edilir ki, çox yaxın gələcəkdə bu tip mühərriklərin istehsalı dayandırılacaq.

Avtomobil sənayesində ən çox istifadə edilən mühərriklər injektorlu məcburi alışdırılmalı və dizel mühərrikləridir. İnjektorlu mühərriklər əsas etibarilə minik avtomobillərində, nisbətən az miqdarda kiçik tonnajlı yük avtomobillərində və mikroavtobuslarda qoyulur. Dizel mühərriklərindən isə praktiki olaraq bütün növ avtomobil nəqliyyatı vasitələrində istifadə olunur. Səbəb onların injektorlu mühərriklərə nisbətən bir sıra üstünlüklərə malik olmalarıdır. Bu üstünlüklər aşağıdakılardır:

- yanacaq qənaətliliyinin $25 \div 35$ % yüksək olması;
- eyni gücdə olduqları halda $15 \div 20$ % artıq burucu momentə malik olması;
- işlətdiyi yanacağın yanğına görə nisbətən təhlükəsiz olması;
- yüksək etibarlılığa malik olması;
- xaric qazlarının nisbətən az zəhərli olması.

Lakin dizel mühərrikləri müəyyən göstəricilərə görə məcburi alışdırılmalı mühərriklərdən geri qalır. Bu göstəricilər aşağıdakılardır:

- eyni gücə malik olduqları halda daha ağır və iri qabarit ölçülərinə malik olması;
- soyuq hava şəraitində işəsalmanın nisbətən çətin olması;
- iş zamanı səs-küy səviyyəsinin yüksəkliyi;
- yanacaq aparatının bahalı olması;
- litr gücünün azlığı;
- işlənmiş qazların tərkibindəki qurumun çoxluğu.

DAXİLİ YANMA MÜHƏRRİKLƏRİNİN İDEAL SIKLLƏRİ

Əsas anlayışlar

Daxili yanma mühərriklərində istilik enerjisinin mexaniki enerjiyə çevrilməsi kifayət qədər mürəkkəb prosesdir. Real şəraitdə bu prosesin gedişi termodinamikanın II qanununun nəzərə alınmadığı itkilərlə sıx əlaqədə olur.

Real mühərriklərdə enerjinin çevrilməsi ardıcıl baş verən bir sıra fiziki-kimyəvi və termodinamiki proseslərin nəticəsində baş verir. Bu proseslər periodik, dönməyən və açıq xarakter daşımaqla, birlikdə müəyyən bir sikl təşkil edirlər. Bu siklə *real sikl* və ya *işçi sikl* deyilir.

Real siklin gedişinə bir sıra amillər təsir göstərir. Bunlardan konstruktiv amilləri (sıxma dərəcəsi, yanıcı qarışıqın hazırlanma üsulu, qazpaylama üsulu və s.), tənzimləmə (yanıcı qarışıqın miqdarı, onun tərkibi) və rejim (mühərrikin dövrlər sayı və yükü) parametrlərini göstərmək olar.

Real mühərrikdə baş verən proseslərə adiçəkilən amillərin ayrı-ayrılıqda göstərdiyi təsirləri dərinlən öyrənmək kifayət qədər mürəkkəb məsələdir. Odur ki, həmin amillərin təsirini öyrənmək üçün real siklin proseslərini mümkün qədər sadələşdirərək, onları tədricən həqiqi şəkllə yaxınlaşdırmaq daha məqsədəuyğun sayılır. Sadələşdirmə zamanı siklin əsas prosesləri ilə birgə baş verməklə onlara təsir göstərən, lakin termodinamik tələblərlə əlaqəli olmayıb, yalnız real şəraitin təsirini əks etdirən hadisələr və enerji itkiləri nəzərə alınmamalıdır.

DYM-nin silindrində baş verən enerji çevrilməsinin bu cür sadələşdirilməsi nəticəsində real sikllər ideal sikllərə çevrilir.

İdeal sikl elə periodik, dönməyən və qapalı xarakterli siklə deyilir ki, onun baş verməsi zamanı termodinamikanın II qanununa uyğun olaraq soyuq mənbəyə verilməli olan istilikdən başqa enerji itkiləri yoxdur.

İdeal siklin real sikldən aşağıdakı fərqli xüsusiyyətləri var:

1) *silindrə doldurulmuş işçi cismin miqdarı və tərkibi dəyişməzdir.* Bu o deməkdir ki, ideal sikl zamanı periodik olaraq silindrin yanma məhsullarından təmizlənməsi və yeni qarışıqla doldurulması prosesləri yoxdur.

2) *silindrə doldurulmuş işçi cisim istilik tutumu sabit olan ideal qazdır.* Halbuki, real şəraitdə istilik tutumu dəyişən kəmiyyətdir. O, işçi cismin temperaturundan asılı olaraq dəyişir.

3) *işçi cismə kənar isti mənbədən Q_1 istiliyi verilir və ondan kənar soyuq mənbəyə Q_2 istiliyi ötürülür.* İsti mənbədən Q_1 istiliyi sabit həcm ($V=const$), sabit təzyiq ($p=const$) şəraitində və ya bir hissəsi sabit həcm ($V=const$), digər hissəsi isə sabit təzyiq ($p=const$) şəraitində alınır. Kənar soyuq mənbəyə Q_2 istiliyi isə yalnız sabit həcm ($V=const$) şəraitində verilir. Deyilənlər onu göstərir ki, ideal sikldə yanacağın yanması, istilik mübadiləsi, silindrlərin yanma məhsullarından təmizlənməsi prosesləri yoxdur.

4) *sıxma və genişlənmə prosesləri adiabatikdir.* Yəni, ətraf mühitlə heç bir istilik mübadiləsi baş vermir.

İdeal sikldə istilik enerjisinin mexaniki enerjiyə çevrilməsi mümkün olan dərəcədədir, yəni ideal siklin termodinamik f.i.ə maksimum qiymətə malikdir. Deməli, ideal və real sikllərin faydalı iş əmsallarını müqayisə etməklə real sikllərin təkmilliyi haqda mühakimə yürütmək olar.

Porşenli d.y.m –i nəzəriyyəsinə ideal sikldən başqa *nəzəri* və *real* sikllər də öyrənilir.

Nəzəri siklin ideal sikldən fərqi ondan ibarətdir ki, bu sikldəki işçi cisim tərkibi və istilik tutumu dəyişən real qazdır. İdeal siklə oxşarlıq isə istilik mübadiləsinin olmaması və yanma prosesinin eyni istilik vermə qanunları üzrə getməsidir.

Real (və ya həqiqi) sikllər həqiqi d.y.m-nin silindrində baş verir. Burada istifadə olunan işçi cisim nəzəri sikldə olduğu kimi tərkibi və istilik tutumu dəyişən qazdır. Bütün sikl ərzində ətraf mühitlə intensiv istilik mübadiləsi gedir. Yanma prosesi çox mürəkkəb fiziki-kimyəvi qanunlar üzrə baş verir və bu qanunların əsl mahiyyəti hələ də öyrənilməkdədir.

Yuxarıda deyilənlərdə aydın olur ki, ideal sikl yalnız ideal şəraitdə baş tuta bilər və o ən yüksək göstəricilərə malikdir. Nəzəri sikl isə real siklin baş verdiyi şəraitə yaxın şəraitdə baş tuta bilər və onun

göstəriciləri ideal siklinkindən aşağı, real siklinkindən isə yuxarı olar. Real sikllər isə yalnız real d.y.m-də baş verir və onun göstəriciləri həm ideal, həm də nəzəri sikllərdəkindən aşağı olur.

İdeal və nəzəri siklləri öyrənməklə sıxma dərəcəsi, istiliyin verilmə üsulu və verilən istiliyin miqdarının d.y.m-nin işinə təsirini aydınlaşdırmaq mümkündür.

Daxili yanma mühərriklərinin ideal siklləri

Daxili yanma mühərriklərinin çağdaş dünya energetikasında oynadığı lider rolu hamıya məlumdur. D.y.m-dən ən müxtəlif məqsədlər üçün istifadə olunur və təyinatı üzrə onların bir sıra növləri yaradılmışdır. Lakin ideal termodinamik sikl baxımından bütün nəqliyyat vasitələrinin mühərrikləri aşağıdakı üç sikldən biri üzrə işləyir:

- 1) istiliyi sabit həcmdə verilən sikl (buna Bo de Roşa - Otto sikli də deyilir);
- 2) istiliyi sabit təzyiqdə verilən sikl (buna Dizel sikli də deyilir);
- 3) istiliyi qismən sabit həcmdə, qismən də sabit təzyiqdə verilən sikl (buna Trinkler sikli də deyilir).

Hər üç sikldə istilik soyuq mənbəyə ancaq sabit həcm şəraitində verilir.

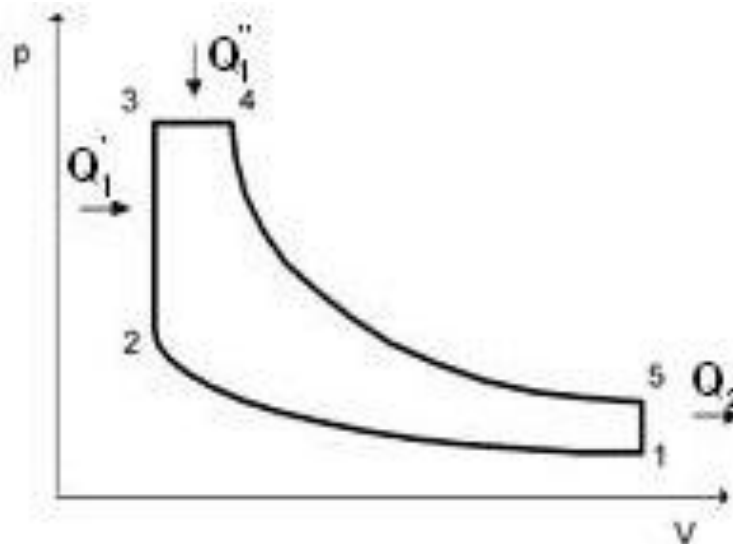
D.y.m-nin digər növləri olan müxtəlif tipli reaktiv mühərriklər isə ya istiliyin sabit həcm şəraitində alınıb, onun sabit təzyiq şəraitində soyuq mənbəyə verilməsinə əsaslanan Hamfri sikli, ya da istiliyin sabit təzyiq şəraitində alınıb verilməsinə əsaslanan Brayton sikli üzrə işləyir.

Əvvəlcə Trinkler siklini nəzərdən keçirək.

TRINKLER sikli

Bu siklin adı 1899-cu ildə ilk kompressorsuz dizelin yaradıcısı Gustav Trinklerin adı ilə bağlıdır. Lakin bəzi ölkələrdə bu sikl **Seiliger** (Almaniyada, Hollandiyada) və ya **Sabate** (İtaliyada) sikli də adlandırılır. Ümumilikdə isə bu siklə qarışıq (*ingiliscə* - **dual cycle**) sikl də deyilir.

Şəkil 3.1-də istiliyi qismən sabit həcm, qismən də sabit təzyiq şəraitində verilən ideal Trinkler siklinin (buna qarışıq sikl də deyilir) p - V diaqramı göstərilmişdir. Bu sikl silindrində qarışıq şəraitdə yanma baş verən dizel mühərrikinin işçi prosesini təsvir edən termodinamik sikldir.



Şək.3.1. Trinkler siklinin p - V diaqramı

Siklin başlanğıcında mühərrikin silindrindəki işçi cisminin halı 1 nöqtəsinin parametrləri ilə xarakterizə edilir. Sikl 1-2 - adiabatik sıxılma, 2-3 – sabit həcmdə istiliyin verilməsi, 3-4 – istiliyin sabit təzyiqdə verilməsi, 4-5 - adiabatik genişlənmə və 5-1 – sabit həcmdə istiliyin alınması prosesindən ibarətdir.

1 nöqtəsi mühərrikin porşeninin sağ kənar vəziyyətdə, yəni $a.ö.n$ –də olmasına uyğundur. Sikl 1-2 - adiabatik sıxılma prosesi ilə başlayır və bu zaman porşen $a.ö.n$ –dən $y.ö.n$ –yə doğru hərəkət etdirilir. Porşen $y.ö.n$ vəziyyətinə uyğun 2 nöqtəsinə çatdıqda işçi cismə Q_1' istiliyi verilir (2-3).

Porşenin *a.ö.n* –ə doğru sonrakı hərəkəti başlayan kimi (3) işçi cismə istiliyin ikinci hissəsi – Q_1'' istiliyi verilir (3-4). 4 nöqtəsində istiliyin verilməsi prosesi başa çatır və porşenin *a.ö.n* –ə doğru sonrakı hərəkəti zamanı işçi cisim adiabatik genişlənir (4-5). Porşen *a.ö.n* vəziyyətinə çatanda (5 nöqtəsi) adiabatik genişlənmə qurtarır. Bu vəziyyətdə işçi cisimdən sabit həcmdə soyuq mənbəyə Q_2 istiliyi verilir (5-1) və nəticədə işçi cisim ilkin hala qayıtmış olur.

Mühərrikdə istilikdən səmərəli istifadə olunma termodinamik f.i.ə, mühərrikin qənaətliliyi isə vahid gücün alınmasına sərf edilən istiliyin miqdarı ilə xarakterizə olunur.

Termodinamikanın II qanununa əsasən 1 kq işçi cisim tərəfindən həyata keçirilən siklin termodinamik f.i.ə:

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{Q_1' + Q_1'' - Q_2}{Q_1}, \quad (3.1)$$

burada $Q_1 = Q_1' + Q_1''$ - sikl ərzində işçi cismə verilən istiliyin miqdarıdır, C/kq ; Q_2 – sikl ərzində işçi cisimdən soyuq mənbəyə verilən istiliyin miqdarıdır, C/kq .

G kq işçi cismin həyata keçirdiyi qapalı siklin gördüyü iş:

$$L_s = \oint p dV, \quad (3.2)$$

burada p – təzyiq, V – isə həcmdir.

p - V koordinat sistemində siklin gördüyü iş sikli təsvir edən qrafiki konturun sahəsi ilə müəyyən edilir.

Trinkler siklinin termodinamik f.i.ə -nın siklin parametrlərindən asılılığı aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)}, \quad (3.3)$$

burada $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$ - sıxma dərəcəsidir; $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$ - sabit həcmdə yanma zamanı təzyiqin yüksəlmə dərəcəsidir;

$\rho = \frac{V_4}{V_3}$ - qabaqcadan genişlənmə dərəcəsidir; k – adiabat göstəricisidir.

ε - sıxma prosesində işçi həcmnin başlanğıc həcmə nisbətən neçə dəfə azaldığını, λ - istilikvermənin birinci mərhələsində işçi cismin təzyiqinin artmasını, ρ - istilikvermənin ikinci mərhələsində baş verən əvvəlcədən genişlənməni xarakterizə edir.

(3.3) düsturundan göründüyü kimi Trinkler siklinin termodinamik f.i.ə mühərrikin sıxma dərəcəsi (λ və ρ ilə xarakterizə edilən), istiliyin verilmə üsulundan (k ilə xarakterizə edilən), habelə işçi cismnin tərkibindən və fiziki xassələrindən asılıdır.

(3.2) düsturuna əsasən Trinkler siklinin işi üçün aşağıdakı düsturu yazmaq olar:

$$L = p_4 V_4 - p_3 V_3 + \frac{1}{k-1} (p_4 V_4 - p_5 V_5) - \frac{1}{k-1} (p_2 V_2 - p_1 V_1), \quad (3.4)$$

burada $p_4 V_4 - p_3 V_3$ 3-4 izobarik prosesin, $\frac{1}{k-1} (p_4 V_4 - p_5 V_5)$ 4-5 adiabatik prosesin,

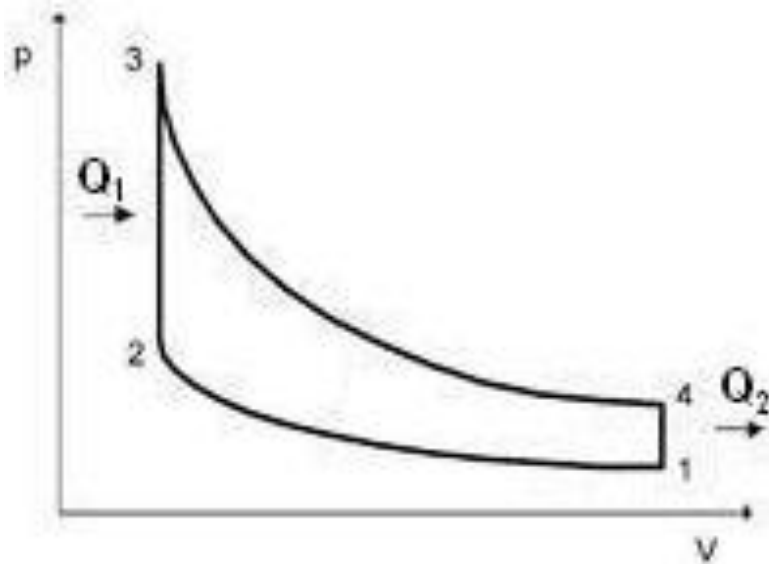
$\frac{1}{k-1} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$ isə 1-2 adiabatik prosesin işidir. Bir sıra əvəzləmələr və çevrilmələr etməklə

Trinkler siklinin işi üçün aşağıdakı düsturu almaq olar:

$$L = p_2 V_2 \left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda \rho}{k-1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{k-1}} \right) - \frac{1}{k-1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \right) \right], \quad (3.5)$$

burada $\delta = \frac{V_5}{V_4}$ - siklin genişlənmə prosesinin ikinci mərhələsini xarakterizə edir və sonradan genişlənmə dərəcəsi adlanır.

Siklin işgörmə qabiliyyətini xarakterizə edən parametr siklin orta təzyiqi adlanır və o aşağıdakı düsturla təyin olaunur:



Şəkil 3.3. Bo de Roşa-Otto siklinin p - V diaqramı

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}, \quad (3.7)$$

və orta təzyiqi

$$p_t = p_1 \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon - 1} (\lambda - 1) \cdot \frac{1}{k - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \right) \quad (3.8)$$

olar

(3.7) və (3.8) ifadələrindən görünür ki, Otto siklinin termodinamik f.i.ə yalnız sıxma dərəcəsi və adiabat göstəricisindən, orta təzyiqi isə başlanğıc təzyiq, sıxma dərəcəsi, təzyiqin yüksəlmə dərəcəsi və adiabat göstəricisindən asılıdır.

(3.7) və (3.8) ifadələrinin köməyi ilə aparılan hesablamaların nəticələrini analiz edərkən aşağıdakı qənaətə gəlmək mümkündür:

- verilən istiliyin miqdarının və adiabat göstəricisinin sabit saxlandığı şəraitdə sıxma dərəcəsi (ε) artdıqca həm η_t , həm də p_t yüksəlir. F.i.ə-nin yüksəlməsinə səbəb, sıxma dərəcəsi artdıqca soyuq mənbəyə verilən istiliyin azalmasıdır. Orta təzyiqin artmasına səbəb isə siklin maksimum təzyiqinin (p_3) yüksəlməsi nəticəsində sikl diaqramının sahəsinin böyüməsidir.

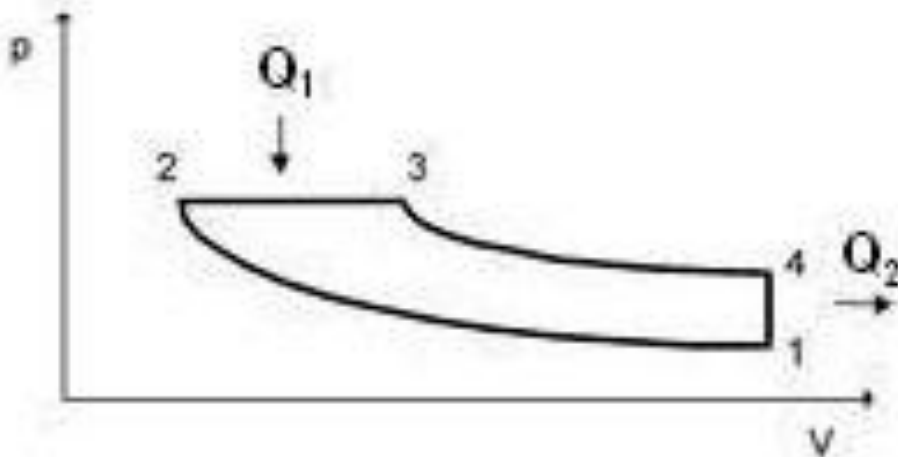
- başlanğıc təzyiqin dəyişməsi siklin f.i.ə-na heç bir təsir göstərmir. Bu o deməkdir ki, konkret şəraitdə siklə verilən və ondan soyuq mənbəyə qaytarılan istiliklərin nisbəti dəyişmir.

- siklin orta təzyiqi başlanğıc təzyiqin azalması ilə ona mütənəsb olaraq azalır.

DİZEL sikli

Dizel sikli silindrinə püskürülmüş yanacaq qızdırılmış işçi cisim tərəfindən alışıdırılan daxili yanma mühərrikinin işçi prosesini təsvir edən termodinamiki sikldir. Bu sikl alman mühəndisi R.Dizelin şərəfinə adlandırılmışdır. Şəkil 3.4-də istiliyi sabit təzyiq şəraitində ($p = \text{const}$) verilən ideal Dizel siklinin qrafiki təsviri, yəni p - V diaqramı verilmişdir. Sikl dörd prosesdən ibarətdir: 1-2 - işçi cismin adiabatik sıxılması; 2-3 - işçi cismə sabit təzyiqdə ($p = \text{const}$), yəni izobarik istilik verilmə; 3-4 - işçi cismin adiabatik genişlənməsi; 4-5 - işçi cismin izoxorik soyudulması, yəni işçi cisimdən sabit həcm şəraitində ($V = \text{const}$) istiliyin alınması.

Şəkildən görüldüyü kimi Dizel siklinə də istilik yalnız bir mərhələdə verilir. Bu siklə də Trinklər siklinin xüsusi halı kimi də baxmaq olar, çünki burada işçi cismə sabit həcm şəraitində ($V = \text{const}$) istilik verilmir. Yəni $Q_1' = 0$ olur. Bu səbəbdən Dizel siklinin termodinamik f.i.ə (η_t) və işgörmə qabiliyyəti, yəni orta təzyiq (p_t) üçün müvafiq ifadələr (3.3) və (3.6) düsturlarından alınır. Bu siklin xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, işçi cismə istiliyin verilməsi təzyiqin yüksəlməsinə



Şəkil 3.4. Dizel siklinin p - V diaqramı

səbəb olmur, yəni $\lambda=1$ olur. Bu halda Dizel siklinin termodinamiki f.i.ə:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)}, \quad (3.9)$$

və orta təzyiqi

$$p_t = p_1 \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon - 1} \left[(\rho - 1) + \frac{\rho}{k-1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{k-1}} \right) - \frac{1}{k-1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \right) \right] \quad (3.10)$$

olar.

(3.9) və (3.10) düsturlarından göründüyü kimi istiliyi sabit təzyiq şəraitində verilən Dizel siklinin termodinamiki f.i.ə sıxma dərəcəsi (ε), qabaqcadan genişlənmə dərəcəsi (ρ) və adiabat göstəricisindən (k) asılıdır. Siklin orta təzyiqi isə adicəkilən parametrlərdən əlavə həm siklin başlanğıc təzyiqindən (p_a), həm də sonradan genişlənmə dərəcəsiindən (δ) asılıdır. (3.9) və (3.10) ifadələrinin köməyi ilə aparılan hesablamaların nəticələrini analiz edərkən aşağıdakı qənaətə gəlmək mümkündür:

- sıxma dərəcəsinin artması həm termodinamiki f.i.ə-nın, həm də orta təzyiqin artmasına səbəb olur. Lakin hesablamaların nəticələri göstərir ki, ε -nın Dizel sikli parametrlərinə təsiri Otto siklinə nisbətən azdır. Bu onunla izah edilir ki, sıxma dərəcəsinin yüksək qiymətlərində ($\varepsilon > 13$), onun sikldə istilikdən istifadə dərəcəsinə təsiri azalır.

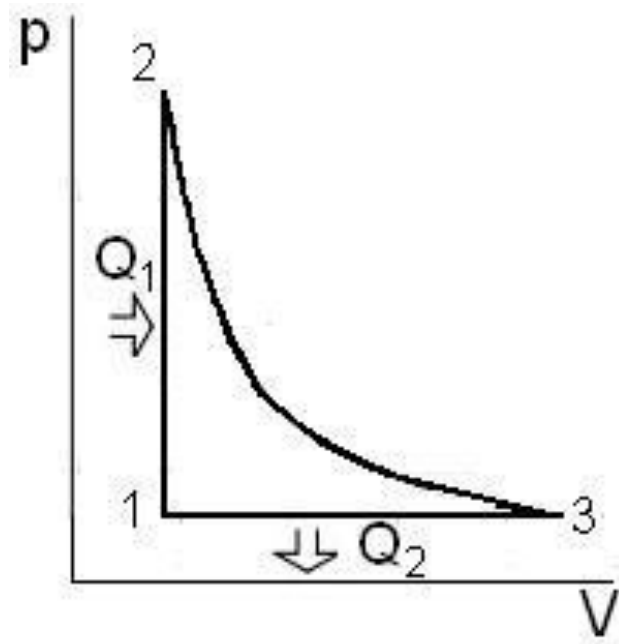
- siklə verilən istilik miqdarı (Q_1) dəyişdikdə siklin qabaqcadan və sonradan genişlənmə dərəcələri (ρ və δ) də dəyişir. Belə ki, Q_1 artdıqca ρ da artır, δ isə azalır, Q_1 azaldıqda isə əksinə, ρ azalır, δ isə artır. Bu onu göstərir ki, Dizel sikli əsasında işləyən d.y.m-də yükün dəyişdirilməsi məhz verilən istiliyin miqdarını (yəni yanacaq verilişini) dəyişdirməklə mümkündür. Verilən istiliyin miqdarı artdıqca, siklin diaqramının sahəsi də böyüdüyündən onun orta təzyiqi də yüksəlir, termodinamiki f.i.ə isə azalır. F.i.ə-nın azalmasına səbəb isə Q_1 artdıqca, istilik verilməsinin sonunun $y.ö.n$ -dən uzaqlaşmasıdır. Çünki, bu halda genişlənmənin sonundakı təzyiq və temperatur artdığından soyuq mənbəyə verilən istiliyin miqdarı da çoxalır.

LENUAR sikli

Lenuar sikli ən müxtəlif quruluşa və təbiiq sahələrinə malik daxili yanma mühərriklərinin işçi prosesini təsvir edən termodinamik siklə deyilir. Bu sikl fransız ixtiraçısı J.J.E.Lenuarın adı ilə bağlıdır və aşağıdakı d.y.m-nin işçi proseslərini təsvir edir:

- Jan Jozef Etyen Lenuar tərəfindən 1860-cı ildə yaradılmış ilk sənaye əhəmiyyətli ilk 2 taktlı daxili yanma mühərriki;
- raketlər üçün istilik mühərrikləri;
- klapanlı, döyüntülü hava-reaktiv mühərrikləri;
- atmosfer havası ilə əlaqəsiz, raket yanacağı ilə işləyən qaz-turbinli mühərriklər.

Şəkil 3.5-də istiliyi sabit həcm şəraitində ($V=const$) verilən ideal Lenuar siklinin qrafiki təsviri, yəni p - V diaqramı verilmişdir. Lenuar ideal termodinamik sikli üç prosesdən ibarətdir: 1-2 - işçi cismin izoxorik (yəni sabit həcm şəraitində) qızdırılması; 2-3 - işçi cismin adiabatik (və ya izoentropik) genişlənməsi; 3-1 - işçi cismin izobarik soyudulması, yəni işçi cisimdən sabit təzyiq şəraitində ($p=const$) istiliyin alınması.



Şəkil 3.5. Lenuar siklinin p - V diaqramı

İdeal Lenuar siklinin termodinamik f.i.ə aşağıdakı ifadələrin köməyi ilə müəyyən edilir:

$$a) \quad \eta_t = 1 - k \frac{\rho - 1}{\rho^k - 1}, \quad (3.11)$$

burada $\rho = V_3/V_1$ - genişlənmə dərəcəsi, k - işçi cismin adiabat göstəricisidir. (3.11) düsturu ilə porşenli Lenuar mühərrikinin f.i.ə-nı hesablamaq məqsəduyğun hesab edilir.

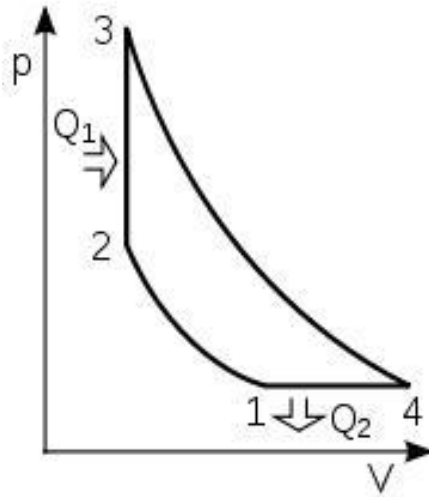
$$b) \quad \eta_t = 1 - k \frac{\lambda^{\frac{1}{k}} - 1}{\lambda - 1}, \quad (3.12)$$

burada $\lambda = p_2/p_1$ - təzyiqin yüksəlmə dərəcəsi, k - işçi cismin adiabat göstəricisidir. (3.12) düsturu- nun köməyi ilə Lenuar sikli ilə işləyən reaktiv və qaz-turbinli mühərriklərin termodinamik f.i.ə-nı hesablamaq olar.

HAMFRI sikli

Hamfri (Humphrey) sikli klapanlı, pulsasiyalı (döyüntülü) hava-reaktiv mühərrikinin işçi prosesini təsvir edən termodinamik sikldir.

Şəkil 3.6-da istiliyi sabit həcm şəraitində ($V=const$) verilən ideal Hamfri siklinin qrafiki təsviri, yəni p - V diaqramı verilmişdir. Hamfri ideal termodinamik sikli dörd prosesdən ibarətdir: 1-2 - işçi cismin adiabatik (və ya izoentropik) sıxılması (əks istiqamətli hava axınının təzyiqi hesabına); 2-3 - işçi cismə sabit həcm şəraitində (izoxorik) istiliyin verilməsi; 3-4 - işçi cismin adiabatik genişlənməsi; 4-1 - işçi cismin izobarik soyudulması, yəni işçi cisimdən sabit təzyiq şəraitində ($p=const$) istiliyin alınması.



Şəkil 3.6. Hamfri siklinin p - V diaqramı

Hamfri siklinin termodinamik f.i.ə aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\eta_t = 1 - \frac{k}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} \cdot \frac{\lambda^{\frac{1}{k}} - 1}{\lambda - 1}, \quad (3.13)$$

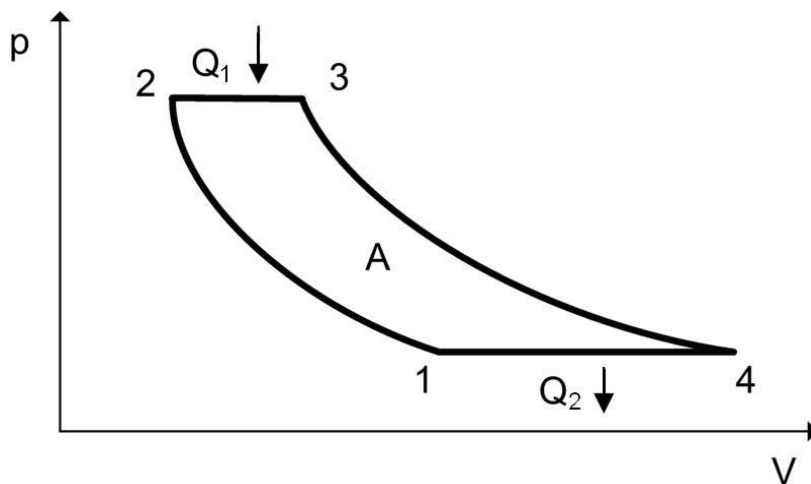
burada $\pi = p_2 / p_1$ - 1-2 adiabatik sıxılma zamanı təzyiqin yüksəlmə dərəcəsidir; k – adiabat göstəricisidir; $\lambda = p_3 / p_2$ - 2-3 izoxorik sıxılma zamanı təzyiqin yüksəlmə dərəcəsidir.

BRAYTON sikli

Brayton sikli qaz-turbinli, turboreaktiv və düz axınlı hava-reaktiv daxili yaanma mühərriklərinin işçi prosesini təsvir edən termodinamik sikldir.

Sikl ilk qaz-turbinli daxili yanma mühərrikinin ixtiraçısı Corc Braytonun şərəfinə adlandırılıb.

Şəkil 3.7-da istiliyi sabit təzyiq şəraitində ($p = \text{const}$) verilən ideal Brayton siklinin qrafiki təsviri, yəni p - V diaqramı verilmişdir. Brayton ideal termodinamik sikli dörd prosesdən ibarətdir: 1-2 - işçi cismin adiabatik (və ya izoentropik) sıxılması; 2-3 - işçi cismə sabit həcm şəraitində (izoxorik) istiliyin verilməsi; 3-4 – işçi cismin adiabatik (və ya izoentropik)- genişlənməsi; 4-1 – işçi cismin izobarik soyudulması, yəni işçi cisimdən sabit təzyiq şəraitində ($p = \text{const}$) istiliyin alınması.



Şəkil 3.7. Brayton siklinin p - V diaqramı

Brayton siklinin termodinamik f.i.ə aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}}, \quad (3.14)$$

burada $\pi = p_2 / p_1$ - adiabatik (və ya izoentropik) sıxılma zamanı təzyiqin yüksəlmə dərəcəsidir; k - adiabat göstəricisidir;

Qeyd etmək lazımdır ki, ideal sikllər real daxili yanma mühərriklərində baş verən prosesləri ancaq təxmini olaraq təsvir (ifadə) edə bilirlər. Lakin texniki hesablamaların əksər hallarında təxminlər kifayət qədər dəqiqliyə malik olduqlarını göstərə bilirlər.

DAXİLİ YANMA MÜHƏRRİKLƏRİNİN NƏZƏRİ SIKLLƏRİ. İDEAL VƏ NƏZƏRİ SIKLLƏRİN MÜQAYİSƏSİ

Əvvəlcədən qeyd olunduğu kimi ideal sikllər qapalı olmaqla, miqdarı və tərkibi dəyişməyən işçi cisimlə alınır. Müxtəlif ideal sikllərin termodinamik f.i.ə-nı hesablayarkən işçi cismin istilik tutumunun da sabit olduğu nəzərdə tutulurdu. Halbuki, bütün bu şərtlər daxilində ideal qapalı sikl real sikldən həddən artıq fərqli olur.

Əvvəlki mövzuda qeyd olunduğu kimi nəzəri sikl ideal sikldən real siklə yaxınlaşma mərhələsi rolunu oynayır. Nəzəri sikl qeyri-qapalı olub, dönməyən periodik sikldir. İdeal sikllər əsasında təsəvvür olunan nəzəri sikllər aşağıdakı kimi adlandırılır:

1) yanma prosesi sabit həcmdə gedən sikl, yaxud sürətli yanma sikli. Bu sikl Bo de Roşa-Otto ideal siklinə əsaslanır;

2) yanma prosesi sabit təzyiqdə gedən sikl, yaxud tədrici yanma sikli. Bu sikl Dizel ideal siklinə əsaslanır;

3) yanma prosesi qismən sabit həcmdə, qismən də sabit təzyiqdə gedən sikl, yaxud qarışıq sikl. Bu sikl Trinkler ideal siklinə əsaslanır.

Adları çəkilən üç əsas nəzəri sikldən başqa Atkinson və Miller sikllərini də qeyd etmək olar. Atkinson sikli 1886-cı ildə onu təklif etmiş ingilis mühəndis Ceyms Atkinsonun, Miller sikli isə 1947-ci ildə bu sikli təklif etmiş amerikalı mühəndis Ralf Millerin şərəfinə adlandırılır. Adları çəkilən hər iki sikl ideal Bo de Roşa-Otto və Trinkler sikllərinə əsaslanan modifikasiya olunmuş sikllərdir.

Nəzəri sikllərin əsas xüsusiyyətləri aşağıdakılardır:

- işçi cisim real qaz qarışığıdır, onun miqdarı, tərkibi və istilik tutumu dəyişəndir;
- silindrə verilmiş yanacaq tam yanır. Şerti olaraq qəbul edilir ki, yanacağın yanması ya sabit həcm, ya sabit təzyiq, ya da qismən sabit həcm, qismən də sabit həcm şəraitində baş verir;

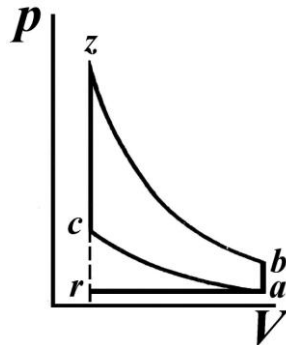
- sıxma və genişlənmə prosesləri ətraf mühitlə heç bir istilik mübadiləsi olmadan gedir, yəni bu proseslər adiabatikdir, onların baş vermə müddətində işçi cismin miqdarı dəyişmir, qaz sızmaları da nəzərə alınmır;

- silindrə təzə işçi cismin verilməsi sabit atmosfer təzyiqində gedən doldurma prosesi ilə həyata keçirilir;

- istiliyin soyuq mənbəyə ötürülməsi genişlənmənin sonunda işlənmiş qazların atmosfərə buraxılması ilə əvəz olunur;

- istiliyin soyuq mənbəyə qaytarılması prosesinin sonunda silindrin bütün həcmi tutan və siklin başlanğıc hal parametrlərinə malik olan işlənmiş qazların qalan hissəsi, porşenin a.ö.n-dən y.ö.n-yə qədər gedişi vasitəsilə yerinə yetirilən xaricətmə prosesi nəticəsində silindrdən kənar edilir. Həm xaricətmə, həm də doldurma proseslərinin sabit atmosfer təzyiqi şəraitində getdiyi nəzərdə tutulur. Bu o deməkdir ki, real sikldən fərqli olaraq, nəzəri sikldə doldurma və xaricətmə proseslərinin qazodinamik müqavimətlərin olmadığı şəraitdə getdiyi nəzərdə tutulur.

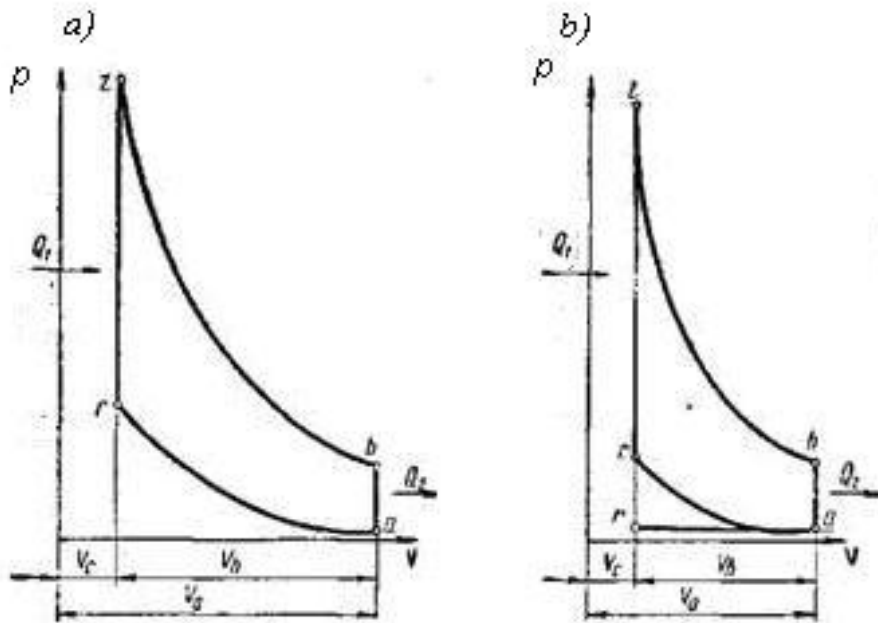
Sürətli yanma sikli. Şək. 4.1-də sürətli yanma siklinin qrafiki təsviri göstərilmişdir. Burada



Şəkil 4.1. Sürətli yanma siklinin diaqramı

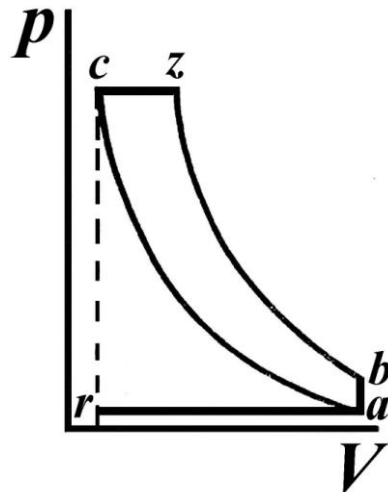
ra – atmosfer şəraitində gedən doldurma, ac – adiabatik sıxma; cz – sabit həcmdə yanma, zb – adiabatik genişlənmə, ba – işlənmiş qazların sabit həcmdə, ar isə atmosfer şəraitində ətraf mühitə xaric olunması prosesidir.

Şəkil 4.2-də Bo de Roşa-Otto ideal sikli ilə sürətli yanma nəzəri siklinin diaqramlarının müqayisəsi təsvir edilmişdir:



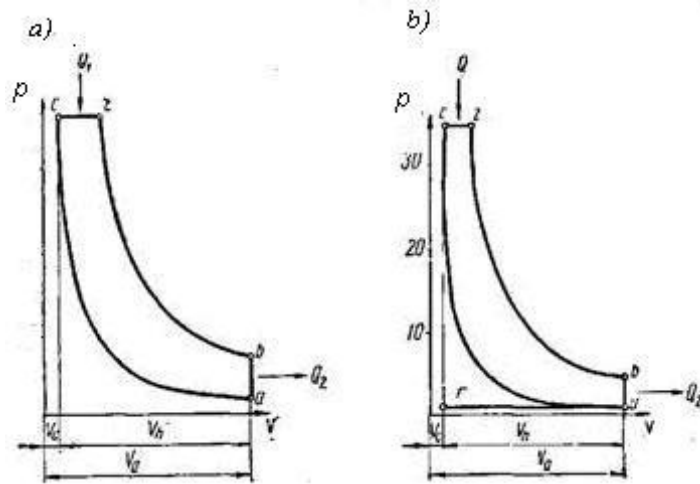
Şəkil 4.2. Bo de Roşa-Otto ideal sikli ilə sürətli yanma nəzəri siklinin diaqramlarının müqayisəsi:
a) ideal sikl; b) nəzəri sikl

Tədrici yanma sikli. Şək. 4.3-də tədrici yanma siklinin qrafiki təsviri göstərilmişdir. Burada ra – atmosfer şəraitində gedən doldurma, ac – adiabatik sıxma; cz – sabit təzyiqdə yanma, zb – adiabatik genişlənmə, ba – işlənmiş qazların sabit həcmdə, ar isə atmosfer şəraitində ətraf mühitə xaric olunması prosesidir.



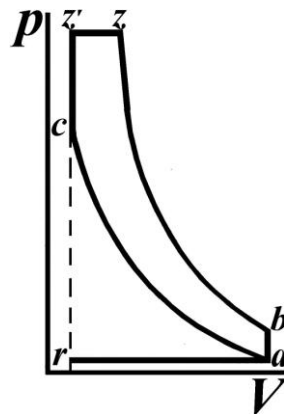
Şəkil 4.3. Tədrici yanma siklinin diaqramı

Şəkil 4.4-də Dizel ideal sikli ilə tədrici yanma nəzəri siklinin diaqramlarının müqayisəsi təsvir edilmişdir:



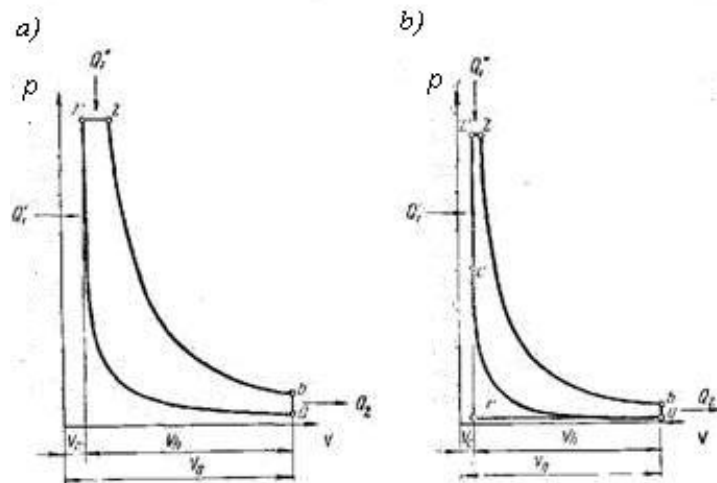
Şəkil 4.4. Dizel ideal sikli ilə sürətli yanma nəzəri siklinin diaqramlarının müqayisəsi:
a) ideal sikl; b) nəzəri sikl

Qarışıq yanma sikli. Şək. 4.5-də qarışıq yanma siklinin qrafiki təsviri göstərilmişdir. Burada ra – atmosfer şəraitində gedən doldurma, ac – adiabatik sıxma; cz' - sabit həcmdə yanma, cz – sabit təzyiqdə yanma, zb – adiabatik genişlənmə, ba – işlənmiş qazların sabit həcmdə, ar isə atmosfer şəraitində ətraf mühitə xaric olunması prosesidir.



Şəkil 4.5. Qarışıq yanma siklinin diaqramı

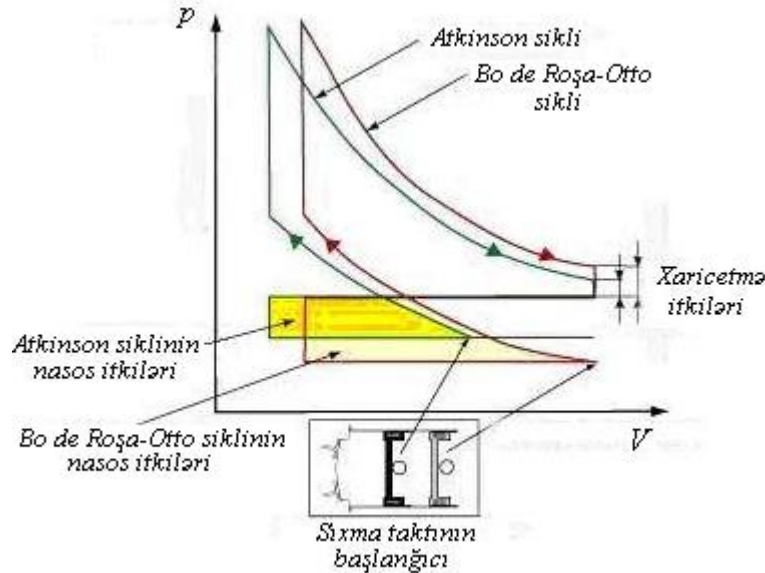
Şəkil 4.6-da Trinkler ideal sikli ilə qarışıq yanma nəzəri siklinin diaqramlarının müqayisəsi təsvir edilmişdir:



Şəkil 4.6. Trinkler ideal sikli ilə qarışıq yanma nəzəri siklinin diaqramlarının müqayisəsi:
a) ideal sikl; b) nəzəri sikl

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi üç əsas nəzəri sikldən başqa onların modifikasiyası kimi Atkinson və Miller siklləri də mövcuddur. Onları da nəzərdən keçirək

Atkinson sikli. Bo de Roşa-Otto ideal siklinin modifikasiya olunmuş forması kimi C. Atkinson tərəfindən təklif edilmişdir. Müəllif Otto ideal siklinə əsaslanan sürətli yanma sikli üzrə işləyən daxili yanma mühərrikində genişlənmə taktının dirsək-şatun mexanizminin mürəkkəbləşdirilməsi hesabına uzadılması ideyasını irəli sürmüşdü. Bu ideyaya görə porşen sıxma taktı zamanı genişlənmə taktına nisbətən daha sürətlə hərəkət etməlidir. Belə olduqda sıxma taktı genişlənmə taktından zaman etibarilə qısa alınır. Nəticədə Atkinson sikli ilə işləyən mühərrikin genişlənmə dərəcəsi həqiqi sıxma dərəcəsindən çox alındığından mühərrikin qənaətilik və ekoloji göstəriciləri xeyli yaxşı alınır. Lakin bunun üçün dirsəkli valın yüksək dövrlər sayının olması tələb olunurdu. Belə ki, aşağı dövrlər sayında mühərrikin burucu momenti hədsiz azaldığından o sənə bilirdi. Tələb olunan konstruktiv dəyişikliklər mühərrikin mexanikasını hədsiz mürəkkəbləşdirdiyindən Atkinson sikli üzrə işləyən mühərriklər XIX-XX əsrlərdə inkişaf tapa bilmədi. Lakin XXI əsrdə takt uzunluqlarının (və ya müddətlərinin) kompüter vasitəsilə tənzimlənməsi həyata keçirilməklə Atkinson siklinin nəqliyyat vasitələri mühərriklərində tətbiqi başlandı. Buna misal olaraq “Toyota Prius”, “Lexus HS 250h” və “Ford Fusion” minik avtomobillərində qoyulan mühərrikləri göstərmək olar. Şək.4.7-də Bo de Roşa-Otto və Atkinson sikllərinin p - V diaqramlarının müqayisəsi verilmişdir. Göründüyü kimi Atkinson nəzəri siklinin həm xaricətmə itkiləri, həm də nasos itkiləri Bo de



Şəkil 4.7. Otto və Atkinson sikllərinin p - V diaqramlarının müqayisəsi

Roşa-Otto siklindəkinə nisbətən xeyli az alınır. Bu səbəbdən adı çəkilən siklin f.i.ə da xeyli yüksək olur.

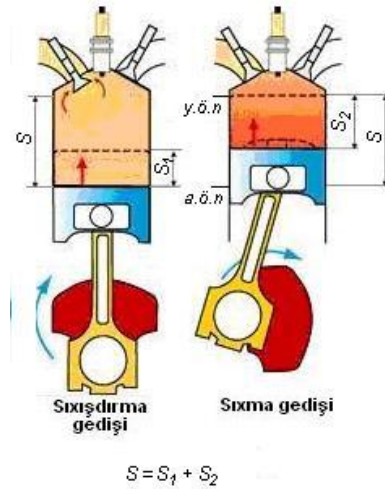
Miller sikli. Miller sikli də Bo de Roşa-Otto ideal siklinin modifikasiya olunmuş termodinamik sikl kimi Ralf.Miller tərəfindən təklif edilmişdir. 1947-ci ildə irəli sürdüyü ideyaya əsasən müəllif Atkinson siklinin üstünlüklərinin Bo de Roşa-Otto ideal siklinə əsaslanan sürətli yanma sikli üzrə işləyən daxili yanma mühərrikinin daha sadə konstruksiyaya malik dirsək-şatun mexanizminin köməyiylə əldə olunmasını nəzərdə tuturdu. R.Miller sıxma taktının sorma taktı hesabına genişlənmə taktından kiçik alınması ideyasını irəli sürdü. Özü də Miller siklində porşenin hər bir taktı Bo de Roşa-Otto siklinə əsaslanan sürətli yanma nəzəri sikli üzrə işləyən mühərrikdə olduğu kimi eyni sürətlə hərəkət etməsi nəzərdə tutulurdu.

Bu məqsədlə müəllif iki müxtəlif variant irəli sürürdü:

1) sorma klapanının sorma taktı başa çatmamış bağlanması (və ya sorma klapanının sorma taktı başladıqdan müəyyən qədər sonra açılması);

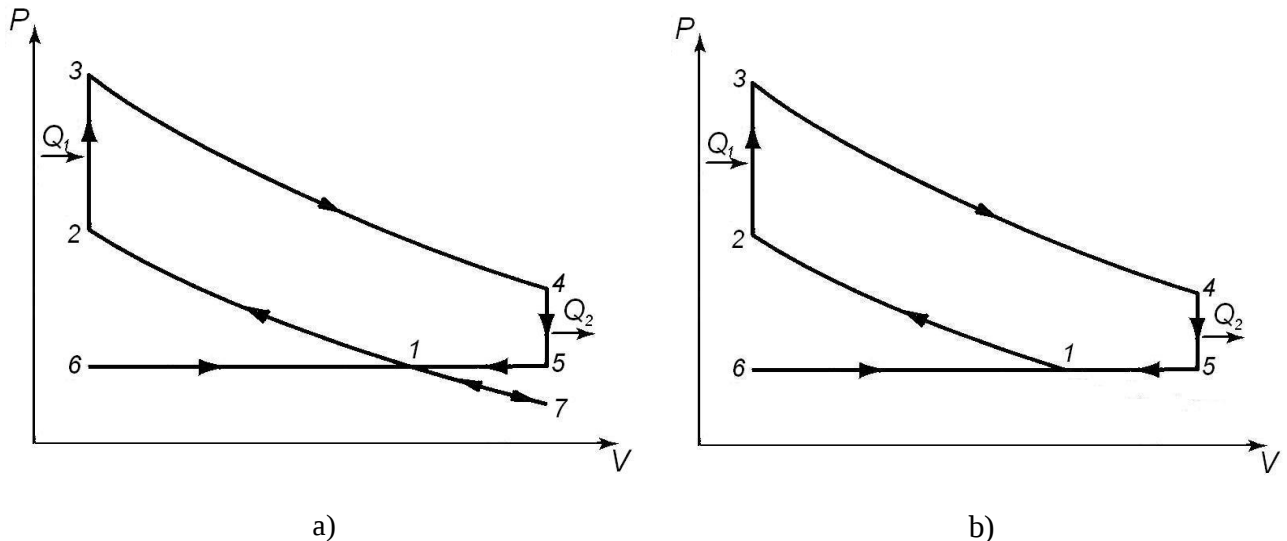
2) sorma klapanının sorma taktı başa çatdıqdan sonra bağlanması.

DYM nəzəriyyəsində birinci variant şərti olaraq “qısaldılmış sorma”, ikinci variant isə “qısaldılmış sıxma” adlanır. Son nəticədə hər iki variant eyni nəticə verir: işçi cismin faktiki sıxma dərəcəsi həndəsi sıxma dərəcəsiindən az alınır. Özü də bu zaman genişlənmə taktı (və ya işçi gediş) Bo de Roşa-Otto ideal siklindəki kimi dəyişməz olaraq qalır, sıxma taktı isə sıxma dərəcəsinə görə qısaldılmış olur (şəkil 4.8).



Şəkil 4.8. Miller siklində sıxma taktının gedişi

Şəkil 4.9-da hər iki variant üzrə Bo de Roşa-Otto ideal siklinin modifikasiya olunmuş forması olan Miller nəzəri siklinin p - V diaqramları göstərilmişdir. Şək.4.9a-da sorma klapanı vaxtından qabaq bağlanan,



Şəkil 4.9. Bo de Roşa-Otto ideal siklinə əsaslanan Miller termodinamiki siklinin p - V diaqramı:
a) sorma klapanı vaxtından qabaq bağlanan variant; b) sorma klapanı vaxtından gec bağlanan variant

şək.4.9b-də isə sorma klapanı vaxtından gec bağlanan Miller siklinin diaqramlarıdır.

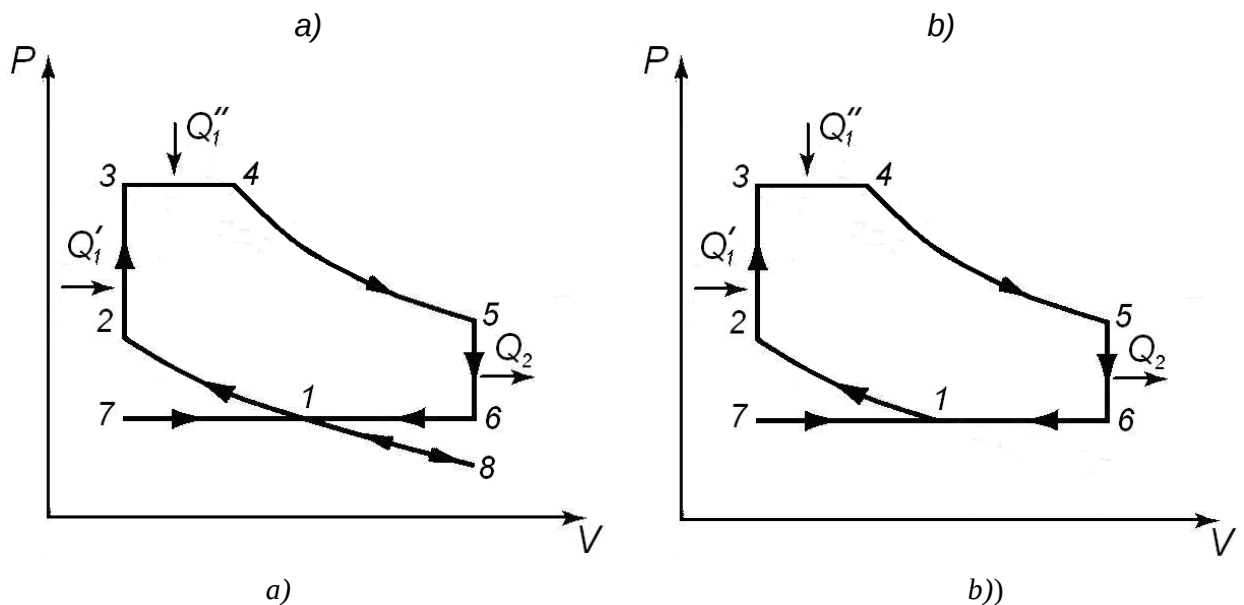
Şək.4.9a-da göstərilmiş diaqramda proseslər aşağıdakı ardıcılıqla baş verir: 6-1- sabit təzyiq şəraitində doldurma (və ya sorma) prosesi; 1-2 – sorma taktı üzrə sorma klapanının vaxtından qabaq bağlanması ilə əlaqədar baş verən adiabatik genişlənmə prosesi; 2-3 – sabit həcm şəraitində yanma prosesi; 3-4 – adiabatik genişlənmə prosesi; 4-5 – sabit həcm şəraitində soyuq mənbəyə istilik vermə; 5-6 – sabit təzyiqdə yanma məhsullarının xaric edilməsi prosesi

Şək.4.9b-də göstərilmiş diaqramda isə proseslər aşağıdakı ardıcılıqla baş verir: 6-5- sabit təzyiq şəraitində doldurma (və ya sorma) prosesi; 5-1-2 – həndəsi (1-2 – faktiki olmaqla) adiabatik sıxma prosesi; 2-3 – sabit həcm şəraitində yanma prosesi; 3-4 – adiabatik genişlənmə prosesi; 4-5 – sabit

həcm şəraitində soyuq mənbəyə istilik vermə; 5-6 – sabit təzyiqdə yanma məhsullarının xaric edilməsi prosesi.

Diaqramlardan göründüyü kimi hər iki variantda həqiqi sıxma taktının uzunluğu nəzəri sıxma və faktiki genişlənmə taktlarından qısa alınır. Lakin sıxma itkiləri nöqtəyi-nəzərindən ikinci variant daha sərfəli hesab edilir. Belə variantda sorma klapanının xeyli gec (1 nöqtəsi), sıxma taktının birinci yarısında bağlanması nəzərdə tutulur. Bu o deməkdir ki, sorma taktı ərzində silindrə dolmuş işçi cismin bir hissəsi sorma klapanı bağlanan ana qədər geriye - sorma borusuna sıxışdırılır və həqiqi sıxma prosesi 1-2 xətti üzrə gedir və Miller siklinə silindrə doldurulmuş işçi cisim Bo de Roşa-Otto siklinə əsaslanan sürətli yanma siklinə nisbətən az sıxılır. Bu, mühərrikin həndəsi sıxma dərəcəsini (eyni zamanda genişlənmə dərəcəsini) xeyli artırmağa imkan verir və nəticədə Miller siklinin termodinamik f.i.ə və orta təzyiqi müqayisə olunan Bo de Roşa-Otto siklindən yüksək alınır. Lakin Miller siklinin d.y.m-də tətbiqi eyni konstruktiv ölçülərdə nominal gücün müqayisə olunan Bo de Roşa-Otto siklindən az alınmasına gətirib çıxarır. Buna səbəb silindrin işçi cisimlə doldurulmasının pisləşməsidir. Bunu aradan qaldırmaq üçün Miller siklinin üstəlik üfurmə sistemi ilə birgə tətbiq edilməsi imkanından yararlanmaq olar (Mazda Xedos-9 markalı minik avtomobilində qoyulan Mazda V6 “Miller Cycle” mühərrikindəki kimi). Bundan başqa texnologiyanın müasir dövrdəki inkişafı qazpaylama fazalarının və klapanların qalxma hündürlüyünün ardıcıl və dinamik olaraq dəyişdirməyə imkan yaratdığından onların Miller sikli üzrə işləyən mühərriklərdə tətbiqi nominal gücün aşağı düşmə problemini həll etmək iqtidarındadır.

Son zamanlar Trinkler ideal siklinə əsaslanan Miller siklinin dizellərdə tətbiq olunmasına da başlanılıb. Şəkil 4.10-da bu tip Miller siklinin analoji təklif olunan variantları göstərilmişdir. Şəkil.



Şəkil 4.10. Trinkler ideal siklinə əsaslanan Miller siklinin p - V diaqramları:

- a) sorma klapanı erkən bağlanan Miller sikli; b) sorma klapanı gec bağlanan Miller sikli;
c) sorma klapanı erkən bağlanan Miller sikli; d) sorma klapanı gec bağlanan Miller sikli;

4.10a-da sorma klapanı vaxtından qabaq bağlanan, şəkl.4.10b-də isə sorma klapanı vaxtından gec bağlanan Miller siklinin diaqramlarıdır.

Şəkl.4.10a-da göstərilmiş diaqramda proseslər aşağıdakı ardıcılıqla baş verir: 1-2 - sabit təzyiq şəraitində doldurma (və ya sorma) prosesi; 2-3 – sorma taktı üzrə sorma klapanının vaxtından qabaq bağlanması ilə əlaqədar baş verən adiabatik genişlənmə prosesi; 3-2-4 – həndəsi (2-4 – faktiki olmaqla) adiabatik sıxma prosesi; 4-5 – sabit həcm şəraitində yanma prosesi; 5-6 – sabit təzyiq şəraitində yanma prosesi; 6-7 – adiabatik genişlənmə prosesi; 7-8 – sabit həcm şəraitində soyuq mənbəyə istilik vermə; 8-1 – sabit təzyiqdə yanma məhsullarının xaric edilməsi prosesi

Şək.4.10b-də göstərilmiş diaqramda isə proseslər aşağıdakı ardıcılıqla baş verir: 1-2 - sabit təzyiq şəraitində doldurma (və ya sorma) prosesi; 2-3-4 – həndəsi (3-4 – faktiki olmaqla) adiabatik sıxma prosesi; 4-5 – sabit həcm şəraitində yanma prosesi; 5-6 – sabit təzyiq şəraitində yanma prosesi; 6-7 – adiabatik genişlənmə prosesi; 7-8 – sabit həcm şəraitində soyuq mənbəyə istilik vermə; 8-1 – sabit təzyiqdə yanma məhsullarının xaric edilməsi prosesi

Göstərilən hal üçün də Miller sikli müqayisə olunan Trinkler siklinə nisbətən eyni üstünlüyə malikdir və yuxarıda qeyd olunan müxtəlif üsullarla Miller siklinin dizellərdə tətbiqi imkanı da geniş yayılmağa başlayıb.

Nəzəri siklin termodinamik f.i.ə və orta təzyiqi istilik hesabının köməyi ilə müəyyən edilə bilər. İstilik hesabı siklə verilən və soyuq mənbəyə qaytarılan istilik miqdarı, işçi cismin tərkibinin (yəni onun istilik tutumununun) qiymətləri nəzərə alınmaqla ümumi hesablama düsturlarına əsasən aparılır. Bu zaman şərti orta adiabat göstəricisi işçi cismin tərkibindən (α) asılı olan empirik ifadələrin köməyi ilə tapılır. Aparılan müvafiq hesablamalar göstərir ki, $\alpha=1$ olan hal üçün nəzəri siklin f.i.ə ideal siklin f.i.ə-na nisbətən 25÷30 % az olur. Bunu belə izah etmək olar: istifadə olunan işçi cismin (yəni real qazın) temperaturu artdıqca, istilik tutumu da artır. Son nəticədə istilik itkiləri artdığından siklin f.i.ə da azalır. Deyilənlər ancaq sürətli yanma nəzəri siklinə aid olur.

Tədrici və qarışıq yanma nəzəri sikllərində isə $\alpha>1$ və $\lambda>1$ olduğu üçün burada istifadə olunan işçi cisim ideal sikldəki işçi cisimdən, yəni havadan çox az fərqlənir. Nəticədə hər iki işçi cismin istilik tutumları bir-birindən azacıq fərqləndiyindən adları çəkilən nəzəri sikllərdə işçi cismin tərkibi ilə əlaqədar olan istilik itkiləri də az olur. Bu isə nəzəri sikllərin f.i.ə-nın müvafiq ideal sikllərin f.i.ə-na çox yaxın olacağını göstərir.

Yuxarıda deyilənlərdən görünür ki, nəzəri və ideal sikl göstəricilərini bir-birindən fərqləndirən əsas səbəb yanıcı qarışıqın tərkibi ilə müəyyən edilən adiabat göstəricisidir.

Məlumdur ki, real mühərrikin işi zamanı yanıcı qarışıqın tərkibi xeyli geniş hədlərdə dəyişir və bu dəyişilmə siklin göstəricilərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Müxtəlif tərkibli yanıcı qarışıqlar yandıqda alınan yanma məhsullarının tərkibi də müxtəlif olur. Bu səbəbdən nəzəri sikldə soyuq mənbəyə verilən istilik miqdarı (Q_2) uyğun temperatur fərqi, işçi cismin miqdarı və istilik tutumu ilə düz mütənasibdir. Deməli, istilik itkilərini azaltmaq üçün silindrdən xaric edilən qazların mümkün qədər az istilik tutumuna malik olması lazımdır.

Müxtəlif tərkibli yanma məhsullarının istilik tutumlarının müxtəlifliyi səbəbindən, nəzəri sikllər üçün aşağıdakı nəticələri çıxarmaq olar:

1) $\alpha>1$ tərkibli kasıb qarışıqlarla iş zamanı f.i.ə ən yüksək qiymət alır, çünki belə qarışıqların yanma məhsullarının istilik tutumu ən kiçikdir;

2) $\alpha=1$ tərkibli yanıcı qarışıqla iş zamanı alınan yanma məhsullarının istilik tutumu nisbətən böyük olduğundan siklin f.i.ə da az alınır;

3) $\alpha<1$ tərkibli yanıcı qarışıqla iş zamanı yanma məhsullarının istilik tutumu $\alpha=1$ halına nisbətən azdır və bu səbəbdən də f.i.ə nisbətən böyük olur.

Qeyd olunan nəticələrdən ilk ikisi real mühərriklərdə alınır. Üçüncü nəticə isə real mühərriklərdə özünü doğrultmur, çünki $\alpha<1$ olduqda yanma tam getmədiyindən istiliyin bir hissəsi ayrılma bilmir. Nəticədə həm Q_1 , həm də Q_2 istilikləri azaldığından siklin f.i.ə da azalır, hətta $\alpha=1$ halındakından da aşağı alınır.

Nəzərdən keçirilən bütün nəzəri sikllər üçün yanıcı qarışıq tərkibinin siklin f.i.ə-na təsiri doğrudur.

Ümumiyyətlə götürdükdə isə müasir dövrdə bütün dünyada istehsal olunan yerüstü nəqliyyat vasitələrinin mütləq əksəriyyətinin işçi prosesi yuxarıda şərh edilən Bo de Roşa-Otto, Trinkler, Atkinson və Miller termodinamik sikllərinə əsaslanır.

DYM ÜÇÜN YANACAQLAR VƏ ONLARIN XASSƏLƏRİ AVTOMOBİL BENZİNLERİ VƏ DİZEL YANACAQLARI

Mövcud istilik-energetik qurğularının hamısında olduğu kimi daxili yanma mühərriklərində də bərk, maye və qaz şəklində olan yanacaqlardan istifadə olunur. Avtonəqliyyat vasitələri və traktorlarda qoyulan d.y.m-də yalnız maye və qaz şəklində olan yanacaqlar işlədilir. Bu yanacaqlar isə əsas etibarilə xam neftdən alınır. Bu səbəbdən bütün dünya üzrə neft məhsullarından istifadənin yarından çoxu mühərrik yanacaqlarının payına düşür. Ehtimallara görə 2015-ci ildə bu pay 56%-dən çox təşkil edəcək.

Porşenli d.y.m-də maye şəklində olan yanacaqlardan əsas etibarilə **benzindən** və **dizel yanacağından** geniş istifadə olunur. Onlardan başqa bir sıra **spirtlər**, habelə raps, soya, yerfindiği, günəbaxan, portağal, evkalipt, pambıq kimi bitkilərin emalından alınan **yağlar** da mühərrik yanacağına qatqılar kimi işlədilir. Qaz şəklində olan yanacaqlardan ən geniş istifadə olunanları **təbii qaz** və **neft mənşəli qazlardır**. Neft emalı zavodlarında gedən texnoloji proseslər nəticəsində alınan **sənaye qazlarından** da mühərrik yanacağı kimi istifadə olunur. Bunlar neftin birbaşa emalından, termiki və katalitik krekinqindən, mazut və qudrunun koklaşmasından, benzinin pirolizindən və katalitik riforminqindən alınan qazlardır. Bitki və heyvan mənşəli məhsulların, habelə çirkab və kanalizasiya sularının emalından alınan **bioqazlar** da mühərrik yanacağı kimi işlədilir. Oduncaq tullantılarının, daş kömürün, yanar şistlərin və torfun termoqazogenerasiyasından alınan **generator qazlarından** da istifadə olunur.

Dizel mühərriklərində istifadə olunmaq üçün adi dizel yanacağına neftin emalının digər fraksiyalarını qatmaqla yeni yanacaqlar da almaq mümkündür. Dizel yanacağına neftin emalının nisbətən yüngül fraksiyaları qatıldıqda alınan yanacağa **geniş fraksiya tərkibli dizel yanacağı**, ağır fraksiyalar qatıldıqda isə **ağırlaşdırılmış fraksiya tərkibli dizel yanacağı** deyilir. Qatqı kimi neft emalının həm yüngül, həm də ağır fraksiyalarından istifadə olunduqda belə yanacaq **genişləndirilmiş fraksiya tərkibli dizel yanacağı** adlanır.

Benzinlər və dizel yanacaqları xam neftin emalı yolu ilə alınır. Onlar doymuş parafin karbohidrogenlərinin (alkanların) C_nH_{2n+2} (məs.: setan $C_{16}H_{34}$), açıq zəncirli doymamış karbohidrogenlərin (olefinlərin və ya alkenlərin) C_nH_{2n} (məs.: seten $C_{16}H_{32}$), halqavari molekul quruluşuna malik naften karbohidrogenlərinin (siklanların) C_nH_{2n} (məs.: siklopentan C_5H_{10}) və aromatik karbohidrogenlərin C_nH_{2n-6} (məs.: benzol C_6H_6) qarışığından ibarətdir. Burada alkan və siklanların miqdarı 80÷90 %-ə çatır.

D.y.m-nin yüksək güc və qənaətlilik, habelə minimal ekoloji göstəricilərinin təmin olunması üçün yanacaqlar aşağıdakı tələbatları ödəməlidirlər:

- etibarlı yanacaq verilişinin, habelə mühərrikin bütün iş rejimlərində və ətraf mühit şəraitinin geniş diapazonda dəyişməsi zamanı yüksək keyfiyyətli yanıcı qarışığın hazırlanmasının təmin olunması üçün optimal sıxlılığa, özlülüyə, sıxılma qabiliyyətinə, aşağı temperaturalarda vurulma qabiliyyətinə və digər xassilərə malik olmaq;

- ətraf mühitin qorunması nöqtəyi-nəzərindən yüksək ekoloji keyfiyyətlərə malik olmaq;
- mühərrikin etibarlı iş salınmasını və tam yanmanı təmin etmək;
- minimal qurum və korroziya cəhətdən aqressiv yanma məhsulları yaratma qabiliyyətinə malik olmaq;

- yüksək termiki stabilliyə və yaxşı yuyuculuq qabiliyyətinə malik olmaq;
- saxlanılma və nəqlənilmə zamanı öz xassələrini saxlamaq;
- tərkibində mexaniki qarışıqlar və suyun olmaması;
- yüksək yanğın və toksikoloji təhükəsizliyə malik olmaq, ucuz başa gəlmək, kütləvi istehsal imkanlarına malik olmaq.

Müxtəlif növ yanacaqların energetik qiymətlərinin müəyyən edilməsi üçün *şerti yanacaq* adlanan ifadədən istifadə olunur. Onun aşağı yanma istiliyi $H_u=29,33 \text{ MC/kq}$ qəbul edilmişdir.

Avtomobil benzinləri

Avtomobil benzinləri qaynama temperaturaları $35\div 205\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan karbohidrogenlərin qarışığından ibarətdir. Onların $\sim 25\%$ -ni rektifikasiya üsulu ilə birbaşa alınan benzin, $\sim 50\%$ -ni katalitik riforminq benzini, $\sim 10\%$ -ni katalitik krekinq benzini və bir sıra digər məhsullar təşkil edir. Rektifikasiya prosesində benzin neftin ən tez buxarlanan komponentləri şəklində alınır. Katalitik riforminq zamanı benzin aşağı oktanlı naften və parafin karbohidrogenlərinin aromatik karbohidrogenlərə çevrilməsi zamanı alınır. Katalitik krekinq zamanı benzin neftin yüksək molekullu birləşmələrinin katalizatorların köməyi ilə sürətlə yüngül komponentlərə ayrılması nəticəsində alınır.

Bütün dünyada benzin istehsalı daim artmaqdadır. Özü də etilsiz benzinlərin payı ümumi istehsalda durmadan artmaqdadır.

Respublikamızda hal-hazırda A-76, A-92, Aİ-93, Aİ-95 və Aİ-98 markalı avtomobil benzinləri istehsal edilir. Benzin markalarındakı A hərfi onun məhz avtomobil benzini olduğunu, rəqəm həmin benzinin oktan ədədinin motor üsulu ilə, ikinci hərflər isə oktan ədədinin tədqiqat üsulu ilə müəyyən edildiyini göstərir. Buxarlanma qabiliyyətinə görə benzinlər yay və qış benzinlərinə ayrılır.

Oktan ədədi benzinin əsas xarakteristikası olub, izooktanın (C_8H_{18}) adı ilə bağlıdır. İzooktan, detonasiyaya davamlılığı yüksək olan (şərti olaraq onun oktan ədədi 100 vahid qəbul edilir) yanacaqdır. Ona görə də maye yanacaqların detonasiyaya davamlılığı izooktanla müqayisə olunur. Detonasiyaya davamlılığı ən aşağı olan *n*-heptanın (C_7H_{16}) oktan ədədi isə sıfır götürülür. *Yanacağın oktan ədədi, detonasiyaya davamlılığına görə onunla eyni olan izooktan-heptan etalon qarışığındakı izooktanın faizlə miqdarına deyilir.*

Avtomobil benzinlərinin və digər yanacaqların oktan ədədi laboratoriya şəraitində dövlət standartlarına uyğun olaraq motor və tədqiqat üsulları ilə təyin edilir. Bu məqsədlə Rusuya istehsalı olan YİT-65 və YİT-85 markalı bir silindrlı motor qurğusundan istifadə olunur. Motor üsulu ilə təyin edilən oktan ədədini qısaca olaraq OƏM, tədqiqat üsulu ilə təyin edilən oktan ədədini isə OƏT adlandıraraq. Motor üsulu ilə təyin edilən OƏM əsasən nəqliyyat vasitələrinin yüksək istilik rejimi şəraitində istismarı zamanı yanacağın detonasiyaya davamlılığını xarakterizə edir. Tədqiqat üsulu ilə təyin edilən OƏT isə nəqliyyat vasitələrinin şəhər şəraitində işi zamanı aralıq yük rejimlərində yanacağın detonasiyaya davamlılığını xarakterizə edir. Bu səbəbdən OƏM həmişə OƏT-dan kiçik alınır. OƏT ilə OƏM arasındakı fərq *benzinin həssaslığı* adlanır. Bu parametr benzinin kimyəvi tərkibindən asılı olub, onun detonasiyaya davamlılığının mühərrikin iş rejimindən asılılığını göstərir. Müasir və perspektiv benzin növlərinin həssaslığı $8\div 12$ vahid arasındadır. Mühərrik şəraitində benzinin detonasiyaya davamlılığı isə $O\dot{E}T_{\max}$ -la $O\dot{E}M_{\min}$ arasında olur.

Benzinin detonasiyaya davamlılığına olan tələbatlar mühərrikin konstruktiv parametrlərindən asılıdır. Onların arasında müəyyən edici rolunu sıxma dərəcəsi (ϵ) və silindrin diametri (D) oynayır. Detonasiyasız işi təmin edən OƏT ilə sıxma dərəcəsi və silindrin diametri arasında aşağıdakı empirik asılılıq da mövcuddur:

$$O\dot{E}T=125,4-413/\epsilon+0,183D$$

Benzinin detonasiyaya davamlılığı onun istehsal üsulundan və karbohidrogen tərkibindən asılıdır. Tərkibi əsasən parafin və naften karbohidrogenlərindən ibarət olan benzinlər detonasiyaya daha çox meyllidir. Aromatik karbohidrogenlər isə, əksinə, benzinin detonasiyaya davamlılığını artırır. Katalitik krekinq üsulu ilə istehsal olunan benzinlərin oktan ədədi nisbətən böyük olur. Bu da onunla izah olunur ki, həmin benzinlərin tərkibində çoxlu miqdarda detonasiyaya davamlı aromatik birləşmələr və izoalkanlar var.

Yüksək oktan ədədinə malik benzinlərin istehsalı zamanı *alkilbenzin*, *izooktan*, *izopentan* və s. kimi yüksək oktanlı birləşmələrdən və *metiltretbutil efiri*, onun tretbutanolla qarışığı olan *feterol* və s. kimi tərkibində oksigen olan birləşmələrdən istifadə olunur.

Benzinlərə “antidetonaor” adlanan xüsusi maddələr – *aşqarlar* qatmaqla da onların detonasiyaya davamlılığını artırmaq olar. Aşqar kimi tetraetilqurğuşun, tetrafenilqurğuşun, metallokarbonatlar, alkilhalogenlər və s. tətbiq olunur. Bunlardan tetraetilqurğuşun [$Pb(C_2H_5)_4$] - TEQ toksikliyi (zəhərliliyi) daha yüksəkdir. Bu səbəbdən etil mayesi qatılmış benzinləri rəngləyirlər (məs.: A-76 benzini sarı, A-92 benzini isə narıncı-qırmızı rəngə boyanır). Hal-hazırda əksər ölkələrdə tərkibinə etil

mayesi (TEQ) qatılmış benzinlərin istehsalı qadağan edilib. Aİ-93, Aİ-95 və Aİ-98 markalı benzinlərin istehsalı zamanı alkilqurğuşunlu antidetonatorlardan istifadəyə də icazə verilmir.

Ümumilikdə yanacaqların, o cümlədən avtomobil benzinlərinin xassələrini iki qrupa bölmək olar:

- fiziki-kimyəvi xassələr;
- istismar xassələri.

Benzinin tərkib və halını xarakterizə edən xassələrinə onun *fiziki-kimyəvi xassələri* deyilir. Fiziki-kimyəvi xassələrə benzinin elementar tərkibi, yanma istiliyi, 1 kq benzinin yanması üçün nəzəri tələb olunan havanın miqdarı, sıxlığı, özlülüyü, sıxılma qabiliyyəti, səthi gərilməsi, kimyəvi və fraksiya tərkibi və s. aiddir.

Maye yanacaqların, o cümlədən benzinin elementar tərkibi yanacaqda ayrı-ayrı kimyəvi elementlərin kütlə payları və ya faizlə kütlə miqdarı ilə xarakterizə olunur. Ayrı-ayrı kimyəvi elementlərin kütlə paylarının cəmi:

$$C+H+O+S+N=1 \text{ (və ya } 100 \%),$$

burada C, H, O, S və N – müvafiq olaraq karbonun, hidrogenin, oksigenin, kükürdün və azotun kütləcə paylarıdır.

Neftin və neft məhsullarının elementar tərkibi cədv. 5.1-də göstərilmişdir.

Cədvəl 5.1

Yanacaqlar	Kütlə payı, %-lə					Sıxlıq, kq/m ³	Aşağı yanma istiliyi, kC/kq
	C	H	O	S	N		
Neft	79÷77	10÷12,5	0,1÷1,5	0,1÷5	1	800÷950	41900
Benzin	85,5	14,5	-	(< 0,1)	-	700÷760	43000÷44000
Kerosin	86	13,5	0,5	(< 0,2)	-	730÷820	43000
Dizel yanacağı	87	12÷12,5	0,5	0,2÷0,5	-	740÷870	41900
Mazut	84÷89	10÷11	0,5	1÷4	1	880÷1015	40000÷41500

1 kq yanacağın yanması zamanı ayrılan istiliyin miqdarına yanacağın yanma istiliyi deyilir. Yanma istiliyi yanacağın yanması və yanma məhsullarının soyudulması şəraitindən asılıdır. Bu şəraitlərdən asılı olaraq yanacağın aşağı və yuxarı yanma istilikləri, habelə sabit həcmdə və sabit təzyiqdə yanma istilikləri fərqləndirilir.

Yanacağın yanması zamanı alınan yanma məhsulları arasında buxar şəklində olan su da var. Yanma məhsullarının suyun kondensasiya olunması temperaturuna qədər soyudulması zamanı yanma məhsullarındakı hər 1 kq buxardan 2500 kC istilik ayrılır. Maye yanacağın yanma məhsullarının tərkibindəki su buxarının kütlə miqdarı aşağıdakı kimi tapılır:

$$M_{H_2O} = 9H + W, \quad \frac{kq H_2O}{kq \text{ yanacaq}},$$

burada W – yanacağın tərkibindəki suyun kütlə miqdarıdır. M_{H_2O} miqdarda olan su buxarının kondensasiyası zamanı ayrılan istiliyin miqdarı:

$$Q_{H_2O} = 2500(9H + W), \quad \frac{kC}{kq}.$$

1 kq yanacağın yanması zamanı, yanma məhsullarından olan su buxarının kondensasiyasından ayrılan istilik də nəzərə alınmaqla, alınan istiliyə *yuxarı yanma istiliyi* deyilir və bu parametrlər H_0 kimi işarə edilir.

İstilik-energetik qurğularında, o cümlədən porşenli d.y.m-də yandırılan yanacağın yanma məhsulları mühərrikin silindrindən su buxarının kondensasiya temperaturundan xeyli yüksək temperaturda xaric edilir. Bu səbəbdən mühərrikin istilik hesabında *aşağı yanma istiliyi* adlanan parametrdən istifadə olunur. 1 kq yanacağın yanması zamanı, yanma məhsullarından olan su buxarının kondensasiyasından ayrılan istilik istisna olunmaqla, alınan istiliyə aşağı yanma istiliyi deyilir və bu parametrlər H_u kimi işarə edilir.

Maye yanacaqların, o cümlədən benzinin yuxarı və aşağı yanma istilikləri arasında aşağıdakı əlaqə mövcuddur:

$$H_0 = H_u + 2500(9H + W), \quad \frac{kC}{kq}.$$

İstənilən maye yanacağın, o cümlədən benzinin aşağı yanma istiliyi D.İ.Mendeleyev düsturunun köməyi ilə tapıla bilər:

$$H_u = 34,013C + 125,6H - 10,89(O - S) - 2,51(9H + W), \quad MC/kq$$

Cədvəl 5.2-də bəzi maye yanacaqların yuxarı və aşağı yanma istilikləri, habelə onların nisbətləri göstərilmişdir.

Cədvəl 5.2.

Yanacaq	Nəmliyin kütlə payı, %	Yanma istiliyi, kC/kq		H_0/H_u
		H_0	H_u	
Benzin	-	47310	43960	1,08
Kerosin	-	46270	43130	1,07
Mazut	3	43130	40610	1,06

Yanma məhsullarının sabit təzyiq şəraitində yanacaq-hava qarışığının başlanğıc temperaturuna qədər soyudulması zamanı verdiyi istiliyə *sabit təzyiqdə yanma istiliyi* deyilir və bu istilik H_p kimi işarə edilir.

Yanma məhsullarının sabit həcm şəraitində yanacaq-hava qarışığının başlanğıc temperaturuna qədər soyudulması zamanı verdiyi istiliyə *sabit həcmdə yanma istiliyi* deyilir və bu istilik H_v kimi işarə edilir. Onlar arasında aşağıdakı əlaqə mövcuddur:

$$H_p = H_v + p(V_s - V_b) \cdot 10^{-3}, \quad kC/kq,$$

burada p – yanma prosesinin baş verdiyi təzyiqdir, N/m^2 ; V_s – yanma məhsullarının son həcmidir, m^3 ; V_b – yanacaq-hava qarışığının başlanğıc həcmidir, m^3 .

1 kq maye yanacağın, o cümlədən benzinin tam yanması üçün tələb olunan havanın nəzəri miqdarı yanacağın elementar tərkibinə görə aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$L_0 = \frac{1}{0,209} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right), \quad \frac{kmol \text{ hava}}{kq \text{ yanacaq}},$$

və ya

$$l_0 = \frac{1}{0,232} \left(\frac{8}{3}C + 8H - O \right), \quad \frac{kq \text{ hava}}{kq \text{ yanacaq}}.$$

Burada 0,209 və 0,232 – müvafiq olaraq oksigenin havadakı həcmcə və kütləcə miqdarıdır.

Yanacağın sıxlığı və səthi gərilməsi onun tozlanma keyfiyyətinə, yanıcı qarışığın hazırlanması və yanma proseslərinə təsir göstərir. Yanacağın sıxlığı onun növündən və tərkibindən asılı olur. Sıxlıq yanacağın aşağı yanma istiliyi, buxarlanma və alışma qabiliyyətləri ilə də qarşılıqlı surətdə əlaqədardır.

Yanacağın sıxılma qabiliyyəti *sıxılma əmsalı* ilə qiymətləndirilir. Təzyiqin 1 MPa dəyişməsi nəticəsində həcmnin nisbi dəyişməsinə *sıxılma əmsalı* deyilir:

$$\alpha_s = \Delta V / (V \Delta p).$$

Sıxlıq kimi sıxılma qabiliyyəti də birbaşa təzyiqdən asılıdır. Təzyiq artdıqca, yanacağın sıxılma qabiliyyəti azalır.

Yanacağın özlülüüyü onun daxili sürtünməsini xarakterizə edir. O, dinamiki və kinematik özlülük vahidləri ilə ölçülür.

Dinamiki özlülük əmsalının mühitin sıxlığına olan nisbəti kinematik özlülük adlanır:

$$\nu_t = \eta_t / \rho_t,$$

burada ν_t – mayenin t °C temperaturunda kinematik özlülüydür, *stoks (st)* ($1 \text{ st} = 1 \text{ sm}^2/\text{s}$) və ya *santstoks (sst)* ($1 \text{ sst} = 0,01 \text{ sm}^2/\text{s}$, yəni $1 \text{ st} = 100 \text{ sst}$); η_t – mayenin t °C temperaturunda dinamik özlülüydür, *puaz* [$1 \text{ puaz} = 1 \text{ q}/(\text{sm} \cdot \text{s})$] və ya $N \cdot \text{s}/m^2$; ρ_t – mühitin sıxlığıdır, kq/m^3 .

Təcrübələr göstərir ki, yanacağın sıxlığı və özlülüüyü temperatur artdıqca, azalır. Özü də özlülük daha sürətlə azalır. Özlülüyn artması isə yanacaq məşəlindəki yanacaq damcıları ölçülərinin biri-birindən kəskin fərqlənməsinə səbəb olur. Bu isə tozlanma keyfiyyətinin pisləşməsi deməkdir.

Səthi gərilmə yanacağın mikrohissəcikləri arasındakı cazibə qüvvələrinin dəf edilməsi üçün tələb olunan mayenin vahid səthinin yaradılmasına sərf olunan işlə xarakterizə olunur. Səthi gərilmə artdıqca, yanacağın tozlanma keyfiyyəti pisləşir. Qeyd edək ki, temperaturun artması səthi gərilməni azaldığından, səthi gərilmə qüvvəsi yüksək olan yanacaqların sürətlə buxarlandırılması üçün ya yanacağın, ya da yanıcı qarışığın qızdırılması məqsədəuyğun hesab edilir.

Benzinin d.y.m-nin etibarlı işini, tələb olunan energetik, qənaətlilik və ekoloji göstəricilərini təmin edən xassələrinə onun *istismar xassələri* deyilir. İstismar xassələrinə benzinin buxarlanma qabiliyyəti, detonasiyaya davamlılığı, işəsalma qabiliyyəti, aşağı temperatur xassələri, alışma qabiliyyəti və s. aiddir.

Ən əsas istismar xassələrindən biri benzinin buxarlanma qabiliyyətidir. Buxarlanma qabiliyyəti yanacağın sıxlığı, fraksiya tərkibi və doymuş buxarların təzyiqi ilə müəyyən edilir. Buxarlanma qabiliyyəti aşağı temperaturdakı alışma xassələrinə, yanacaqvermə sistemində buxar tıxaclarının yaranma meylliliyinə, mühərrikin qızdırılma sürətinə və qəbuletmə qabiliyyətinə təsir edir.

Benzinin buxarlanma qabiliyyəti onun fraksiya tərkibinin aşağıdakı xarakterik temperatur nöqtələrinə görə qiymətləndirilir:

1. Buxarlanmanın başlanğıc temperaturu – t_b , °C;
2. 10 %-in buxarlanma temperaturu – $t_{10\%}$, °C;
3. 50 %-in buxarlanma temperaturu – $t_{50\%}$, °C;
4. 90 %-in buxarlanma temperaturu – $t_{90\%}$, °C;
5. Buxarlanmanın qurtardığı temperatur t_s , °C;

Benzinin fraksiya tərkibinin xarakterik temperaturları mühərrikin iş prosesinə əsaslı surətdə təsir edir.

t_b və $t_{10\%}$ temperaturları benzinin mühərriki işəsalma xassəsini göstərir. Benzinin tərkibində tez buxarlanan yüngül komponentlər çox olduqda, t_b və $t_{10\%}$ temperaturları aşağı olur və mühərrikin işə salınması xeyli asanlaşır. t_b və $t_{10\%}$ temperaturları yüksək olduqda isə benzin çətin buxarlanır və mühərrikin işəsalınması çətinləşir.

Benzinin $t_{50\%}$, $t_{90\%}$, və t_s temperaturlarının aşağı olması isə mühərrikin istismarını yaxşılaşdırır. Benzin asan buxarlandığı üçün mühərrik işə salındıqdan sonra daha tez qızdırıla bilər. Mühərrikin tez qızdırılması, yüksək qəbuletmə qabiliyyətinin və qənaətliliyinin olması üçün benzinin 50 %-nin qaynama temperaturu $t_{50\%} \approx 100 \div 115$ °C, 90 %-nin qaynama temperaturu isə $t_{90\%} \approx 160 \div 180$ °C hədlərindən yüksək olmamalıdır. Təcrübələr göstərir ki, benzinin asan buxarlanması üçün fraksiya tərkibinin həddindən artıq yüngülləşdirilməsi məqsədəuyğun deyil. Çünki, çox yüngül benzinlə işlədikdə buxarlanma sürətlə gedir. Bu səbəbdən yanacaq borularında buxar tıxacının yaranma ehtimalı artdığından mühərrikə yanacağın fasiləsiz verilməsinə də maneçilik yaranar. Həmçinin benzinin buxarlanma itkisi də çoxalır. Məhz deyilənlərə görə benzinlər ilin fəslinə görə növləşdirilir. Belə ki, qışda yüngül, tez buxarlanan, yayda isə nisbətən ağır və pis buxarlanan benzindən istifadə olunur.

Benzinin buxarlanma keyfiyyəti onun doymuş buxarlarının təzyiqi ilə də əlaqədardır. Doymuş buxarların təzyiqi aşağı olduqda, onun buxarları çox tez mayeləşə bildiyindən benzinin mühərriki işəsalma qabiliyyəti pisləşir.

$t_{10\%}$ temperaturu aşağı və doymuş buxarlarının təzyiqi yüksək olan benzinlər mühərrikin qışda asanlıqla işə salınmasını təmin edir. Buna görə də qış benzinlərində doymuş buxarların təzyiqi nisbətən yüksək olur.

Mühərrikin istismar müddətində onun yanma kamerinin səthinə, porşenin dib səthinə, alışdırma şamlarının elektrodları və klapanlar üzərinə qurum yığılır. Bu isə mühərrikin istismar göstəricilərini pisləşdirir, vaxtından qabaq alışma və detonasiyalı yanma üçün şərait yaradır. Yığılan qurumun miqdarı benzinin kimyəvi tərkibindən, onun istehsal üsulundan, habelə mühərrikin iş rejimindən asılı olur. Benzinin tərkibindəki aromatik və kükürlü birləşmələr artdıqca, onun qurum əmələ gətirmə qabiliyyəti də artır. Fraksiya tərkibinin də təsiri az deyil. Belə ki, benzinin buxarlanmasının son temperaturu t_s azaldıqca, qurum törətmə də azalır.

Mühərrikin yüksüz iş və orta güc rejimlərində işi zamanı daha çox qurum yaranır, güc və sürət rejimləri böyüdükcə isə yaranmış qurumun xeyli hissəsi yana bilir.

Benzinin tərkibindəki qeyri-üzvi birləşmələr – suda həll olan turşular, qələvilər və s. metal hissələrin korroziyasına səbəb olur. Ən çox korroziya təsirinə isə kükürlü birləşmələr malikdir. Bu səbəbdən istehsal olunan benzin növlərində olan kükürlü birləşmələrin miqdarına məhdudiyyətlər qoyulur.

Son zamanlar məcburi alışdırılmalı daxili yanma mühərriklərinin xaric qazlarının zəhərliyi azaltmaq məqsədilə modifikasiya edilmiş benzinlərin tətbiqinə başlanılıb. Belə benzinlərin standart benzin növlərindən əsas fərqi onların tərkibinə əlavə edilmiş oksigen tərkibli komponentlər – tretamilmetil və metiltretbutil efirləri kimi oksigenatlardır. Bu tip benzinlərin tərkibində olan ağır aromatik karbohidrogen və olefinlərin, habelə benzolun, kükürdün və s. miqdarına da ciddi məhdudiyyətlər qoyulur.

Cədvəl 5.3-də əsas benzin növlərinin keyfiyyət göstəricilərinə göstərilən tələblər verilmişdir.

Cədvəl 5.3.

Göstəricilər	A-76 (etil mayesiz)	A-76 (etil mayeli)	AI-93(etil mayeli)	AI-93(etil mayesiz)
Oktan ədədi:				
- OƏM:	76	76	85	85
- OƏT:	-	-	93	95
Fraksiya tərkibi:				
- t_b , °C (ən çoxu):	35	35	35	30
- $t_{10\%}$, °C (ən çoxu):	70	70	70	75
- $t_{50\%}$, °C (ən çoxu):	115	115	115	120
- $t_{90\%}$, °C (ən çoxu):	180	180	180	180
- t_b , °C (ən çoxu):	195	195	205	205
Benzinin doymuş buxarlarının təzyiqi, kPa (ən çoxu)	66,7	66,7	66,7	66,7
Kükürdün kütlə miqdarı, % (ən çoxu)	0,1	0,1	0,1	0,1
Rəngi	-	Sarı	-	-

Cədvəl 5.4-də isə əsas benzin növlərinin fiziki-kimyəvi xarakteristikalarının qiymətləri göstərilmişdir.

Cədvəl 5.4

Göstəricilər	Benzin növləri			
	A-76	AI-93 (A-92)	AI-95*	AI-98**
Molekulyar kütlə, kq/kmol	106	110	110	115
Aşağı yanma istiliyi, MC/kq	44,0	43,3	42,9	43,0
Element tərkibi:				
- C:	0,855	0,865	0,864	0,87
- H:	0,145	0,135	0,133	0,13
- O:	-	-	0,0133	-
Sıxlıq, $t=20$ °C-də, kq/m ³	784	755	765	725
Buxarlanma istiliyi, p=0,1 MPa-da, kC/kq	295	305	300	300
Səthi gərilmə əmsalı (σ), $t=20$ °C-də, N/m	$\sigma=50\rho-15,0$			-
Maye yanacağın istilik tutumu, $t=20$ °C-də, kC/kq	$c = 1,69\sqrt{\rho}$			

* - katalitik riforminq benzini; ** - termiki krekinq benzini.

Dizel yanacaqları

Dizel mühərriklərində işlədilən yanacaqlar əsasən neft emalının ağır məhsulları hesab olunur. Avtomobil və traktor dizelləri üçün yanacaqlar isə neftin birbaşa distillə yolu ilə emalının hidrotəmizlənmiş fraksiyalarına katalitik krekinq nəticəsində alınan yüngül qazoylun əlavə edilməsi yolu ilə istehsal olunur.

Dizel yanacaqları aşağıdakı karbihidrogen qruplarından ibarət ola bilər:

- normal parafin karbohidrogenləri - 5÷30 %;

- izoparafin karbohidrogenləri - 18÷46 %;
- narten karbohidrogenləri - 23÷60 %;
- aromatik karbohidrogenlər - 14÷35 %.

Dizel yanacağına qoyulan əsas tələbatlar isə aşağıdakılardır:

- yaxşı tozlanma, yanıcı qarışıq hazırlama, buxarlanma, vurulma və tez özüləşmə qabiliyyətlərinə malik olmaq;
- tüstüləmədən tam yanmaq;
- klapanların və porşenin səthində minimum qurum və lak əmələ gətirmə qabiliyyətinə malik olmaq;
- tozlandırıcının kokslaşmasına, tozlandırıcının iynəsinin asılı vəziyyətə düşməsinə, çən və müxtəlif tutumların, habelə mühərrikin müxtəlif hissələrinin korroziyaya uğramasına maksimum səbəbkar olmamaq.

Hal-hazırda müasir standartlara uyğun olaraq üç növ dizel yanacağı istehsal edilir:

- «ДЛ» - yay dizel yanacağı. Bu yanacağın ətraf mühit temperaturunun 0°C və ondan yuxarı olan şəraitdə işlədilməsi nəzərdə tutulur. «ДЛ» yanacağının son qaynama temperaturu $t_{s,q} \leq 360^{\circ}\text{C}$ olur.
- «ДЗ» - qış dizel yanacağı. Bu yanacağın ətraf mühit temperaturunun -30°C və ondan yuxarı olan şəraitdə işlədilməsi nəzərdə tutulur. Belə yanacağın donma temperaturu $t_d \leq -45^{\circ}\text{C}$, son qaynama temperaturu $t_{s,q} \leq 340^{\circ}\text{C}$ olur.
- «ДА» - arktika dizel yanacağı. Bu yanacağın ətraf mühit temperaturunun -50°C və ondan yuxarı olan şəraitdə işlədilməsi nəzərdə tutulur. Belə yanacağın donma temperaturu $t_d \leq -60^{\circ}\text{C}$, son qaynama temperaturu $t_{s,q} \leq 330^{\circ}\text{C}$ olur.

Adı çəkilən dizel yanacaqlarının bu və ya digər keyfiyyət göstəricilərinə göstərilən tələblər cədvəl 5.5-də göstərilmişdir.

Cədvəl 5.5

Göstəricilər	Dizel yanacağı növləri		
	ДЛ	ДЗ	ДА
Setan ədədi, ən azı	45	45	45
Fraksiya tərkibi:			
- $t_{50\%},^{\circ}\text{C}$ (ən çoxu):	280	280	255
- $t_{90\%},^{\circ}\text{C}$ (ən çoxu):	360	340	330
Kinematik özlülük, 20°C -də, mm^2/s	3÷6	1,8÷5	1,5÷4
Donma temperaturu (ən azı), $^{\circ}\text{C}$	- 10	- 45	- 60
Bulanlıqlaşma (və ya qatılaşma) temperaturu (ən azı), $^{\circ}\text{C}$	- 5	- 25	- 45
Kükürdün kütlə miqdarı (ən çoxu), %	0,2	0,2	0,2
Sıxlığı (ən çoxu), 20°C -də, kg/m^3	860	840	830

Dizel yanacağının əsas istismar göstəriciləri aşağıdakılardır:

- **setan ədədi.** Bu göstərici mühərrikin güc və qənaətlilik göstəricilərinə birbaşa təsir edir.
- **sıxlıq və özlülük.** Bu göstəricilər normal yanacaq verilişini, onun yanma kamerasına optimal tozlandırılmasını və yanacaq süzgəclərinin iş qabiliyyətini müəyyən edir.
- **buxarlanma qabiliyyəti və fraksiya tərkibi.** Bu göstərici yanma prosesinin tam getməsinə, xaric qazların tüstülülüyünə və zəhərliliyinə təsir göstərir.
- **aşağı temperatur xassələri.** Bu xassələr yanacaqda qida sisteminin ətraf mühitin mənfi temperaturları şəraitində işini müəyyən edir.
- **özüləşmə qabiliyyəti və temperaturu.**
- **alışma temperaturu.** Bu göstərici yanacağın mühərrikdə istifadə olunmasının təhlükəsizlik şərtlərini müəyyənləşdirir.
- **vurulma (sıxılma) qabiliyyəti.**
- **korroziya xassələri.**
- **təmizlik dərəcəsi.** Bu göstərici kobud və zərif yanacaq süzgəclərinin işinin etibarlılığını müəyyən edir.
- **qurum əmələ gətirməyə meyillilik.**
- **su və mexaniki qarışıqlar.**

Dizel yanacağıının özülüşmə qabiliyyəti setan ədədi ($S\Theta$) ilə qiymətləndirilir. Yanacağın setan ədədi, həmin yanacağı etalon qarışığının özülüşmə xassəsi ilə müqayisə etməklə təyin edilir. Etalon qarışıq asan özülüşən setandan ($C_{16}H_{34}$) və çətin özülüşən aromatik karbohidrogenlər sırasının nümayəndəsi olan α -metilnaftalindən ($C_{11}H_{10}$) düzəldilir. α -metilnaftalinin setan ədədi 0 (sıfır), setanındakı isə 100 qəbul olunmuşdur. Etalon qarışığının tərkibindəki həmin birləşmələri müxtəlif nisbətlərdə götürməklə, setan ədədinin 0÷100 qiymətlərini almaq olar. Sınanan yanacaq özülüşmə xassəsinə görə götürülmüş etalon qarışıqla eyni olduqda, qarışığının tərkibindəki setanın faizi yoxlanılan yanacağın setan ədədi hesab edilir.

Müasir dizel mühərriklərində istifadə edilən yanacağın setan ədədi 45÷55 hədlərində olur. Setan ədədi aşağıdakı üç üsulla təyin edilə bilər:

- kritik sıxma dərəcəsi üsulu;
- özülüşmənin gecikmə müddətini təyin etmə üsulu;
- alışmaların eyni momentə salınması üsulu.

Hər üç üsulla sınaq işləri laboratoriya şəraitində, sıxma dərəcəsi dəyişdirilə bilən xüsusi bir silindri dizel mühərriki qurğusunda (VIT-85 və ya IT9-3M qurğuları) aparılır. Yanacaqların setan ədədinin əsas təyin edilmə üsulu isə alışmaların eyni momentə salınması üsuludur. Bu üsulla sınaq vaxtı mühərrik qurğusunun sıxma dərəcəsi elə seçilir ki, özülüşmənin gecikmə bucağı əvvəlcədən qurğunun pasport verilənləri tərəfindən müəyyən olunan qiymətində aparılır. Sonra elə tərkibli etalon qarışıq seçilir ki, eyni sıxma dərəcəsində və eyni gecikmə bucağı ilə özülüşmə baş versin. Bu zaman etalon qarışıqdakı setanın %-lə miqdarı sınanan yanacağın setan ədədi olur.

Setan ədədinin hesablama metodu ilə müəyyən edilmə üsulları da mövcuddur. Ətraf mühitin 15 °C temperaturunda yanacağın sıxlığının (ρ , q/sm^3-la) və 50 %-in buxarlanma temperaturunun ($t_{50\%}$, °C ilə) qiymətlərinə görə setan ədədi aşağıdakı ifadə ilə tapıla bilər:

$$S\Theta T = 454,74 - 1641,41\rho + 774,74\rho^2 - 0,554t_{50\%} + 97,803(\lg t_{50\%})^2,$$

burada «ДЛ» yanacağı üçün $\rho=0,86 q/sm^3$ və $t_{50\%}=280$ °C götürülür.

Yanacağın karbohidrogen tərkibi məlum olduqda isə digər ifadə tətbiq edilə bilər:

$$S\Theta = 0,85P + 0,1N - 0,2A,$$

burada P, N, A – müvafiq olaraq parafin, naften və aromatik karbohidrogenlərin tərkibdəki miqdarıdır.

Yüksək setan ədədinə malik yanacaqların detonasıyaya davamlılığı aşağı olur:

$$S\Theta \approx 60 - O\Theta M/2.$$

Dizel yanacağı ilə benzin qarışığının setan ədədi additivlik şərtindən müəyyən edilə bilər:

$$S\Theta_{qar} = S\Theta_b + (S\Theta_d - S\Theta_b)g_d(1 + \rho_{qar}g_dg_b),$$

Burada $S\Theta_{qar}, \rho_{qar}$ – müvafiq olaraq qarışığın setan ədədi və sıxlığıdır; $S\Theta_b, S\Theta_d$ – benzin və dizel yanacağının setan ədədləridir; g_d, g_b – dizel yanacağı və benzinin qarışıqdakı kütlə miqdarıdır ($g_d + g_b = 1$ şərt ilə).

Dizel yanacağının setan ədədi yüksəldikcə, mühərrikin işəsalma xassələri yaxşılaşır. Setan ədədi yanacağın karbohidrogen tərkibindən asılıdır. Normal parafin karbohidrogenləri ən yüksək setan ədədinə malikdirlər. Aromatik karbohidrogenlər isə əksinə, ən aşağı setan ədədinə malikdirlər. Yanacağın qaynama temperaturu yüksəldikcə, onun setan ədədi də yüksəlir.

Setan ədədinin optimal qiymətlərinin alınması üçün dizel yanacağına izopropil- və sikloheksilnitratlar kimi komponentlər və xüsusi aşqarlar qatılır.

Dizel yanacağının sıxlığı onun keyfiyyətini xarakterizə etmir və yalnız onun növünü aydınlaşdırır. Aromatik karbohidrogenlər ən böyük, parafin karbohidrogenləri isə ən kiçik sıxlığa malikdir.

Yanacağın özlülüyü isə tozlanma keyfiyyətini, borularda axma qabiliyyətini xarakterizə edir. Yanacağın özlülüyü normadan çox olduqda onu qızdırmaq lazım gəlir. Temperatur yüksəldikcə, yanacağın özlülüyü də azalır. Bu onun buxarlanma qabiliyyətini artırır, hava ilə yaxşı qarışmasını təmin edir. Yanacağın təzyiqinin artması da özlülüyə təsir edərək onu artırır. Yanacağın buxarlanma xassəsi də onu özlülüyündən asılı olduğundan dizel yanacaqları ilin fəsilələrinə görə növləşdirilir. Qış yanacağının özlülüyü az, yay yanacağının isə çox olur.

Məlumdur ki, yanacağın buxarlanma qabiliyyəti onun fraksiya tərkibindən birbaşa asılıdır. Dizel yanacağı əsasən yüksək molekullu karbohidrogenlərdən – alkanlar, siklanlar və aromatik birləşmələrdən ibarət olduğundan onun buxarlanma keyfiyyəti aşağı olur. Benzində olduğu kimi dizel

yanacağında da buxarlanma keyfiyyəti t_b , $t_{10\%}$, $t_{50\%}$ və $t_{90\%}$ temperaturaları ilə xarakterizə edilir. $t_{10\%}$, $t_{50\%}$ temperaturaları aşağı olduqda mühərrikin işə salınması asanlaşır. $t_{50\%}$ və $t_{90\%}$ temperaturaları yüksək olduqda isə yanacaq pis buxarlanır və hava ilə yaxşı qarışa bilmir. Nəticədə yanacaq tam yanmadığından mühərrikin gücü azalır, yanacaq sərfi isə artır. Qışda işlədilən dizel yanacaqları fraksiya tərkibinə görə yüngül olur. Ona görə də onların t_b temperaturu nisbətən aşağı olur.

Dizel yanacağının aşağı temperatur xassələri onun bulanlıqlaşma (və ya qatılaşma) temperaturu, süzgəclənmənin hədd temperaturu və donma temperaturu ilə xarakterizə olunur.

Yanacağın faza tərkibinin dəyişməsinin başladığı temperatur *qatılaşma temperaturu* adlanır. Bu zaman maye faza ilə yanaşı, bərk faza da meydana çıxır, mikroskopik karbohidrogen kristallarının yaranması üzündən yanacaq şəffaflığını itirir, bulanlıq şəkil alır, qatılaşır. Lakin bu hələ yanacağın axıcılığına təsir etmir.

Süzgəclənmənin hədd temperaturunda bərk karbohidrogen kristallarının ölçüləri böyüdüyündən onlar süzücü elementlərdən keçə bilmir və yanacağın axıcılığı pisləşir.

Donma temperaturunda yanacağın kristal qəfəsi çox bərkiyib möhkəmləndiyindən o axıcılığını itirir.

Yanacağın aşağı temperatur xassələri ilə setan ədədi biri-birilə qarşılıqlı əlaqəsi olan göstəricilərdir. Belə aşağı temperatur xassələri yaxşılaşdıqca, yanacağın setan ədədi azalır. Məsələn, yanacağın donma temperaturu $t_d \leq -45^\circ\text{C}$ olduqda setan ədədi 40-a yaxın olur.

Yanacağın kənar alışdırma mənbəyi olmadan alışması *özülüşmə* adlanır. *Özülüşmə* özülüşmə temperaturu, alışmanın gecikmə periodu və setan ədədi kimi göstəricilərlə qiymətləndirilir.

Yanacaq buxarlarının kənar alışdırma mənbəyi olmadan alışdığı temperatura *özülüşmə temperaturu* deyilir. Bu göstərici yanacağın kimyəvi tərkibindən, alışma şəraitindən və s. asılıdır. Belə ki, aromatik karbohidrogenlərin özülüşmə temperaturu naften və parafin karbohidrogenlərinə nisbətən xeyli yüksəkdir.

Yanacağın verildiyi andan onun özülüşməsi baş verdiyi ana qədər olan zaman intervalına *özülüşmənin gecikmə periodu* deyilir. Gecikmə periodu kiçikdirsə, deməli həmin yanacağın özülüşmə temperaturu aşağıdır və mühərrik asan işə salınır.

Yanacaq qızdırıldıqda onun səthində əmələ gələn buxarın hava ilə qarışığı müəyyən bir şəraitdə kənardan alov yaxınlaşdırıldıqda alışır. Bu an yanacağın malik olduğu temperatur *alışma temperaturu* adlanır.

Dizel mühərriklərində yanacaq yüksək təzyiqlə vurulduğundan o, az da olsa sıxılır. Yanacağın belə sıxılması sıxılma əmsalı ilə xarakterizə edilir. Bu əmsal (β) təzyiqdən asılı olaraq yanacağın əvvəlki həcmnin dəyişməsini göstərir:

$$\beta = -\frac{dV_p}{V_0 dp}, \quad m^2/N$$

burada dV_p – həcmnin elementar dəyişməsidir, m^3 ; dp – təzyiqin elementar artımıdır, N/m^2 ; V_0 - ətraf mühit təzyiqində yanacağın həcmidir, m^3 . Mənfi işarəsi təzyiq artdıqda yanacaq həcmnin kiçildiyini göstərir. Yanacaq sıxılmaya çox meyli olduqda onun silindrə püskürülməsi müəyyən qədər gecikir ki, bu da yanacaq aparatının hesablanması nəzərə alınmalıdır.

Səthi gərilmə və doymuş buxarların təzyiqi kimi xassələr də yanacağın karbohidrogen və fraksiya tərkiblərindən asılı olur. Fraksiya tərkibi ağırlaşdıqca, səthi gərilmə də artır.

Dizel yanacaqları qurum əmələ gətirməyə və təbəqəli çöküntülər yaratmağa mümkün qədər az meyli olmalı və kiçik korroziya aktivliyi ilə seçilməlidir. Bu xassələr *turşululuq*, *kükürd miqdarı*, *kokslaşma qabiliyyəti*, *küllülük* və s. kimi keyfiyyət göstəriciləri ilə qiymətləndirilir.

Dizel yanacağında suyun və mexaniki qarışıqların olması dizel yanacaq aparatının əsas imtina səbəblərindəndir. Mexaniki qarışıqlar yapışqan yaranmasını artırır, yanacaqvermə sistemini zibilləyir, qurum əmələ gəlməni, mühərrikin yanacaq sərfini və onun xaric qazlarının tüstülülüyünü artırır. Tərkibində su olan dizel yanacağı isə mühərrikin işə salınmasını hədsiz çətinləşdirir, korroziyanı və qurum əmələ gəlməni artırır. Bu səbəblərdən dizel yanacağının təmizliyi həmişə sərt normalara cavab verməlidir. Dizel yanacağının təmizliyi *süzgəclənmə əmsalı* adlanan parametrlə xarakterizə olunur. Bu parametr yanacağın 10-cu porsiyasının kağız süzgəcdən süzülmə müddətinin yanacağın 1-ci porsiyasının süzülmə müddətinə olan nisbəti kimi tapılır.

Şəkil 5.6-da dizel yanacağının əsas fiziki-kimyəvi və istismar xassələri göstərilmişdir.

Cədvəl 5.6

Göstəricilər	Dizel yanacağı növləri		
	ДЛ	ДЗ	ДА
Molekulyar kütlə, $kq/kmol$	230	235	240
Aşağı yanma istiliyi, MC/kq	42,8	43,03	43,0
Element tərkibi:			
- C:	0,873	0,869	0,870
- H:	0,127	0,131	0,130
- O:	-	-	-
Sıxlıq, $t=20^{\circ}C$ -də, kq/m^3	836	816	818
Buxarlanma istiliyi, $p=0,1$ MPa-də, kC/kq	220÷240		
Səthi gərilmə əmsalı (σ), $t=20^{\circ}C$ -də, N/m	20÷30		
Maye yanacağın istilik tutumu, $t=20^{\circ}C$ -də, kC/kq			

Yavaş sürətli dizellərdə daha ağır yanacaq növlərindən də istifadə olunur. Bunlara misal olaraq **əmtəlik nefti**, xam neftin emalının son məhsullarından olan **mazutu**, habelə **orimulsiyanı** göstərmək olar.

Yerin təkindən çıxarılan xam neft elə mədənin özündə ilkin emala uğradılır. Belə ki, separasiya yolu ilə xam neft qaz kondensatından ayrılır, sudan və duzlardan təmizlənir, stabilləşdirilir, yəni ən uçucu yüngül fraksiyalar seçilib götürülür. Bu yolla xam neft **əmtəlik neftə** çevrilir. Belə neftin karbohidrogen tərkibi konkret dizel mühərrikinin konstruktiv-tənzimləmə parametrlərinə uyğun gələrsə, ondan mühərrik yanacağı kimi istifadə oluna bilər.

Son zamanlar istilik-elektrik stansiyalarının iri ölçülü dizel mühərriklərində daha bir yanacaq növündən geniş istifadə olunmasına başlanılıb. Bu yanacaq növü **orimulsiya** adlanır. Orimulsiya - tərkibinin 28÷30 %-i təbii bitum danəciklərindən (onların orta ölçüsü 15÷20 mkm təşkil edir) ibarət olan şirin su şəklində olur. Təkcə Venesuelada, Orinoko çayının hövzəsində təbii bitumun 64 milyard ton daş kömür ekvivalentinə bərabər çox iri yataqları var. Sudakı təbii bitum danəcikləri çox asan emal üsulu ilə maye şəklinə düşür və iri dizellərdə problemsiz olaraq yandırıla bilər. Orimulsiyanın dünya bazarındakı mazutun qiymətindən xeyli ucuz olması, onun təbii ehtiyatlarının çoxluğu, çıxarılmasının, emalının və nəql edilməsinin iqtisadi cəhətdən sərfəli olması bu yanacaq növünün perspektivini xeyli yüksəldir.

DYM ÜÇÜN ALTERNATİV YANACAQLAR

Əvvəldə qeyd olunduğu kimi müasir dövrdə daxili yanma mühərrikləri, o cümlədən porşenli daxili yanma mühərrikləri üçün əsas yanacaq kimi xam neftin emalından alınan benzin və dizel yanacağı istifadə olunur. Dünya miqyasında dym-nin sayı durmadan artdığından benzin və dizel yanacağının istehlakı da sürətlə artır. Bu isə dünya xam neft ehtiyatlarının günü-gündən azalması deməkdir. Müxtəlif dünya ekspertlərinin fikrincə müasir istehlak tempi davam edərsə, kəşf edilmiş neft yataqlarındakı neft ehtiyatları yaxın 40÷60 il ərzində tükənə bilər. Məhz bu səbəbdən ənənəvi mühərrik yanacaqları olan benzin və dizel yanacaqlarını müvəffəqiyyətlə əvəz edə biləcək qeyri-neft mənşəli mühərrik yanacaqlarının axtarışı dünya miqyaslı problemə çevrilmişdir. Hal-hazırda texniki cəhətdən inkişaf etmiş bütün ölkələrdə bu problemin – yəni avtonəqliyyat vasitələrinin yaxın gələcəkdə nisbətən ucuz, eyni zamanda hər cəhətdən effektiv sayıla biləcək mühərrik yanacağı ilə təmin edilməsi probleminin üzərində intensiv və gərgin işlər aparılır. Bu məqsədlə yeni-yeni yanacaq növlərinin və onların müxtəlif komponentlərinin geniş istifadə olunması nəzərdə tutulur ki, onları da ümumi şəkildə alternativ yanacaqlar adlandırırlar.

Alternativ yanacaqlar kimi, qaz şəklində olan yanacaqlar, daş kömür və təbii qazdan alınan sintetik yanacaqlar, bitki yağlarının efirləri, müxtəlif spirtlər və s. göstərilə bilər. Lakin alternativ yanacaqların keyfiyyət göstəricilərinin müasir neft mənşəli mühərrik yanacaqları səviyyəsinə çatdırılması alternativ yanacaqların istehsalının maye dəyərinin yüksək alınmasına gətirib çıxarır. Bu səbəbdən perspektiv yanacaq seçilərkən onun həm istehsal səmərəliliyi, həm mühərrikdə istifadə olunma effektivliyi, həm də ekoloji göstəricilər nöqteyi-nəzərindən kompromis variantına üstünlük verilməlidir.

Belə ehtimal olunur ki, gələcəkdə qeyri-neft mənşəli perspektiv yanacaqlar kimi tərkibinə müxtəlif komponentlər əlavə edilmiş, neftdən, kömürdən, qazdan və ya bitki xammalından alınmış karbohidrogen əsaslı yanacaqlardan istifadə olunacaqdır. Onları ardıcıl olaraq nəzərdən keçirək.

Qaz yanacaqları

DYM-də istifadə oluna bilən qaz şəkilli yanacaqlar iki əsas qrupa bölünür:

- 1) təbii qazlar;
- 2) süni qazlar.

Birinci qrupa qaz və qaz-kondensat yataqlarından neftlə bir yerdə çıxarılan qazlar, ikinci qrupa isə neft, bərk yanacaqlar və bioloji xammalın emalından alınan (neft qazı, koks qazı, domna qazı, generator qazı, bioqaz və s.) qazlar daxildir.

Ənənəvi benzin və dizel yanacağından başqa ən geniş istifadə olunan yanacaqlar təbii qaz yanacaqlarıdır: **sıxılmış təbii qaz (PNG – Pure Natural Gaz)** və **mayeləşdirilmiş neft qazı (LPG – Liquefied Petroleum Gaz)**.

Ən geniş istifadə olunan təbii qaz əsas etibarilə parafin karbohidrogenləri komponentlərindən ibarətdir. Təbii qazın tərkibi çıxarıldığı yataqdan asılı olaraq dəyişir.

Quru (təmiz) təbii qaz yer qatının 1300 m-ə qədər olan dərinliyindən çıxarılır. Təbii qaz metan və ondan daha ağır olan karbohidrogenlərin, habelə azot, karbon qazı və kükürd birləşmələri kimi ballast maddələrin qarışığından ibarətdir. Onun tərkibinin 95 %-ə qədərini metan təşkil edir. Qalan komponentlər: etan C_2H_6 – 0,5 %, propan C_3H_8 və daha mürəkkəb karbohidrogenlər – 0,5 %, karbon qazı CO_2 – 1,1 %, azot N_2 – 3 % təşkil edir.

Quru təbii qazın aşağı yanma istiliyi aşağıdakı düsturun köməyi ilə müəyyən edilə bilər:

$$H_u = 0,108H_2 + 0,1263CO + 0,3582CH_4 + 0,5605C_2H_2 + 0,6373C_2H_6 + 0,9123C_3H_8 + 1,1862C_4H_{10} + 1,46C_5H_{12} + 0,5906C_2H_4 + 0,8598C_3H_6 + 1,134C_4H_8 + 1,404C_6H_6 + 0,235H_2S, \quad MC/kq$$

Qazın tərkibindəki ayrı-ayrı komponentlərin həcmə miqdarı %-lə götürülür.

Qaz yanacağının tərkibində nəmlik olduqda onun həqiqi aşağı yanma istiliyi aşağıdakı düsturun köməyi ilə müəyyən edilir:

$$H_u' = \frac{H_u}{1 + d/0,804}, \quad MC/kq$$

Burada d – quru qazın tərkibindəki nəmlikdir, q/m^3 .

Mayeləşdirilmiş neft qazı isə propan (C_3H_8) və butanın (C_4H_{10}) qarışığından ibarətdir. Quru sıxılmış təbii qazın istilikləndirmə qabiliyyəti $30 \div 35 \text{ MC/m}^3$ -dir. Qaz kondensatı üçün bu göstərici $38 \div 44 \text{ MC/m}^3$, mayeləşdirilmiş neft qazı üçün isə 47 MC/m^3 -dir.

Yerin daha dərin qatlarından çıxarılan **qaz kondensatının** tərkibi isə $80 \div 90 \%$ metandan ibarətdir. Onun tərkibinə aşağıdakı komponentlər daxildir: $CH_4 \approx 84 \%$, $C_2H_6 \approx 4 \%$, C_3H_8 və daha mürəkkəb karbohidrogenlər $\approx 5 \%$, $CO_2 \approx 1,4 \%$, $H_2 \approx 3 \%$ və $N_2 \approx 3 \%$. Qaz kondensatı maye şəklində olduğundan onun xüsusi yanma istiliyi quru təbii qazındakından çoxdur.

Neft yataqlarından çıxarılan **səmt qazlarının** tərkibindəki metanın miqdarı quru təbii qazlarda və qaz kondensatlarında olduğundan $2 \div 4$ dəfə azdır. Onun tərkibinə aşağıdakı komponentlər daxildir: $CH_4 \approx 42 \%$, $C_2H_6 \approx 21 \%$, C_3H_8 və daha mürəkkəb karbohidrogenlər $\approx 30 \%$, $N_2 \approx 7 \%$. Bu qazlar havadan ağır olurlar, halbuki quru təbii qazlar və qaz kondensatı havadan $1,5$ dəfəyədək yüngül olurlar. Səmt qazlarının istilikləndirmə qabiliyyəti onların tərkibindəki ballast qazların – karbon qazının (CO_2) və azotun (N_2) miqdarından çox asılı olur.

İstənilən tərkibli təbii qazın aşağı yanma istiliyini aşağıdakı düstula da müəyyən etmək olar:

$$H_u' = 12,8CO + 10,8H_2 + 35,7H_4 + 56,0C_2H_2 + 59,5C_2H_4 + 63,3C_2H_6 + 90,9C_3H_8 + \\ + 119,7C_4H_{10} + 146,2C_5H_{12}, \quad MC/m^3.$$

Qaz şəkilli yanacaqların orta elementar tərkibi isə aşağıdakı kimi tapılır:

$$\sum C_n H_m O_r + N_2 = 1,$$

burada $C_n H_m O_r$ – 1 m^3 və ya 1 mol qaz yanacağının tərkibindəki hər bir qaz komponentinin həcmcə payıdır; N_2 – azotun həcmcə payıdır.

Mühərrik yanacaqları kimi aşağıdakı süni qazlardan istifadə istifadə olunur:

- koks qazı;
- domna qazı;
- sintez-qaz;
- generator qazı;
- bioqaz.

Tərkibindəki metanın yüksək miqdarına görə təbii qazdan sonrakı yeri **koks** qazı tutur. Bu qaz daş kömürün kokslaşdırılması, yəni onun havasız şəraitdə $900 \div 1000^\circ \text{C}$ temperatura qədər qızdırılması zamanı alınır. Tam təmizlənmiş koks qazı kokslaşmaya uğradılan daş kömürün kütləcə miqdarının $14 \div 15 \%$ -ni təşkil edir.

Metanın miqdarına görə sonrakı yeri süni qazlardan olan **domna** qazı tutur. Domna qazı domna peçlərində çuqun əridilərkən yaranan və tullantı şəklində atılan qazdır. Çuqun daş kömür koksu ilə əridildikdə alınan domna qazının tərkibini əsas etibarilə yanmayan CO_2 , N_2 və yanan CO , H_2 komponentləri təşkil edir. Onun təxmini kimyəvi tərkibi aşağıdakı kimi olur: $CH_4 \approx 0,5 \%$ -ə qədər, $CO_2 = 12 \div 20 \%$, $CO = 20 \div 30 \%$, $H_2 = 1 \div 4 \%$ və $N_2 = 55 \div 58 \%$. Domna qazının yanma istiliyi təxmini olaraq $3,6 \div 4,6 \text{ MC/m}^3$ və ya $850 \div 1100 \text{ kkal/m}^3$ təşkil edir. Oksigenlə üfurmə zənginləşdirildikdə domna qazının tərkibindəki azotun miqdarı xeyli azalır və buna müvafiq olaraq karbon oksidlərinin, hidrogenin miqdarı, habelə qazın yanma istiliyi isə artır.

DYM-də istifadə olunan süni qazşəkilli yanacaqlardan biri də **sintez-qazdır**. Bu qaz dəm qazı CO ilə hidrogenin H_2 qarışığından ibarətdir. Sənayedə bu qaz metanın buxarlanma konversiyası və ya parsial oksidləşdirilməsi, habelə daş kömürün qazlaşdırılması yolu ilə alınır. Ən geniş yayılmış üsullarla alınan nəm sintez-qazın kimyəvi tərkibi aşağıdakı kimi olur: $CH_4 = 9 \div 11 \%$ -ə qədər, $CO_2 = 30 \div 32 \%$, $CO = 15 \div 18 \%$, $H_2 = 38 \div 40 \%$. Bundan başqa qazın tərkibində azot N_2 və H_2S də olur.

İstismar göstəricilərinə görə təbii qaz yanacaqları yüksək oktan ədədinə malik benzinləri əvəz edə bilər. Bu qazlardan istifadə olunduqda mühərrikin işlənmə qazlarının zəhərliyi də xeyli azalır.

Qaz şəkilli yanacaqların bir sıra nöqsanları da mövcuddur. Onlardan aşağıdakıları göstərmək olar:

- ayrı-ayrı hallarda mühərrikin gücünün azalması;

- aşağı temperatur şəraitində mühərrikin işə salınmasının çətinləşməsi;
- həcmi yanma istiliyinin az olması;
- yanacaqda doldurmalar arasındakı yürüş məsafəsinin azlığı;
- yanacaq aparatının işçi düyünlərinin donma bilməsi;
- yüksək yanğın və partlayış baş verə bilmə təhlükəsi.

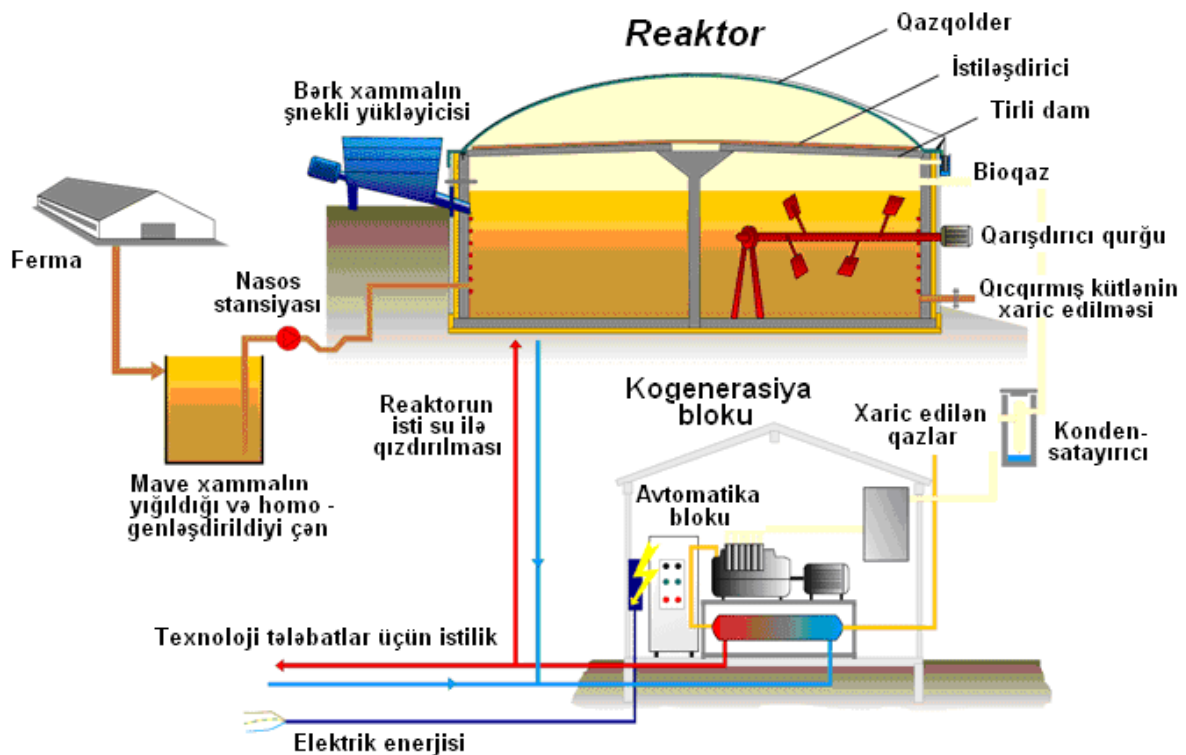
Son zamanlar yanacaq kimi bioloji kütlənin emalından alınan məhsullardan da istifadə olunur. Bioloji kütlədən yanacağın alınması iki istiqamətdə gedir:

1) mikroorqanizmlərin qıcqırdıcı təsiri nəticəsində baş verən **bioloji konversiya** üsulu ilə yanacağın alınması;

2) yüksək temperaturun təsiri nəticəsində baş verən **termo-kimyəvi konversiya** üsulu ilə yanacağın alınması.

Bioloji kütlənin emalından alınan məhsullardan biri *anaerob* (yəni, havasız şəraitdə) *qıcqırtma* məhsulu olan **bioqazdır**. Onun tərkibi 50÷87 % metandan, 20÷50 % karbon qazından, kükürd birləşmələrindən və azotdan ibarət olur. 1 ton üzvi maddənin qıcqırdılması nəticəsində 350÷600 m³ bioqaz almaq mümkündür. Üzvi maddələrin 80÷90 %-ə qədəri bioqaza çevrilə bilər. Heyvanat mənşəli tullantılardan alınan bioqazların istilikötərmə qabiliyyəti 15,5÷24,0 MC/m³-dir. Bitki mənşəli tullantılardan alınan bioqazlarda bu göstərici 5,0÷6,7 MC/m³ olur. Hava artıqlıq əmsalının 0,66÷1,95 qiymətlərində bioqaz-hava qarışığı alışı bilər. Bioqazın oktan ədədi 136 –dır.

Bioqaz emalının prinsipial sxemlərindən biri aşağıdakı şəkildə göstərilmişdir.



Səkil 6.1. Bioqaz emalının prinsipial sxemi (www.zorg.ua)

Bioloji kütlə (yəni tullantı məhsulları və ya yaşıl kütlə) periodik olaraq nasos və ya yükləyicinin köməyiylə reaktora verilir. Reaktor qarışdırıcılarla təchiz edilmiş, daim qızdırılan və istiləşdirilmiş rezervuardır (çəndir). Rezervuar (çən) dəmir-beton, təbəqəli örtüklü polad və ya kompozit materialdan inşa edilə bilər. Reaktorda bioloji kütlə ilə qidalanan bakteriyalar (hidrolizəedici, hidrogenləşdirici və metanlaşdırıcı) bakteriyalar yaşayır. Bu bakteriyaların həyat fəaliyyətinin məhsulu məhz bioqazdır. Bakteriyaların daimi mövcudluğunu təmin etmək üçün onların yemlənməsi, 35÷38 °C temperatura qədər qızdırılması və periodik olaraq qarışdırılması tələb olunur. Bu zaman yaranan bioqaz qazqolder

adlanan saxlanmada yığılır, təmizlənmə sistemindən keçirilir və istehlakçıya ötürülür. Reaktor hava mühitindən təcrid olunmuş vəziyyətdə fəaliyyət göstərir. O hermetik və təhlükəsizdir.

Bəzi xammal növlərinin təmiz şəkildə qıcqırdılması üçün ikimərhələli texnoloji üsuldən istifadə olunur. Bu zaman belə xammalın ilkin emalı üçün əlavə hidroliz reaktorundan istifadə edilməsi vacibdir. Belə reaktorda turşululuq səviyyəsinə nəzarət həyata keçirilir ki, qıcqırdıcı bakteriyalar turşu və qələvi tərkibinin artması nəticəsində məhv olmasın.

Süni qazların nümayəndələrindən biri də bioloji kütlənin emalının məhsullarından olan **generator qazlarıdır**. Bu qazların tərkibi dəm qazı CO və molekulyar hidrogen H_2 təşkil edir. Onları almaq üçün digər bərk yanacaq növlərini (əsasən daş kömürü və ya koksu) oksigen çatışmazlığı şəraitində, yüksək temperaturun təsiri altında termokimyəvi konversiyaya uğradırlar. İlkin xammal kimi oduncaq tullantıları, daş kömür, torf, küləş kimi bərk yanacaq növlərindən istifadə olunur. Bərk yanacaqların qazlaşdırılması prosesi elə təşkil edilməlidir ki, yanma natamam olsun. Çünki yalnız bu halda alınan generator qazlarının tərkibində kifayət qədər dəm qazı, hidrogen və metan qalır və belə yanacaqdan mühərrikdə istifadə etmək olur. Generator qazının tərkibinə yuxarıda sadalananlardan başqa ballast maddələr olan oksigen, karbon qazı, azot, kükürd birləşmələri, su buxarı, habelə kül və qətranlar da daxildir.

Bərk yanacaq növlərinin qazlaşdırılması xüsusi qurğularda – qazogeneratorlarda həyata keçirilir. Qazogeneratorlar ya bilavasitə nəqliyyat vasitələrinin özündə yerləşdirilir, ya da stasionar qurğu şəklində olur. Generator qazlarının istilikötürmə qabiliyyəti $4400 \div 4500 \text{ kal/kq}$ hədlərində olur. İlkin xammal olaraq oduncaq tullantılarından istifadə olunduqda alınan generator qazının kütləsi ilkin xammalın kütləsinin $15 \div 20 \%$ -i qədər olur. 1 kq koksdan $4,65 \text{ m}^3$ generator qazı alınır. Generator qazının oktan ədədi də kifayət qədər yüksəkdir ($95 \div 110$ vahid).

Alternativ yanacaq kimi daxili yanma mühərriklərində bir sıra qaz və maye yanacaqlardan da istifadə olunur. Onlardan **ammonyak** (NH_3) və **hidrogen** (H_2) daha perspektivlidirlər, çünki onların molekulunda karbon yoxdur. Ammonyakdan yanacaq kimi istifadə olunmasına əngəl törədən amil onun yanma temperaturunun ənənəvi yanacaqlarla müqayisədə az olmasıdır. Hidrogen isə öz enerji tutumuna görə karbohidrogenli yanacaqları $2,5 \div 3,0$ dəfə, spirtləri $5,0 \div 6,0$ dəfə, ammonyakı isə $7,0$ dəfə üstələyir. Özü də hidrogen tamamilə zəhərsiz qazdır. Hidrogen-hava qarışığı digər yanacaq-hava qarışıqlarından fərqli olaraq çox geniş alışma hədlərinə malikdir. Bu hidrogenin tətbiq olunması üçün optimal şərtlərin tapılmasına imkan yaradır. Dünyanın bir neçə şəhərlərində (məs.: Stokholmda) sərnəşin avtobuslarının tam olaraq hidrogen yanacağına keçirilməsi həyata keçirilir.

Yanacaq kimi təmiz hidrogendən istifadə olunmasının bir sıra nöqsanları var. Məlum olduğu kimi Yer üzündə sərbəst şəkildə hidrogen mövcud deyil və onu ancaq müxtəlif üsullarla karbo-hidrogenli yanacaqlardan əldə etmək mümkündür. Hidrogenin alınma prosesi bilavasitə nəqliyyat vasitəsində həyata keçirildikdə onun konstruksiyası mürəkkəbləşir və ağırlaşır. Təmiz hidrogendən istifadə olunduqda isə onun nə cür saxlanması problemi meydana çıxır.

Məlum olduğu kimi hidrogen məlum qazlardan ən yüngüldür. O $-253^\circ C$ temperaturda mayeləşir. 50 litrlik balona 250 bar təzyiq altında 1 kq -dan bir qədər artıq hidrogen doldurmaq olur. Deməli, avtonəqliyyat vasitəsində kifayət qədər hidrogen yanacağı ehtiyatı saxlamaq üçün onu ya kriogen üsulla mayeləşdirib termos-çənlərdə yerləşdirmək, ya da yüksək təzyiq altında sıxıb çox möhkəm balonlarda saxlamaq lazımdır. Bundan başqa hidrogeni metal-hidrid saxlanclarda (toplayıcılarda) da saxlamaq mümkündür. Elə metallar (məs.: Ti - titan) və ərintilər var ki, onlar öz kristal qəfəslərində hidrogen atomlarını yerləşdirmək qabiliyyətinə malikdir. Məhz onlardan metal-hidridlər yaratmaq mümkündür və belə saxlanclar eyni həcmə malik olmaq şərti ilə sıxılmış qaz balonlarından 5 , maye qaz doldurulan Dürar qablarından isə 2 dəfə artıq tutuma malik olur. Hidrid saxlanclar kifayət qədər mürəkkəb konstruksiyaya malikdir. Onlar bütöv metal parçasından hazırlanmır və daha çox saysız-hesabsız kanallara malik süngəri xatırladır. Kanallar hidrogenin mümkün qədər tezliklə udulması və ayrılması üçün nəzərdə tutulur. Onu da qeyd etmək ki, hidrogenin metal-hidriddən ayrılıb çıxarılması üçün onları müəyyən temperatura qədər qızdırmaq tələb olunur. Bundan başqa avtonəqliyyat vasitəsinin metal-hidrid saxlanclarının tutumu da kifayət qədər deyil, çəkisi isə xeyli ağırdır. Aparılan

araşdırmalar göstərir ki, hazırkı dövrdə hidrogenin mümkün qədər böyük təzyiqlə sıxıb möhkəm kompozit balonlarda saxlanılıb nəql edilməsi daha məqsədəuyğundur.

Sintetik yanacaqlar

Sintetik və ya süni yanacaqlar dym-də ya təmiz şəkildə, ya da karbohidrogenli yanacaq növlərinə qatqılar şəklində istifadə oluna bilər. Sintetik yanacaqların ən ucuz mənbəyi daş kömür hesab olunur. Ondan müxtəlif texnoloji proseslərin köməyi ilə sintetik benzin və dizel yanacaqları alınır. Bu yanacaqların tərkibindəki hidrogenin miqdarı nisbətən az (9÷12%), kükürd və azotlu birləşmələrin miqdarı isə nisbətən çoxdur. Sintetik yanacaqların donma temperaturları yüksək, yanma istiliyi az, kimyəvi sabilliyi aşağıdır.

Yanar faydalı qazıntı mihşullarının, ilk növbədə də daş kömürün maye yanacağa çevrilməsi üçün aparılan emal prosesləri üç qrupa bölünür:

- 1) maye yapışqan və bərk yanacağın alınması ilə müşayiət olunan piroliz (yarımkokslasma) prosesi;
- 2) birbaşa hidrogenləşdirici mayeləşmə prosesi;
- 3) daş kömürün qazlaşdırılmasından alınan sintez-qazın sonrakı emalı ilə mayeləşmə prosesi.

Daş kömürün emalından alınan sintetik maye yanacaqlar alınma üsulundan asılı olaraq aşağıdakı xarakteristikalara malikdir:

- sıxlığı $\rho=900\div980 \text{ kq/m}^3$ (15°C);
- özlülüyü $\nu\approx2,9\div3,5 \text{ mm}^3/\text{s}$ (38°C);
- aşağı yanma istiliyi $H_u=38,5\div42,0 \text{ MC/kq}$;
- benzin fraksiyasının ayrılma hədləri: $179^\circ\text{C}\div301^\circ\text{C}$;
- dizel fraksiyasının ayrılma hədləri: $192^\circ\text{C}\div360^\circ\text{C}$.

Aşağıdakı cədvəldə bəzi qazşəkilli yanacaqların xarakteristikaları verilmişdir.

Cədvəl 6.1

Göstəricilər	Təbii qaz (metan) CH_4	Mayeləşmiş qazlar		Hidrogen H_2
		Propan C_3H_8	Butan C_4H_{10}	
Elementlərin kütlə payları:				
- karbon C	0,75	0,818	0,828	-
- hidrogen H	0,25	0,182	0,172	1
- oksigen O	-	-	-	-
Molekulyar kütləsi - μ_y , kq/kmol	16	44	58	2
20°C -də sıxlığı - ρ , kq/m^3	0,66	502	578	0,082
Normal qaynama temperaturu, $^\circ\text{C}$	- 161,58	- 42	- 0,6	- 252,8
Aşağı yanma istiliyi - H_u , MC/kq	50	46,35	45,75	120
Oktan ədədi (tədqiqat üsulu ilə)	130	115,5	95	45÷90
l_0 , $\text{kq hava/kq yanacaq}$	17,24	15,68	15,45	34,48
L_0 , kmol / kq yanacaq	0,595	0,541	0,533	1,19
$p=1 \text{ bar}$ təzyiqdə özülüşmə temperaturu, $^\circ\text{C}$	650	504	430	-
Alışma hədləri:				
$\alpha_{\min}$	5	2	1,7	4
$\alpha_{\max}$	15	11,4	10,3	75

Spirtlər

Alternativ yanacaqlar kimi tərkibində spirt olan yanacaqları göstərmək olar. Bunlardan ən geniş yayılanları etil spirti olan **etanol** ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ və ya qazoxol), metil spirti olan **metanol** (CH_3OH : “M15” – 15 % metanol, 85 % benzin; “M100” – 100 % metanol) və onların efirləri olan **metiltretbutil MTBE**, **etiltretbutil ETBE**, **tretamilmetil TAME** kimi yanacaqlardır.

Metanol əsəb-damar sisteminə təsir edən çox güclü zəhərdir və orqanizmdə yığılıb qalmaq qabiliyyətinə malikdir. Bu səbəbdən metanoldan mühərrik yanacağı kimi istifadə olunması xeyli çətindir.

Spirtlərdən yanacaq kimi istifadə olunması onların detona-siyaya davamlılığının yüksəkliyi ilə izah olunur (metanolda 104÷115 vahid, etanolda – 106 vahid). Onların benzinlə qarışığından da istifadə oluna bilər. Detonasiyaya davamlılığı nəzərəcarpacaq qədər artırmaq üçün benzinə qatılan spirtin yanacaqdakı payı 25÷50% hədlərində olmalıdır. Lakin belə qarışıqlardan o qədər də geniş istifadə olunmur. Çünki, belə qarışığın gizli buxarlanma istiliyi benzinə nisbətən xeyli çoxdur. Bu, yanacağın buxarlanmasını çətinləşdirdiyindən mühərriklərin, xüsusilə də qış mövsümündə, işə salınmasında problemlər yaranır. Dizellərdə belə yanacaqdan istifadə etdikdə məqbul özülüşmanı təmin etmək üçün mütləq müəyyən dozada dizel yanacağının verilməsi tələb olunur. Qeyd edək ki, spirtlərin istilik törətmə qabiliyyəti o qədər də yüksək deyil, çünki onların tərkibində oksigen molekulu var. Digər tərəfdən isə spirtlər hiqroskopikdirlər, yəni onlar suyu çox intensiv olaraq udurlar. Bu isə onların istilik törətmə qabiliyyətini daha da aşağı saldığından onlardan geniş istifadə olunmur.

Dizel yanacağına qatqı şəklində və ya təmiz yanacaq şəklində **dimetilefirdən** (DME) də istifadə olunur. Onun setan ədədi yüksək, tüstüləməyə meyliyi isə azdır. Əsasən metanoldan alınır. Metanol və etanol kimi spirt yanacaqları isə öz növbəsində təbii qazdan, daş kömürdən, yanar şistlərdən, şəkər qamışı və çuğundurundan istehsal edilir.

Aşağıda verilən cədvəldə tərkibində oksigen olan spirt yanacaqlarının və onların efirlərinin bəzi xarakteristikaları verilmişdir.

Cədvəl 6.2

Göstəricilər	Metanol CH ₄ O	Etanol C ₂ H ₆ O	MTBE	ETBE	TAME	DME
20 °C-də sıxlığı, <i>kq/m³</i>	791	810	746	746	775	660
Oktan ədədi:						
- motor üsulu ilə	87÷95	94	110	104	96	-
- tədqiqat üsulu ilə	111	108	126	120	110	-
Setan ədədi	3÷5	8÷10	-	-	-	>55
Qaynama temperaturu, °C	65	78	55	73	86	-25
38 °C-də doymuş buxarlarının təzyiqi, <i>kPa</i>	37	21	57	26	15	800
Oksigenin kütlə miqdarı, %	50	34,8	18,2	15,7	15,7	34,8
Aşağı yanma istiliyi, <i>MC/kq</i>	19,6	26,9	38,2	-	39,4	7,6
Buxarlanma istiliyi, <i>kC/kq</i>	1160	910	332	-	326	410

Su-yanacaq emulsiyaları

Su-yanacaq emulsiyalarından istifadə dym-nin işlənmiş qazlarının tərkibindəki qurumun və azot oksidlərinin xeyli azaldılmasına, habelə dizel yanacağından istifadə səmərəliliyinin artmasına gətirib çıxarır.

Su-yanacaq emulsiyası iki cür ola bilər:

- yanacağın tərkibində su;
- suyun tərkibində yanacaq.

Praktiki olaraq ancaq “yanacağın tərkibində su” tipli su-yanacaq emulsiyasından istifadə olunur. Bu tip emulsiyada su daxili faza rolunu oynayır və həcmcə emulsiyanın 10÷40 %-ni təşkil edir. Burada su damcılarının diametri 2÷5 *mkm* hədlərində olur.

Su-yanacaq emulsiyasının yanmasının fərqli xüsusiyyətləri alovun temperaturunun aşağı düşməsi və yanmanın təmizliyinin artmasıdır. Buna səbəb su damcılarının “mikropartlayışları” nəticəsində yanıcı qarışığın hazırlanmasının keyfiyyətcə yaxşılaşmasıdır. “Mikropartlayışların” meydana çıxması isə su və dizel yanacağının qaynama temperaturları arasında fərqin olmasıdır. Yanma temperaturunun azalması isə işlənmiş qazların tərkibindəki azot oksidlərinin azalmasına səbəb olur.

Su-yanacaq emulsiyasının əsas nöqsanları aşağıdakılardır:

- aşağı temperaturlarda istifadəsi mümkünəzür;

- saxlanma zamanı təbəqələrə ayrılmaya meyllidir;
- alışmanın gecikmə periodunu artırır;
- işçi prosesin qeyri-stabilliyini artırır.

Beləliklə, daxili yanma mühərriklərində istifadə olunan bir sıra yanacaq növləri nəzərdən keçirildi. Qeyd etmək lazımdır ki, daxili yanma mühərrikli enerji maşınları arasında ən böyük yanacaq istifadəçisi nəqliyyat vasitələridir. Onların arasında lider isə avtomobil nəqliyyatıdır. Ətraf mühitin çirklənməsində də ən böyük pay sahibi elə avtomobil nəqliyyatı vasitələridir. Bunu aşağıdakı cədvəldə verilmiş statistik göstəricilər də təsdiq edir (cədvəl 6.1).

Cədvəl 6.3

Nəqliyyatın növü	Ümumi güc	İstifadə olunan yanacaq		Atmosferə atılan tullantılar	
	%	%	mln t	%	mln t
Avtomobil nəqliyyatı	50	56,5	65,0	71,3	21,7
Dəmiryol nəqliyyatı	16	11,0	12,6	6,3	1,9
Çay donanması	8	5,9	6,8	2,6	0,8
İnşaat-yol maşınları	4	1,9	2,2	1,3	0,4
Kənd və meşə təsərrüfatı maşınları	20	23,5	27,0	17,8	5,4
Aviasiya	2	1,2	1,5	0,7	0,2
CƏMİ:	100	100	115,0	100	30,4

YANICI QARIŞIQ, ONUN TƏRKİBİ VƏ ƏSAS XARAKTERİSTİKALARI HAVA ARTIQLIQ ƏMSALI. YANACAĞIN YANMASININ KİMYƏVİ REAKSİYALARI

Porşenli daxili yanma mühərriklərində yanacaq buxarları ilə havanın qarışığı yandırılır. Bu qarışıq *yanıcı qarışıq* deyilir. Karbüratorlu mühərriklərdə yanıcı qarışıq silindrdən tamamilə kənarda – karbüratorda hazırlanır. Sorma borusuna müxtəlif üsullarla benzin püskürməli mühərriklərdə də yanıcı qarışıq əsasən silindrdən kənarda - sorma borusunda, qismən də silindrin daxilində hazırlanır. Birbaşa benzin püskürməli mühərriklərdə və dizellərdə isə hava ilə yanacaq bilavasitə silindrdə qarışdırılaraq yanıcı qarışıq əldə edilir. Yanıcı qarışığın yanması yanacağın havanın tərkibindəki oksigenlə oksidləşməsi nəticəsində baş verir. Reaksiyaya girən yanıcı qarışıq miqdarı ilə alınan yanma məhsullarının miqdarının nisbəti kimyəvi reaksiyalar tənliyindən aşağıdakı təxminlər nəzərə alınmaqla tapıla bilər:

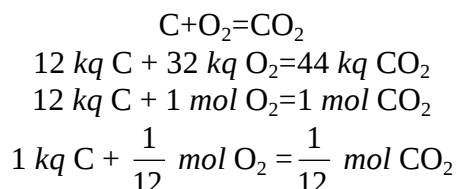
- bütün kimyəvi birləşmələr ayrı-ayrı elementlərin bir-birilə müəyyən ədədi nisbətlər əlaqəsi olan atomlardan ibarətdir;
- kimyəvi reaksiyalar zamanı atomlar öz fərdiliyini (indivduallığını) qoruyub saxlayır, onların yalnız qruplaşması baş verir;
- reaksiyaya girən ilkin maddələrin və yanma məhsullarının kütlələri bir-birinə bərabərdir;
- ümumi halda yanma məhsullarının həcmi reaksiyaya girən ilkin maddələrin həcminə bərabər deyil.

Kimyəvi reaksiya reaksiyaya girən hissəciklərin elektron qəfəslərinin yenidən qurulması ilə müşayiət olunur. Nəticədə molekullararası qarşılıqlı təsir qüvvələrini dəyişən yeni molekul daxili əlaqələr yaranır. Sistemin daxili enerjisinin kimyəvi reaksiyanın baş verdiyi dövrdə istiliyə və işə çevrilən hissəsi *kimyəvi enerji* adlanır. Əgər kimyəvi reaksiya zamanı sistemin enerjisi azalırsa və o istilik şəklində ətraf mühitə ötürülsə, belə reaksiya *ekzotermik reaksiya* adlanır. Yanacağın havanın tərkibindəki oksigenin köməyi ilə baş verən oksidləşmə reaksiyalarının hamısı ekzotermik reaksiyalardır. Bu reaksiyalar temperaturun intensiv yüksəlməsi və alovun yaranması ilə gedir, yəni yanacağın yanması baş verir. Oksidləşmə prosesinin nəzəri hesabı üçün yanıcı qarışığın element tərkibinin, yəni yanacağın tərkibindəki yanıcı komponentlərin və havanın tərkibindəki oksigenin miqdarının bilinməsi zəruridir.

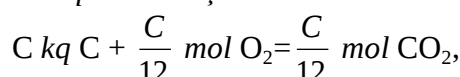
Yanacağın kütlə və ya həcm vahidinin tam yanması üçün konkret miqdarda hava tələb olunur. Bu hava miqdarına *nəzəri tələb olunan hava miqdarı* deyilir və bu, yanacağın orta elementar kimyəvi tərkibinə görə müəyyən edilir. Ümumilikdə yanacağın tərkibi karbon (C), hidrogen (H), cüzi miqdarda kükürd (S) kimi yanar elementlərdən, habelə çox az miqdarda oksigendən (O) ibarətdir.

Havanın nəzəri tələb olunan miqdarını hesablamaq üçün əvvəlcə yanar elementlərin yanma reaksiyalarına əsasən tələb edilən oksigenin nəzəri miqdarı müəyyən edilir.

Karbonun yanma reaksiyası:

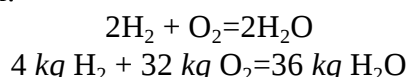


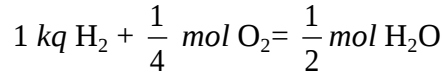
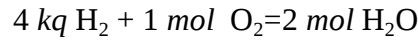
1 kq yanacağın tərkibindəki C kq karbon üçün:



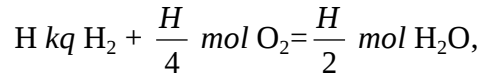
burada $\frac{C}{12} \text{ mol O}_2$ karbonun yanması üçün tələb edilən oksigenin miqdarıdır (mol ilə).

Hidrogenin yanma reaksiyası:



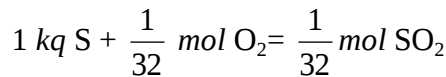
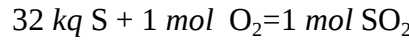
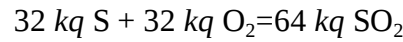
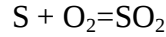


1 kq yanacağın tərkibində olan H kq hidrogen üçün:

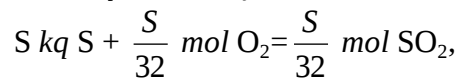


burada $\frac{H}{4} \text{ mol } O_2$ hidrogenin yanması üçün tələb edilən oksigenin miqdarıdır (mol ilə).

Kükürdün yanma reaksiyası:



1 kq yanacağın tərkibində olan S kq kükürd üçün:



burada $\frac{S}{32} \text{ mol } O_2$ kükürdün yanması üçün tələb edilən oksigenin miqdarıdır (mol ilə).

Beləliklə, 1 kq yanacağın tam yana bilməsi üçün nəzəri tələb edilən oksigenin miqdarı yanacağın tərkibində olan oksigenin miqdarı da nəzərə alınmaqla

$$L_{O_2} = \frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32}, \quad \frac{\text{mol } O_2}{\text{kq yanacaq}}$$

olur.

Havanın tərkibindəki oksigenin mol hissəsini (0,208) nəzərə aldıqda, 1 kq yanacağın tam yanması üçün nəzəri tələb edilən havanın miqdarı:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right), \quad \frac{\text{mol hava}}{\text{kq yanacaq}} \text{ və ya}$$

$$l_0 = \frac{1}{0,232} \left(\frac{8}{3}C + 8H + S - O \right), \quad \frac{\text{mol hava}}{\text{kq yanacaq}}.$$

Müasir standartlara görə yanacağın tərkibində kükürd olmamalıdır. Bu halda

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right), \quad \frac{\text{mol hava}}{\text{kq yanacaq}} \text{ və ya}$$

$$l_0 = \frac{1}{0,232} \left(\frac{8}{3}C + 8H - O \right), \quad \frac{\text{mol hava}}{\text{kq yanacaq}},$$

Burada L_0 – 1 kq yanacağın tam yanması üçün nəzəri tələb olunan havanın kmol-la miqdarıdır, $\frac{\text{kmol hava}}{\text{kq yanacaq}}$; l_0 - 1 kq yanacağın tam yanması üçün nəzəri tələb olunan havanın kq-la miqdarıdır,

$\frac{\text{kq hava}}{\text{kq yanacaq}}$; 0,208 - 1 kq havanın tərkibindəki oksigenin həcmcə miqdarıdır; 0,232 – 1 kq havanın

tərkibindəki oksigenin kütlə miqdarıdır;

l_0 və L_0 arasında aşağıdakı əlaqə mövcuddur:

$$l_0 = \mu_h L_0,$$

burada $\mu_h = 28,95 \text{ kq/kmol}$ – 1 kmol havanın kütləsidir.

Qaz yanacaqları üçün isə

$$L'_0 = \frac{1}{0,208} \sum \left(n + \frac{m}{4} - \frac{r}{2} \right) C_n H_m O_r,$$

burada L'_0 - 1 mol və ya $1 m^3$ yanacağın tam yanması üçün nəzəri tələb olunan havanın miqdarıdır, $\frac{\text{mol hava}}{\text{mol yanacaq}}$ və ya $\frac{m^3 \text{ hava}}{m^3 \text{ yanacaq}}$; $C_n H_m O_r$ - qaz yanacağının tərkibindəki yüksəkmolekullu komponentlərin miqdarıdır; n , m və r - müvafiq olaraq karbon, hidrogen və oksigen atomlarının miqdarıdır.

Yanmada iştirak edən atmosfer havasının elementar tərkibi mövcud standartlara görə aşağıdakı kimi qəbul edilir (%-lə həcmə görə): azot – 78.08, oksigen – 20,95, nəcib qazlar – 0,94, karbon qazı – 0,03. Havanın molekul kütləsi $\mu_h = 28,95 \text{ kq/kmol}$, normal şəraitdə sıxlığı isə $\rho_0 = 1,2928 \text{ kq/m}^3$ qəbul edilir.

Hesablamalar üçün havanın tərkibi aşağıdakı kimi qəbul edilir:

- havanın tərkibindəki oksigenin və azotun həcmə miqdarı müvafiq olaraq $r_{O_2} = 0,208$ və $r_{N_2} = 0,792$;

- havanın tərkibindəki oksigenin və azotun kütlə miqdarı müvafiq olaraq $g_{O_2} = 0,232$ və $g_{N_2} = 0,768$.

Nəm (rütubətli) havanın tərkibindəki hər hansı bir komponentin həcmi payı (r_i) isə nisbi rütubətdən (φ) asılı olur:

$$r_i = r'_i / [1 + 0,662 \cdot \varphi p_{d,b} / (p - \varphi p_{d,b})],$$

burada r'_i - quru havanın tərkibindəki hər hansı bir komponentin həcmi payıdır; p - nəm (rütubətli) havanın mütləq təzyiqidir; $p_{d,b}$ - nəm hava temperaturunda doymuş su buxarının təzyiqidir.

Göstərilən düzəliş qızmar və rütubətli iqlim şəraiti üçün xüsusi əhəmiyyətə malik olur.

Yanıcı qarışığın tərkibi mühərrikin iş göstəricilərinə çox böyük təsir göstərir. Onun tərkibi isə onu təşkil edən yanacağın və havanın nisbi miqdarı ilə xarakterizə edilir. Mühərrikin iş şəraitindən, onun gücünün tənzimlənmə üsulundan, yanıcı qarışığın hazırlanma üsulundan və yanacağın yanma şəraitindən asılı olaraq yanacağın hər bir həcm və ya kütlə vahidinin yanması üçün ayrılan havanın miqdarı müxtəlif olur. Yanıcı qarışıqdakı havanın nisbi miqdarı isə hava artıqlıq əmsalı ilə müəyyən olunur.

Yanıcı qarışığın tərkibindəki havanın həqiqi miqdarının (l və ya L) yanacağın tam yanması üçün tələb edilən havanın nəzəri miqdarına (l_0 və ya L_0) olan nisbəti *hava artıqlıq əmsalı* adlanır:

$$\alpha = \frac{l}{l_0} = \frac{L}{L_0} = \frac{G_h}{G_y l_0},$$

burada l və L - vahid miqdarda yanacağın yanması üçün verilən havanın miqdarıdır (müvafiq olaraq kq və

$kmol$ ilə);

l_0 və L_0 - vahid miqdarda yanacağın tam yanması üçün verilən havanın miqdarıdır (müvafiq olaraq

kq və $kmol$ ilə);

G_y və G_h - müvafiq olaraq mühərrikin saatlıq yanacaq və hava sərfəlidir, $kq/saat$;

$G_y l_0$ - G_y yanacaq miqdarının tam yanması üçün nəzəri tələb olunan hava miqdarıdır.

Xarici ədəbiyyatlarda hava artıqlıq əmsalı anlayışından başqa yanıcı qarışığın tərkibini ifadə etmək üçün *yanacaq-hava miqdarı nisbəti* adlı əmsaldan da istifadə olunur:

$$\lambda = \frac{G_y}{G_h} = \frac{l}{l_0 \alpha}.$$

Yanıcı qarışığın tərkibində olan havanın miqdarı nəzəri tələb olunan hava miqdarına bərabər olduqda, belə qarışiq *normal* və ya *stexiometrik yanıcı qarışiq* adlanır.

Mühərrikin müxtəlif iş rejimlərində yanıcı qarışığın tərkibi sabit qalmır və geniş hədlərdə dəyişir. Belə ki, yanacaq yandırılan şəraitdə verilən havanın həqiqi miqdarı nəzəri tələb olunan hava miqdarından fərqli olur.

Əgər qarışıqdakı havanın həqiqi miqdarı nəzəri tələb olunan hava miqdarından azdırsa, belə yanıcı qarışıq *zəngin yanıcı qarışıq* adlanır. Həqiqi hava miqdarı nəzəri tələb olunan hava miqdarından çox olduqda isə belə yanıcı qarışıq *kasıb yanıcı qarışıq* adlanır. Kasıb və zəngin yanıcı qarışıq anlayışı qarışığın tərkibindəki yanacağın nisbi miqdarını ifadə edir. Yəni, zəngin yanıcı qarışıqda yanacağın havaya nisbətən çox, kasıb qarışıqda isə, əksinə, az olduğu nəzərdə tutulur.

Yanıcı qarışığın hansı tərkibə aid olması hava artıqlıq əmsalının qiymətinə görə müəyyən edilir:

- $L=L_0$ olduqda yanıcı qarışıq *normal* və ya *stexiometrik*dir, onda $\alpha=1$ –dir;

- $L<L_0$ olduqda yanıcı qarışıq *zəngindir*, onda $\alpha < 1$ –dir;

- $L>L_0$ olduqda yanıcı qarışıq *kasıbdır*, onda $\alpha > 1$ –dir.

Cədvəl 8.1-də müxtəlif mühərriklər üçün hava artıqlıq əmsalının tam gücə uyğun olan qiymətləri göstərilmişdir:

Cədvəl 8. 1

Mühərrikin tipi	Yanıcı qarışığın tərkibi, α
Karbürətorlu mühərriklər	0,80÷0,96
Forkamer-məşəllə alıxdırma mühərriklər	0,85÷0,98 və yuxarı
Qığılcımla alıxdırma və yanacaq püskürməli mühərriklər	0,85÷1,30
Bütöv yanma kamerli, həcmi qarışdırma dizellər	1,50÷1,70
Bütöv yanma kamerli, təbəqəli qarışdırma dizellər	1,50÷1,60
Burulğan kamerli dizellər	1,30÷1,45
Ön kamerli dizellər	1,40÷1,50
Üstəlik üfürməli dizellər	1,30÷2,2

Üstəlik üfürməli mühərriklərdə silindrin hava ilə üfürülməsi həyata keçirildikdə *cəm hava artıqlıq əmsalı* adlanan parametrdən istifadə olunur:

$$\alpha_{\Sigma} = \varphi_{uf} \alpha,$$

Burada $\varphi_{uf}=1,0\div1,25$ – dördtaktlı mühərriklər üçün üfürmə əmsalıdır.

α -nın azaldılması mühərrikin işçi prosesinin fərsirə edilməsinin səmərəli yollarından biridir. Mühərrikin verilmiş gücü üçün hava artıqlıq əmsalının müəyyən hədlərə qədər azaldılması nəticəsində silindrin diametri də kiçilir. Lakin α -nın azalması ilə yanacağın natamam yanması baş verir, mühərrikin yanacaq qənaətliliyi pisləşir, onun temiki gərginliyi yüksəlir. Praktiki cəhətdən yanacağın mühərrikdə tam olaraq yandırılmasının təmin olunması üçün $\alpha > 1$ olması tələb olunur. Çünki, hətta $\alpha=1$ halında da hər bir yanacaq zərrəciyinin tələb olunan miqdarda hava ilə təmin olunduğu yanıcı qarışığın alınması mümkün olmur.

Mühərrikin hər iş siklinin əvvəlində onun silindrinə ya yanacaq ilə havanın qarışığı, ya da təmiz hava daxil olur. Ümumilikdə bu *təzə qarışıq* adlanır.

Qığılcımla alıxdırma mühərriklərdə yanıcı qarışığın *mol* miqdarı:

$$M_1 = \alpha L_0 + \frac{1}{m_y}, \text{ kmol yanıcı qarışıq/kq}$$

burada m_y – yanacaq buxarlarının molekul kütləsidir, *kq/kmol*.

Müxtəlif yanacaq növləri üçün m_y –in aşağıdakı qiymətləri götürülür: avtomobil benzinləri üçün – $m_y=110\div120$ *kq/kmol*, dizel yanacaqları üçün $m_y=180\div200$ *kq/kmol*.

Yanıcı qarışığın *mol* miqdarı təyin edilərkən dizel mühərriklərində istifadə olunan dizel yanacağının molekul kütləsinin böyük olduğu nəzərə alındığından

$$M_1 = \alpha L_0, \text{ kmol yanıcı qarışıq/kq və kq yanıcı qarışıq/kq yanacaq}$$

olur.

Qazla işləyən mühərriklər üçün

$$M'_1 = \alpha L'_0, \text{ mol yanıcı qarışıq/mol yanacaq}$$

İstənilən yanacaq üçün yanıcı qarışığın kütləsi:

$$m_1 = \alpha l_0 + 1,$$

burada m_1 – yanıcı qarışığın kütlə miqdarıdır, *kq yanıcı qarışıq/kq yanacaq*.

Yanıcı qarışıq yandıqdan sonra alınan məhsul *yanma məhsulları* adlanır.

Yanma məhsullarının tərkibi əsas etibarilə yanacaqın növündən yox, yanıcı qarışığın tərkibindən asılı olaraq dəyişir. Bunun səbəbi yanacaqların eyni yanar kimyəvi elementlərin birləşmələrindən ibarət olmasıdır.

Yanıcı qarışığın tərkibindən asılı olaraq yanma məhsullarının tərkibi üç cür ola bilər:

1. $\alpha > 1$ halında yanıcı qarışıq kasıb olduğundan onun tərkibindəki yanacaq tamamilə yana bilər və yanma məhsulları karbon qazından (CO_2), su buxarından (H_2O), izafi oksigendən (O_2) və azotdan (N_2) ibarət olur. Maye yanacaq yandırıldığı halda yanma məhsullarının tərkibindəki ayrı-ayrı komponentlərin miqdarı aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

- karbon qazı CO_2 :

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12}, \text{ kmol } CO_2/kq \text{ yanacaq};$$

- su buxarı H_2O :

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2}, \text{ kmol } H_2O/ kq \text{ yanacaq};$$

- izafi oksigen O_2 :

$$M_{O_2} = 0,208(\alpha - 1)L_0, \text{ kmol } O_2/kq \text{ yanacaq};$$

- azot N_2 :

$$M_{N_2} = 0,792\alpha L_0, \text{ kmol } N_2/kq \text{ yanacaq}.$$

Bu hal üçün yanma məhsullarının ümumi miqdarı:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + (\alpha - 0,208)L_0, \text{ kmol yanma məhsulları/kq yanacaq}$$

olur.

Qaz yanacağı yandırıldığı halda isə yanma məhsullarının tərkibindəki ayrı-ayrı komponentlərin miqdarı aşağıdakı kimi müəyyən edilir

- karbon qazı CO_2 :

$$M'_{CO_2} = \Sigma n(C_n H_m O_r), \text{ mol } CO_2 \text{ mol yanacaq};$$

- su buxarı H_2O :

$$M'_{H_2O} = \Sigma \frac{m}{2}(C_n H_m O_r), \text{ mol } H_2O/ \text{ mol yanacaq};$$

- izafi oksigen O_2 :

$$M'_{O_2} = 0,208(\alpha - 1)L'_0, \text{ mol } O_2/\text{mol yanacaq};$$

- azot N_2 :

$$M'_{N_2} = 0,792\alpha L'_0 + N_2, \text{ mol } N_2/\text{mol yanacaq},$$

Burada N_2 – qaz yanacağının tərkibindəki azotun miqdarı, *mol*.

Qaz yanacağı üçün yanma məhsullarının ümumi miqdarı:

$$M'_2 = M'_{CO_2} + M'_{H_2O} + M'_{O_2} + M'_{N_2}, \text{ mol yanma məhsulları/mol yanacaq}.$$

2. $\alpha = 1$ halında yanıcı qarışıq normal (stexiometrik) olduğundan onun tərkibindəki yanacaq nəzəri olaraq tamamilə yana bilər və yanma məhsulları karbon qazından (CO_2), su buxarından (H_2O) və azotdan (N_2) ibarət olur. Maye yanacaq yandırıldığı halda yanma məhsullarının tərkibindəki ayrı-ayrı komponentlərin miqdarı aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

- karbon qazı CO_2 :

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12}, \text{ kmol } CO_2/kq \text{ yanacaq};$$

- su buxarı H_2O :

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2}, \text{ kmol } H_2O/ kq \text{ yanacaq};$$

- azot N_2 :

$$M_{N_2} = 0,792\alpha L_0, \text{ kmol } N_2/\text{kq yanacaq.}$$

Bu hal üçün yanma məhsullarının ümumi miqdarı:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{N_2} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,792\alpha L_0, \text{ kmol yanma məhsulları/kq yanacaq}$$

olur.

Qaz yanacağı yandırıldığı halda isə yanma məhsullarının tərkibindəki ayrı-ayrı komponentlərin miqdarı aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

- karbon qazı CO_2 :

$$M'_{CO_2} = \Sigma n(C_n H_m O_r), \text{ mol } CO_2 \text{ mol yanacaq;}$$

- su buxarı H_2O :

$$M'_{H_2O} = \Sigma \frac{m}{2} (C_n H_m O_r), \text{ mol } H_2O / \text{ mol yanacaq;}$$

- azot N_2 :

$$M'_{N_2} = 0,792\alpha L'_0 + N_2, \text{ mol } N_2 / \text{ mol yanacaq,}$$

Burada N_2 – qaz yanacağının tərkibindəki azotun miqdarı, *mol*.

Qaz yanacağı üçün yanma məhsullarının ümumi miqdarı:

$$M'_2 = M'_{CO_2} + M'_{H_2O} + M'_{N_2}, \text{ mol yanma məhsulları/mol yanacaq.}$$

3. $\alpha < 1$ halında yanıcı qarışıq zəngin olduğundan onun tərkibindəki yanacaq tamamilə yana bilmir və yanma məhsulları karbon qazından (CO_2), dәм qazından (CO), su buxarından (H_2O), sərbəst hidrogendən (H_2) və azotdan (N_2) ibarət olur. Maye yanacaq yandırıldığı halda yanma məhsullarının tərkibindəki ayrı-ayrı komponentlərin miqdarı aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

- karbon qazı CO_2 :

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - 2 \frac{1-\alpha}{1+k} 0,208 L_0, \text{ kmol } CO_2 / \text{ kq yanacaq;}$$

- dәм qazı CO :

$$M_{CO} = 2 \frac{1-\alpha}{1+k} 0,208 L_0, \text{ kmol } CO / \text{ kq yanacaq;}$$

- su buxarı H_2O :

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2}, \text{ kmol } H_2O / \text{ kq yanacaq;}$$

- sərbəst hidrogen H_2 :

$$M_{H_2} = \frac{H}{2} - 2k \frac{1-\alpha}{1+k} 0,208 L_0, \text{ kmol } H_2 / \text{ kq yanacaq;}$$

- azot N_2 :

$$M_{N_2} = 0,792\alpha L_0, \text{ kmol } N_2 / \text{ kq yanacaq,}$$

burada k – sabit kəmiyyət olub, yanma məhsullarının tərkibindəki sərbəst hidrogenin miqdarının dәм qazının miqdarına olan nisbətindən asılıdır. Benzin üçün $k=0,45 \div 0,50$ götürülür.

Bu hal üçün yanma məhsullarının ümumi miqdarı:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,792\alpha L_0, \text{ kmol yanma məhsulları/kq yanacaq}$$

olur.

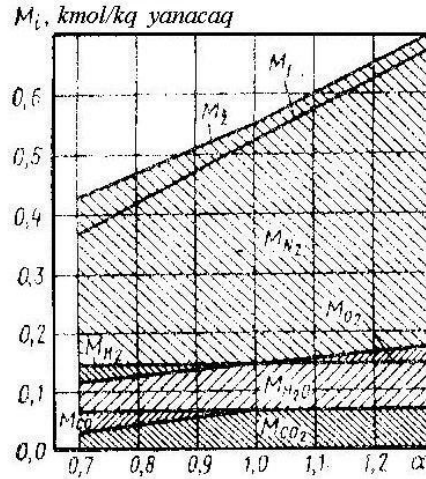
Qaz yanacağı yandırıldığı halda isə yanma məhsullarının ümumi miqdarı:

$$M'_2 = \Sigma \left(n + \frac{m}{2} \right) C_n H_m + N_2 + (\alpha - 0,208) L_0, \text{ mol yanma məhsulları/mol yanacaq}$$

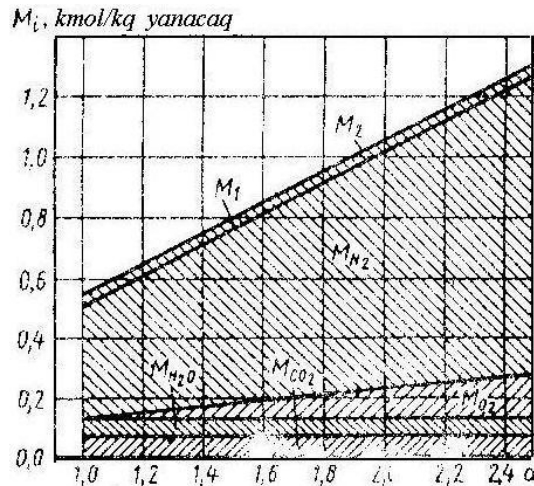
olur.

Yanma məhsullarının yuxarıda verilmiş hesablamaları yalnız mühərrikin energetik və qənaət göstəricilərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərən komponentləri əhatə edir. Yanma məhsullarının tərkibinə daxil olan digər komponentlərin (azot, qurğuşun və kükürd oksidləri, yanmamış karbohidrogenlər və s.) miqdarı çox kiçik olduğundan energetik hesablamalarda onlar nəzərə alınmır. Bu komponentlər yalnız mühərrikin ekoloji xarakteristikasına əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir.

Göründüyü kimi həm yanıcı qarışıq, həm yanma məhsulları, həm də yanma məhsullarının ayrı-ayrı komponentlərinin miqdarı hava artıqlıq əmsalından asılı olur. Benzin və dizel mühərrikləri üçün bu asılılıqların qrafikləri şəkl.8.1 və şəkl.8.2-də göstərilmişdir.



Şəkil 8.1. Benzin mühərriki üçün yanıcı qarışıq, yanma məhsulları və onların ayrı-ayrı komponentlərinin miqdarlarının hava artıqlıq əmsalından asılılığı



Şəkil 8.2. Dizel Benzin mühərriki üçün yanıcı qarışıq, yanma məhsulları və onların ayrı-ayrı komponentlərinin miqdarlarının hava artıqlıq əmsalından asılılığı

Yanıcı qarışıq və yanma məhsullarının *mol* miqdarları müxtəlif olduğundan yanma reaksiyasına girən komponentlərin və yanma məhsulları komponentlərinin həcmli və *mol* miqdarları bir-birindən fərqlənə bilər. Yanma zamanı komponentlərin *mol* miqdarlarının dəyişməsi aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\Delta M = M_2 - M_1, \text{ kmol yanıcı qarışıq/kq yanacaq}$$

Maye yanacaqlar üçün yanma məhsullarının *mol* miqdarı həmişə yanıcı qarışığın *mol* miqdarından çox olur. Yanma məhsullarının artımı (ΔM) isə yanacaq molekullarının parçalanması və yeni molekulların yaranmasının kimyəvi reaksiyaları nəticəsində baş verir. Yanma məhsulları molekullarının sayının artması müsbət amil hesab edilir, belə ki, nəticədə yanma məhsullarının həcmi böyüdüyündən genişlənmə zamanı qazların faydalı işi yüksəlir.

Qaz yanacaqlarının yanması zamanı μ_0 mol saylarının dəyişməsi ($\Delta M'$) yanacağın tərkibindəki karbohidrogenlərin tipindən, miqdarından, habelə karbohidrogenlərin, hidrogenin və dəm qazının nisbətindən asılıdır. Bu səbəbdən $\Delta M'$ həm “*müsbət*”, həm də “*mənfi*” alına bilər.

Yanma zamanı qazların miqdarının dəyişməsi *kimyəvi molekulyar dəyişmə əmsalı* (μ_0) ilə xarakterizə edilir. Bu parametr yanma məhsullarının *mol* miqdarının yanıcı qarışıqın miqdarına olan nisbətində bərabərdir:

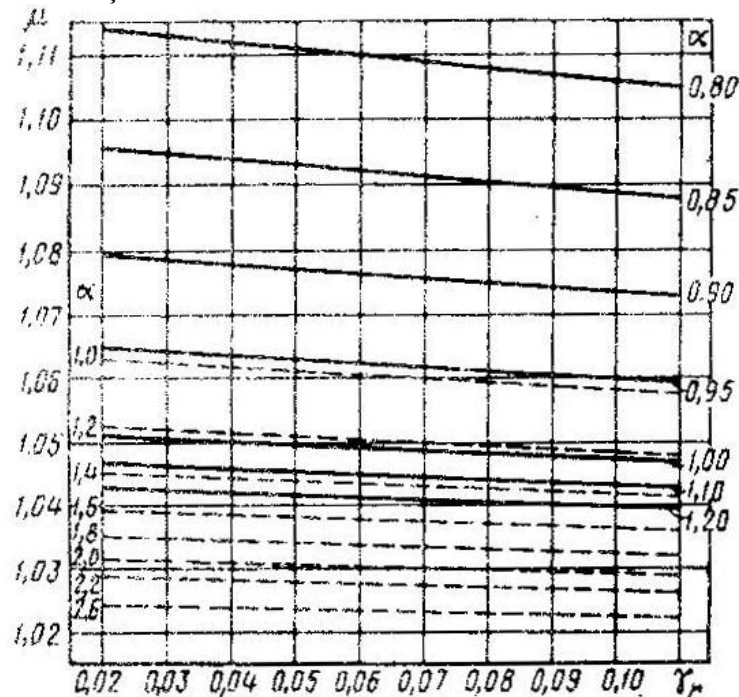
$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{M_1 + \Delta M}{M_1} = 1 + \frac{\Delta M}{M_1}.$$

Maye yanacaqlar üçün $\alpha > 1$ olduqda artım $\Delta M = \frac{H}{4} + \frac{O}{32}$ və yanıcı qarışıqın miqdarı $M_1 = \alpha L_0$ olduğundan

$$\mu_0 = 1 + \frac{\frac{H}{4} + \frac{O}{32}}{\alpha L_0}$$

olur.

Göründüyü kimi kimyəvi molekulyar dəyişmə əmsalı yalnız yanacağın tərkibindən deyil, həm də hava artıqlıq əmsalından asılıdır. Özü də maye yanacaqlar üçün μ_0 həmişə vahiddən böyük olur və hava artıqlıq əmsalı kiçildikcə artır (şəkil 8.3). μ_0 əyrisinin $\alpha = 1$ qiymətində sınması isə dəm qazının (CO) ayrılmasının kəsilməsi və yanacağın tərkibindəki karbonun tamamilə yanaraq karbon qazı (CO_2) əmələ gətirməsi nəticəsində baş verir.



Şəkil 8.3. Yanıcı qarışıqın kimyəvi molekulyar dəyişmə əmsalının hava artıqlıq əmsalından asılılığı:

1 – benzinlə havanın qarışığı; 2 – dizel yanacağı ilə havanın qarışığı

Real daxili yanma mühərrikinin silindrində baş verən yanma prosesində yanıcı qarışıq yox, *işçi qarışıq* iştirak edir. İşçi qarışıq yanıcı qarışıqdan (M_1) və xaricətmə prosesi zamanı yanma məhsullarının silindrdən çıxarıla bilməyən hissəsi olan qalıq qazların (M_r) qarışığından ibarət olur.

Qalıq qazların nisbi miqdarını *qalıq qazlar əmsalı* adlanan parametr xarakterizə edir. Qalıq qazların *mol* miqdarının (M_r) yanıcı qarışıqın *mol* miqdarına (M_1) olan nisbəti *qalıq qazlar əmsalı* adlanır:

$$\gamma_r = \frac{M_r}{M_1}.$$

İşçi qarışığın yanması zamanı onun həcmi dəyişir. Bu dəyişməni işçi qarışığın *həqiqi molekulyar dəyişmə əmsalı* (μ) adlanan parametr xarakterizə edir. Yanmadan sonra silindrdə yanma məhsullarından və qalıq qazlardan ibarət olan qaz qarışığı qalır. Bu qazların ümumi *mol* miqdarının ($M_2 + M_r$) işçi qarışığın yanmadan əvvəlki *mol* miqdarına ($M_1 + M_r$) olan nisbəti işçi qarışığın *həqiqi molekulyar dəyişmə əmsalı* adlanır:

$$\mu = \frac{M_2 + M_r}{M_1 + M_r} = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}.$$

Göstərilən düsturdan aydın olur ki, həqiqi molekulyar dəyişmə əmsalı μ qalıq qazlar əmsalından (γ_r) və kimyəvi molekulyar dəyişmə əmsalından (μ_0) asılıdır. Kimyəvi molekulyar dəyişmə əmsalı (μ_0)da öz növbəsində yanacağın növündən və hava artıqlıq əmsalından (α) asılıdır. Həqiqi molekulyar dəyişmə əmsalına ən çox hava artıqlıq əmsalı (α) təsir göstərir. α azaldıqca, həqiqi molekulyar dəyişmə əmsalının qiyməti artır. Bu artım $\alpha < 1$ halında daha da intensivləşir.

Həqiqi molekulyar dəyişmə əmsalı aşağıdakı hədlərdə dəyişir:

Benzin mühərrikləri üçün	1,02÷1,12
Dizel mühərrikləri üçün	1,01÷1,06

YANACAQ, YANICI VƏ İŞÇİ QARIŞIQLARIN YANMA İSTİLİKLƏRİ

Yanacağın həcm və ya kütlə vahidinin tam yanması zamanı ayrılan istiliyin *yanacağın yanma istiliyi* adlı parametrlə qiymətləndirildiyi və daxili yanma mühərrikləri üçün yanacağın istiliktörətmə qabiliyyətinin praktiki cəhətdən dəyərləndirilməsi üçün yanacağın *aşağı yanma istiliyi* adlı parametrdən istifadənin məqsəduyğun hesab edilməsi yanacaqlar haqqında olan bölümdə qeyd olunmuşdur. Ayrı-ayrı yanacaq növləri üçün aşağı yanma istiliyinin təyində istifadə olunan düsturlar da həmin bölümdə göstərilmişdir.

Lakin yanacağın istilik nöqteyi-nəzərindən daha əhatəli xarakterizə olunması üçün yanacaq-hava qarışıqlarının da yanma istiliklərini bilmək lazımdır. Vahid miqdarda yanacağın yanma istiliyinin yanıcı qarışığın ümumi miqdarına olan nisbətə *yanıcı qarışığın yanma istiliyi* deyilir. Yanıcı qarışığın həcmcə miqdarı götürüldükdə yanma istiliyi $MC/kmol$ -la, kütlə miqdarı götürüldükdə isə MC/kg -la ifadə olunur:

$$H_{yan.qar} = H_u / M_1 \text{ və ya } H_{yan.qar} = H_u / m_1.$$

Zəngin yanıcı qarışıqlarla ($\alpha < 1$) işləyən mühərriklərdə oksigen çatışmazlığı üzündən yanacağın kimyəvi natamam yanması baş verir. Bu halda itirilən yanma istiliyi aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$\Delta H_u = 119,95(1-\alpha)L_0, \quad MC/kg.$$

Onda zəngin yanıcı qarışıq üçün yanma istiliyinin düsturu aşağıdakı şəkli alır:

$$H_{yan.qar} = (H_u - \Delta H_u) / M_1 \text{ və ya } H_{yan.qar} = (H_u - \Delta H_u) / m_1.$$

Qeyd etmək lazımdır ki, yanıcı qarışığın yanma istiliyi yanacağın yanma istiliyinə mütənasib olaraq dəyişir. Hava artıqlıq əmsalının eyni qiymətində dizel yanacağı ilə havanın qarışığının yanma istiliyi benzin-hava qarışığının yanma istiliyindən çox olur. Bu, vahid miqdarda dizel yanacağının tam yanması üçün sərf olunan hava miqdarının eyni miqdarda benzinin yanmasına sərf olunan hava miqdarına nisbətən az olması ilə əlaqədardır.

Məlum olduğu kimi yanma prosesində yanıcı qarışıq yox, işçi qarışıq iştirak edir. Bu səbəbdən işçi qarışıq üçün yanma istiliyinin müəyyən edilməsi lazımdır. Hava artıqlıq əmsalının qiymətindən asılı olaraq işçi qarışığın yanma istiliyi aşağıdakı düsturlarla hesablanır:

$\alpha \geq 1$ halında

$$H_{iş.qar} = H_u / (M_1 + M_r) = H_u / [M_1(1 + M_r/M_1)], \quad MC/kmol,$$

$\alpha < 1$ halında

$$H_{iş.qar} = (H_u - \Delta H_u) / [M_1(1 + \gamma_r)], \quad MC/kmol$$

olur. Düsturlardan görüldüyü kimi işçi qarışığın yanma istiliyi yanıcı qarışığın yanma istiliyinə mütənasib olaraq dəyişir. α -nın eyni qiymətlərində isə işçi qarışıqların yanma istiliyi qalıq qazlar əmsalı (γ_r) azaldıqca, artır.

Qazların istilik tutumu

Daxili yanma mühərrikinin istilik hesabını aparan zaman havanın, yanıcı qarışığın və yanma məhsullarının istilik tutumunu bilmək tələb olunur.

“Termodinamika” kursundan məlumdur ki, işçi cismə verilən istilik miqdarının bu istiliyin verilməsi nəticəsində baş verən temperatur dəyişməsinə olan nisbəti *işçi cismin orta istilik tutumu* adlanır. İstilik tutumunun qiyməti işçi cismin temperatur və təzyiqindən, onun fiziki xassələrindən və baş verən prosesin xarakterindən asılı olur.

DYM-nin işçi proseslərinin hesabı zamanı adətən sabit həcmdə və sabit təzyiqdə orta molekulyar istilik tutumlarından (mc_v və mc_p) istifadə olunur, ($kC/(kmol.dər)$). Onların arasında aşağıdakı asılılıq mövcuddur:

$$mc_p - mc_v = 8,315.$$

Müxtəlif qazlar üçün orta molekulyar istilik tutumlarının temperaturdan asılı olaraq müəyyən edilməsi üçün empirik düsturlardan, sorğu cədvəllərindən və ya qrafiki asılılıqlardan istifadə olunur.

Adətən, avtotraktor mühərriklərində müşahidə olunan təzyiq diapazonlarında təzyiqin orta molekulyar istilik tutumlarına təsiri çox az olduğundan bu təsir nəzərə alınmır.

Cədvəl 8.2-də bəzi qazlar üçün sabit həcmdə orta molekulyar istilik tutumunun qiymətləri verilmişdir. Cədvəl 8.3-də isə müxtəlif qazların orta molekulyar istilik tutumunun tapılması üçün istifadə olunan empirik düsturlar göstərilmişdir. Bu düsturlar orta molekulyar istilik tutumlarının sorğu cədvəllərində verilmiş qiymətlərinin analizi əsasında tərtib edilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, orta molekulyar istilik tutumlarının bu düsturlarla təyin olunan qiymətləri ilə cədvəl verilənləri arasındakı fərq 1,8 %-dən çox alınmır.

Hesablamalar zamanı benzin və dizel mühərriklərindəki təzə qarışığın istilik tutumu adətən havanın istilik tutumuna bərabər götürülür, yəni yanacaq buxarlarının təsiri nəzərə alınmır. Qazla işləyən mühərriklərdə isə qaz yanacağı ilə havanın istilik tutumları arasındakı fərq nəzərə alınmır.

Cədvəl 8. 2

Temperatur, °C	Müxtəlif qazların sabit həcmdə orta molekulyar istilik tutumu, $kC/(kmol \cdot dər)$						
	Hava	O ₂	N ₂	H ₂	CO	CO ₂	H ₂ O
1	2	3	4	5	6	7	8
0	20,759	20,960	20,705	20,303	20,809	27,546	25,185
100	20,839	21,224	20,734	20,621	20,864	29,799	25,428
200	20,985	21,617	20,801	20,759	20,989	31,746	25,804
300	21,207	22,086	20,973	20,809	21,203	33,442	26,261
400	21,475	22,564	21,186	20,872	21,475	34,936	26,776
500	21,781	23,020	21,450	20,935	21,785	36,259	27,316
600	22,091	23,447	21,731	21,002	22,112	37,440	27,881
700	22,409	23,837	22,028	21,094	22,438	38,499	28,476
800	22,714	24,188	22,321	21,203	22,756	39,450	29,079
900	23,008	24,551	22,610	21,333	23,062	40,304	29,694
1000	23,284	24,804	22,882	21,475	23,351	41,079	30,306
1100	23,548	25,072	23,142	21,630	23,623	41,786	30,913
1200	23,795	25,319	23,393	21,793	23,878	42,427	31,511
1300	24,029	25,549	23,627	21,973	24,113	43,009	32,093
1400	24,251	25,763	23,849	22,153	24,339	43,545	32,663
1500	24,460	25,968	24,059	22,333	24,544	44,035	33,211
1600	24,653	26,160	24,251	22,518	24,737	44,487	33,743
1700	24,837	26,345	24,435	22,698	24,917	44,906	34,262
1800	25,005	26,520	24,603	22,878	25,089	45,291	34,756
1900	25,168	26,692	24,766	23,058	25,248	45,647	35,225
2000	25,327	26,885	24,917	23,234	25,394	45,977	35,682
2100	25,474	27,015	25,063	23,410	25,537	46,283	36,121
2200	25,612	27,169	25,202	23,577	25,666	46,568	36,540
2300	25,746	27,320	25,327	23,744	25,792	46,832	36,942
2400	25,871	27,471	25,449	23,908	25,909	47,079	37,331
2500	25,993	27,613	25,562	24,071	26,022	47,305	37,704
2600*	26,120	27,753	25,672	24,234	26,120	47,515	38,060
2700*	26,250	27,890	25,780	24,395	26,212	47,710	38,395
2800*	26,370	28,020	25,885	24,550	26,300	47,890	38,705

- İstilik tutumu interpolyasiya üsulu ilə hesablanıb

Cədvəl 8. 3

Qazın adı	Ayrı-ayrı qazların °C temperaturları üçün sabit həcmdə orta molekulyar istilik tutumunu $[kC/(kmol \cdot dər)]$ ilə hesablamaq üçün düsturlar	
	0 °C-dən 1500 °C-dək	1501 °C-dən 2800 °C-dək
Hava	$mc_V = 20,600 + 0,002638t$	$mc_V = 22,387 + 0,001449t$
Oksigen O ₂	$mc_{V_{O_2}} = 20,930 + 0,004641t - 0,00000084t^2$	$mc_{V_{O_2}} = 23,723 + 0,001550t$

Azot N ₂	$mc_{V_{N_2}} = 20,398 + 0,0025t$	$mc_{V_{N_2}} = 21,951 + 0,001457t$
Hidrogen H ₂	$mc_{V_{H_2}} = 20,684 + 0,000206t + 0,000000588t^2$	$mc_{V_{H_2}} = 19,678 + 0,001758t$
Dəm qazı CO	$mc_{V_{CO}} = 20,597 + 0,002670t$	$mc_{V_{CO}} = 22,490 + 0,001430t$
Karbon qazı CO ₂	$mc_{V_{CO_2}} = 27,941 + 0,019t - 0,000005487t^2$	$mc_{V_{CO_2}} = 39,123 + 0,003349t$
Su buxarı H ₂ O	$mc_{V_{H_2O}} = 24,953 + 0,05359t$	$mc_{V_{H_2O}} = 26,670 + 0,004438t$

DYM-nin yanma məhsullarının orta molekulyar istilik tutumu qaz qarışığının istilik tutumu kimi hesablanır [$kC/(kmol \cdot dər)$ ilə]:

$$(mc''_v)_{t_0}^{t_x} = \sum_{i=1}^{i=n} r_i (mc_{V_i})_{t_0}^{t_x},$$

burada $r_i = M_i/M_2$ – verilən qarışığın tərkibində olan hər bir qazın həcmə payıdır; $(mc''_v)_{t_0}^{t_x}$ – qarışığın t_x temperaturunda onun tərkibindəki hər bir qazın orta molekulyar istilik tutumudur, $kC/(kmol \cdot dər)$.

Kasıb yanıcı qarışıq ($\alpha > 1$) yanarkən yanma məhsulları karbon qazından (CO₂), su buxarından (H₂O), izafi oksigendən (O₂) və azotdan (N₂) ibarət olur. Bu zaman

$$(mc''_v)_{t_0}^{t_z} = \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} (mc''_{V_{CO_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{H_2O} (mc''_{V_{H_2O}})_{t_0}^{t_z} + M_{O_2} (mc''_{V_{O_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{N_2} (mc''_{V_{N_2}})_{t_0}^{t_z} \right],$$

burada $t_0 = 0^\circ C$; t_z – qarışığın görünən yanmanın sonundakı temperaturudur.

Normal yanıcı qarışıq ($\alpha = 1$) yanarkən yanma məhsulları karbon qazından (CO₂), su buxarından (H₂O) və azotdan (N₂) ibarət olur. Bu zaman

$$(mc''_v)_{t_0}^{t_z} = \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} (mc''_{V_{CO_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{H_2O} (mc''_{V_{H_2O}})_{t_0}^{t_z} + M_{N_2} (mc''_{V_{N_2}})_{t_0}^{t_z} \right]$$

olur.

Zəngin yanıcı qarışıq ($\alpha < 1$) yanarkən yanma məhsulları karbon qazından (CO₂), dəm qazından (CO), su buxarından (H₂O), sərbəst hidrogendən (H₂) və azotdan (N₂) ibarət olur. Bu zaman

$$(mc''_v)_{t_0}^{t_z} = \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} (mc''_{V_{CO_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{CO} (mc''_{V_{CO}})_{t_0}^{t_z} + M_{H_2O} (mc''_{V_{H_2O}})_{t_0}^{t_z} + M_{H_2} (mc''_{V_{H_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{N_2} (mc''_{V_{N_2}})_{t_0}^{t_z} \right]$$

olur.

C=0,855, H=0,145 tərkibli benzinin yanma məhsullarının orta molekulyar istilik tutumunun hava artıqlıq əmsalından asılı qiymətləri cədvəl 4-də, C=0,870, H=0,126 və O=0,004 tərkibli dizel yanacağının yanma məhsullarının orta molekulyar istilik tutumunun hava artıqlıq əmsalından asılı qiymətləri isə cədvəl 5-də göstərilmişdir.

Cədvəl 8.4

Temperatur, °C	Benzinin yanma məhsullarının orta molekulyar istilik tutumlarının α -dan asılı qiymətləri, $kC/(kmol \cdot dər)$											
	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
0	21,683	21,786	21,880	21,966	22,046	22,119	22,187	22,123	22,065	22,011	21,962	21,916
100	21,902	22,031	22,149	22,257	22,356	22,448	22,533	22,457	22,388	22,325	22,266	22,216
200	22,140	22,292	22,431	22,559	22,676	22,784	22,885	22,796	22,722	22,650	22,584	22,523
300	22,445	22,618	22,776	22,921	23,055	23,173	23,293	23,200	23,115	23,036	22,964	22,898
400	22,777	22,968	23,143	23,303	23,450	23,586	23,712	23,613	23,521	23,437	23,360	23,289
500	23,138	23,345	23,534	23,707	23,867	24,014	24,150	24,045	23,948	23,859	23,777	23,702
600	23,507	23,727	23,929	24,113	24,284	24,440	24,586	24,475	24,373	24,280	24,193	24,114
700	23,882	24,115	24,328	24,523	24,702	24,868	25,021	24,905	24,798	24,700	24,610	24,527
800	24,249	24,493	24,715	24,919	25,107	25,280	25,441	25,319	25,208	25,106	25,012	24,925
900												
1000												
1100												
1200												

1300												
1400												
1500												
1600												
1700												
1800												
1900												
2000												
2100												
2200												
2300												
2400												
2500												
2600												
2700												
2800												

Cədvəl 8.5

Tempe- ratur, °C	Dizel yanacağıının yanma məhsullarının orta molekulyar istilik tutumlarının α -dan asılı qiymətləri, $kC/(kmol \cdot dər)$											
	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60
0												
100												
200												
300												
400												
500												
600												
700												
800												
900												
1000												
1100												
1200												
1300												
1400												
1500												
1600												
1700												
1800												
1900												
2000												
2100												
2200												
2300												
2400												
2500												
2600												
2700												
2800												

DAXILI YANMA MÜHƏRRIKLƏRİNİN HƏQİQİ SIKLLƏRİ

Real sikllərin diaqramları

Real sikllər real mühərriklərdə həyata keçirilir. Real mühərriklərdə işçi cisim rolunu hava ilə yanacağın qarışığı oynayır. Real sikllərdə doldurma və xaricətmə sistemlərindəki qazodinamik müqavimətlər, yanma və yanma məhsullarının atmosfərə xaric olunması, habelə sıxma və genişlənmə proseslərinin gətirdiyi real şəraitin təsirləri nəzərə alınır.

Əvvəl nəzərdən keçirilmiş ideal və nəzəri sikllərdən fərqli olaraq real sikl təsəvvürdə yox, həqiqətdə mövcud olan sikldir. Odur ki, real siklin diaqramı da işləməkdə olan mühərrikin silindrlərində gedən prosesləri qeyd edə bilən cihazların köməyi ilə alınə bilər.

Real siklin diaqramını işləyən mühərrik üzərində almaq üçün istifadə olunan cihaz *təzyiq indikatoru* və ya sadəcə *indikator* adlanır. Məhz bu səbəbdən indikatorla alınan real siklin diaqramına *indikator diaqramı* deyilir. Müasir iti sürətli dym-nin indikator diaqramları *pnevmoelektrik* və *elektron* indikatorların köməyi ilə çıxarılır. Ən çox istifadə olunan isə müxtəlif tipli ossiloqraflara malik olan elektron indikatorlardır.

Mühərriklərin real sikllərinin öyrənilməsi böyük əhəmiyyət kəsb edir. Belə ki, real mühərrikləri öyrənmək onların təkmilləşdirilməsi üçün lazımı yolları araşdırmağa imkan verir.

Dünyada hal-hazırda istehsal olunan daxili yanma mühərriklərinin real siklləri iki nəzəri siklə əsələnir: məcburi alışdırımalı mühərriklər sürətli yanma, özü-özünə alışdırımalı mühərriklər (yəni dizel mühərrikləri) isə qarışıq sikl üzrə işləyir. Tədrici yanma sikli əsasında işləyən dizel mühərrikləri əlverişli olmadığından onların istehsalı hələ XX əsrin ikinci yarısından etibarən dayandırılıb.

Dördtaktlı, məcburi alışdırımalı mühərrik

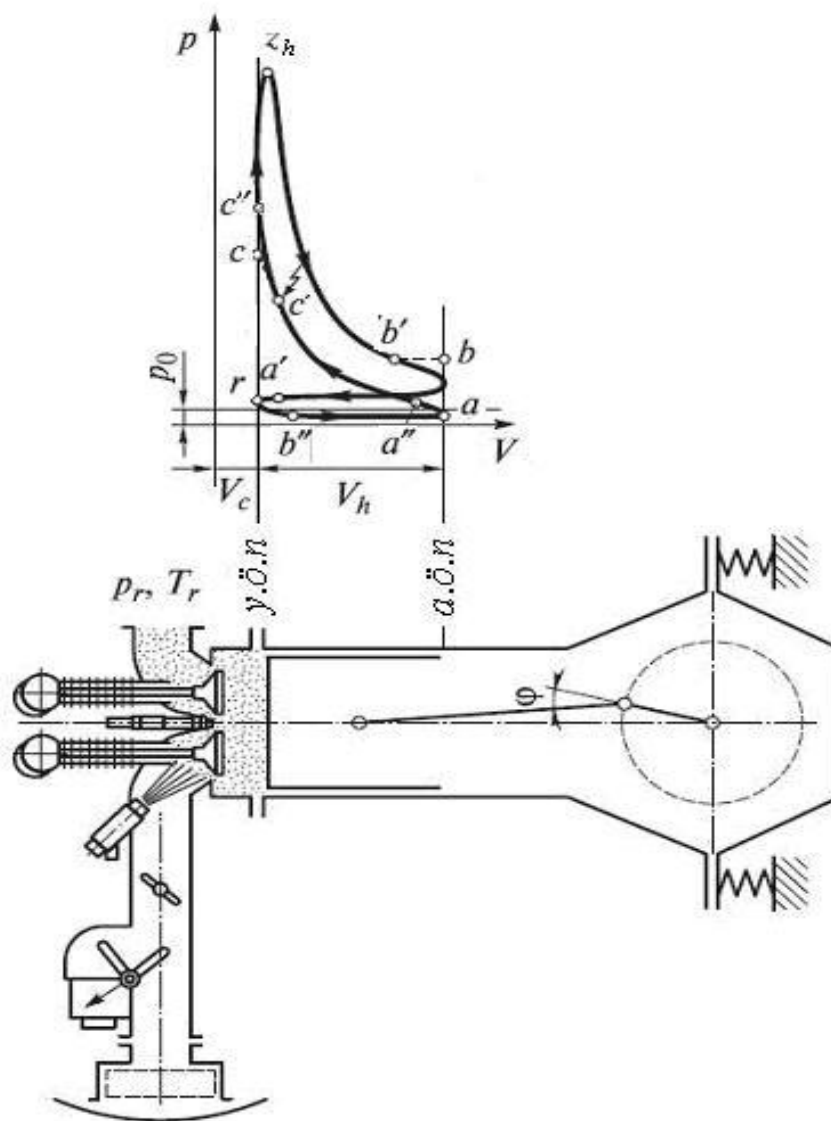
Şək.9.1-də dördtaktlı, məcburi (yəni, qığılcımla) alışdırımalı, sorma borusuna benzin püskürməli mühərrikin sxemi və indikator diaqramı verilmişdir.

Burada **ra** doldurma, **ac** sıxma, **cz** yanma, **zb** genişlənmə, **br** isə xaricətmə proseslərini göstərir. Şəkildən göründüyü kimi, real siklin diaqramında ideal və nəzəri sikllərin diaqramlarına oxşar cəhətlər vardır. Real sikl də nəzəri sikl kimi beş prosesdən ibarətdir.; fərq ondadır ki, burada doldurma və xaricətmə prosesləri atmosfer təzyiqi şəraitində getmir. Sorma (və ya doldurma) və xaricətmə sistemlərində qazodinamik müqavimətlərin təsiri nəticəsində doldurma atmosfer təzyiqindən aşağı, xaricətmə isə yuxarı təzyiqdə gedir. Doldurma zamanı silindrə hava ilə yanacağın qarışığından ibarət işçi cisim – *yanıcı qarışıq* (və ya *təzə qarışıq*) sorulur. Silindrlə ətraf (və ya xarici) mühit arasında istilik mübadiləsi olduğundan sıxma prosesi adiabat üzrə yox, politrop üzrə gedir. Yanma sonlu sürətlə gətirdiyindən, bu proses həcmnin dəyişdiyi şəraitdə baş verir və nəticədə izoxordan fərqlənərək, sağa tərəf meyllənmiş xətt şəklini alır. Genişlənmə prosesi də silindrlə ətraf mühit arasında istilik mübadiləsi şəraitində gətirdiyindən, politrop üzrə olur. Yanma təzyiqinin də real mühərrikdə nəzəri mühərrikə nisbətən az alındığını qeyd etmək lazımdır. Buna səbəb isə yanma zamanı həcmnin dəyişməsi və istilik itkilərinin olmasıdır.

Şəkil 9.1-dəki sxemdə doldurma prosesinin cari vəziyyəti təsvir edilmişdir. Bütün iş sikli porşenin dörd gedişində və ya dirsəkli valın iki tam dövründə başa çatır. Porşenin hər bir gedişi bir *takt* adlanır. Dördtaktlı mühərrik adı da belə mühərrikdə iş siklinin dörd taktı başa gəlməsi ilə əlaqədar olaraq meydana gəlmişdir. Real mühərrikdə 4 takt ərzində 5 proses baş verir. Bu səbəbdən takt və proses məfhumları bir-birindən fərqlənir. Belə ki, birinci taktı doldurma, ikinci taktı sıxma, üçüncü taktı yanma və genişlənmə, dördüncü taktı isə xaricətmə prosesləri gedir.

Dördtaktlı dizel mühərriki

Şəkil 9.2-də dördtaktlı, kompressorsuz dizel mühərrikinin sxemi və indikator diaqramı verilmişdir.



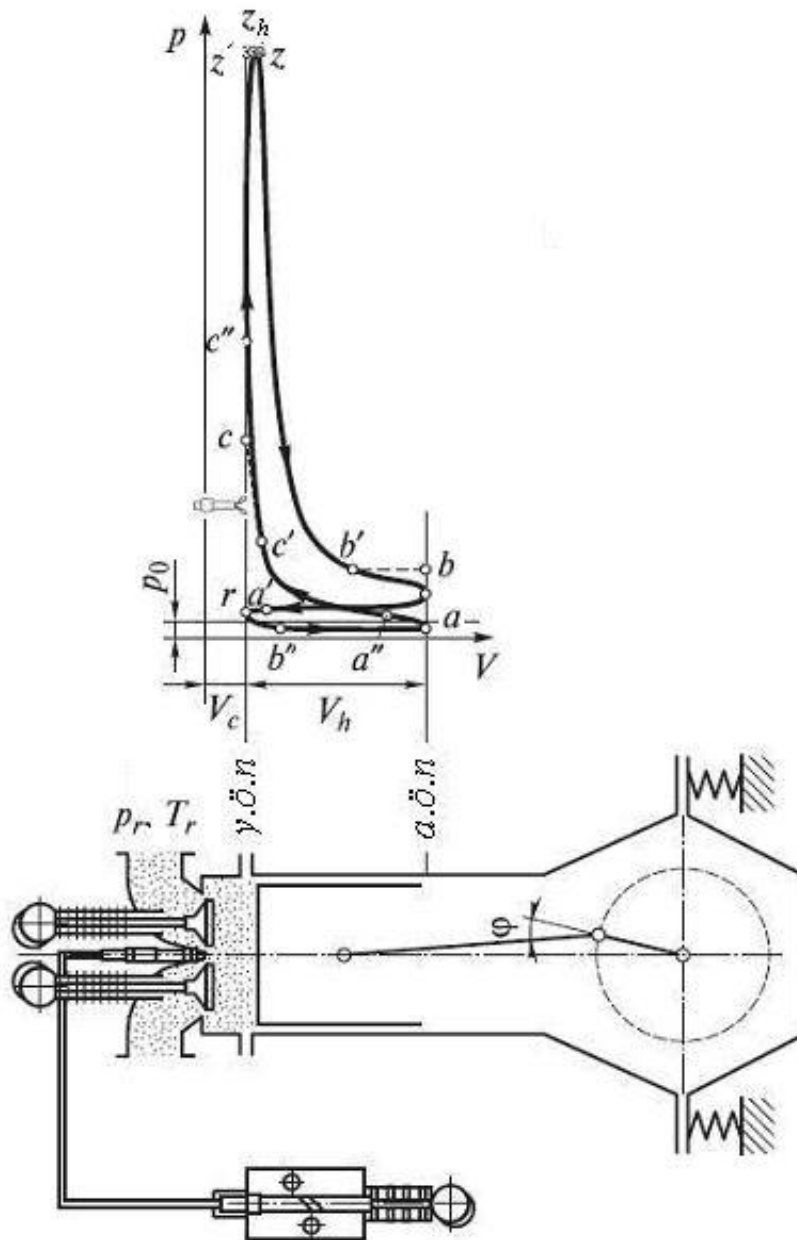
Şəkil 9.1. 4 taktlı, məcburi alışdırılmalı, sorma borusuna benzin püskürməli mühərrikin sxemi və indikator diaqramı

Burada **ra** doldurma, **ac** sıxma, **cz'** yanma, **zb** genişlənmə, **br** isə xaricətmə proseslərini göstərir. Göründüyü kimi dizel mühərrikinin diaqramında da doldurma, sıxma, genişlənmə və xaricətmə prosesləri məcburi alışdırılmalı mühərrikin uyğun proseslərində olduğu kimidir. Fərq yalnız burada təzə qarışıq rolunu *təmiz havanın* oynamasıdır. Yanma prosesi isə Seiliger-Sabate-Trinkler ideal siklinə əsaslanan qarışıq sikl üzrə iki mərhələdə baş verir: birinci mərhələ Bo de Roşa – Otto ideal siklinə əsasən sabit həcm şəraitində baş verir. Lakin real halda yanmanın sonlu sürətlə və həcmi dəyişdiyi şəraitdə getməsi üzündən yanmanın birinci mərhələsini təsvir edən xətti **cz'** xətti izoxorik prosesdən fərqlənir və sağa tərəf meyillənmiş halda olur. Yanmanın ikinci mərhələsi isə Dizel siklinə əsasən sabit təzyiq şəraitində baş verir. Lakin real halda yanma intensivliyinin və porşenin sürətinin təsiri üzündən yanmanın ikinci mərhələsini təsvir edən xətti **z'** xətti izobarik prosesdən fərqlənir.

Dördtaktlı, üstəlik üfürməli dizel mühərriki

Şəkil 9.3-də dördtaktlı, üstəlik üfürməli (və ya üstəlik doldurulan) dizel mühərrikinin sxemi və indikator diaqramı verilmişdir

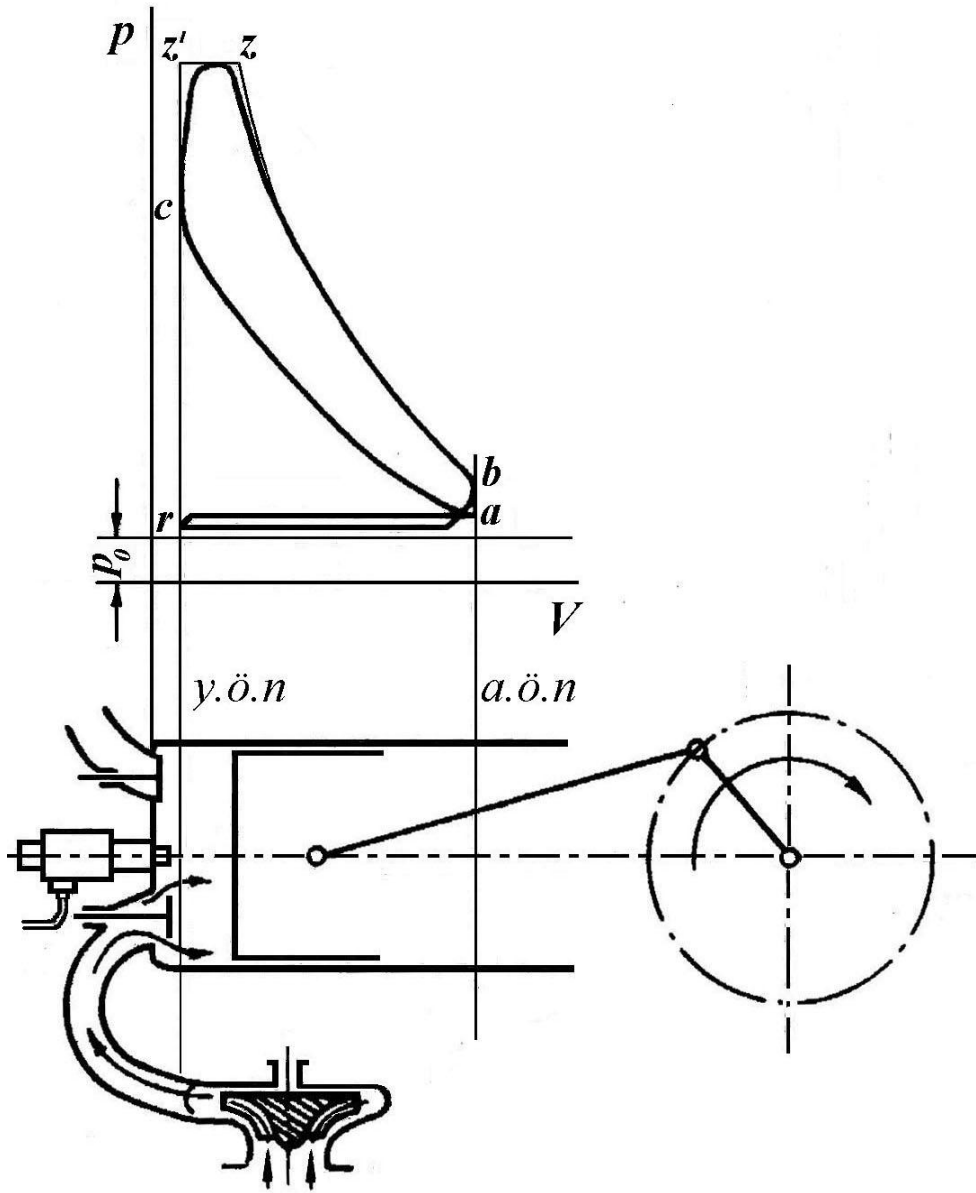
Bu mühərrikin iş sikli adi dizel mühərrikinin iş siklindən, əsasən doldurma və xaricətmə proseslərinə görə fərqlənir. Belə ki, burada həm doldurma, həm də xaricətmə prosesləri atmosfer təzyiqindən yüksək təzyiqlərdə baş verir. Özü də doldurma prosesi xaricətmə prosesindən yüksək təzyiqdə gedir.



Şəkil 9.2. Dördtaktlı, kompressorsuz dizel mühərrikinin sxemi və indikator diaqramı

İkitaklı, məcburi alışdırma mühərrik

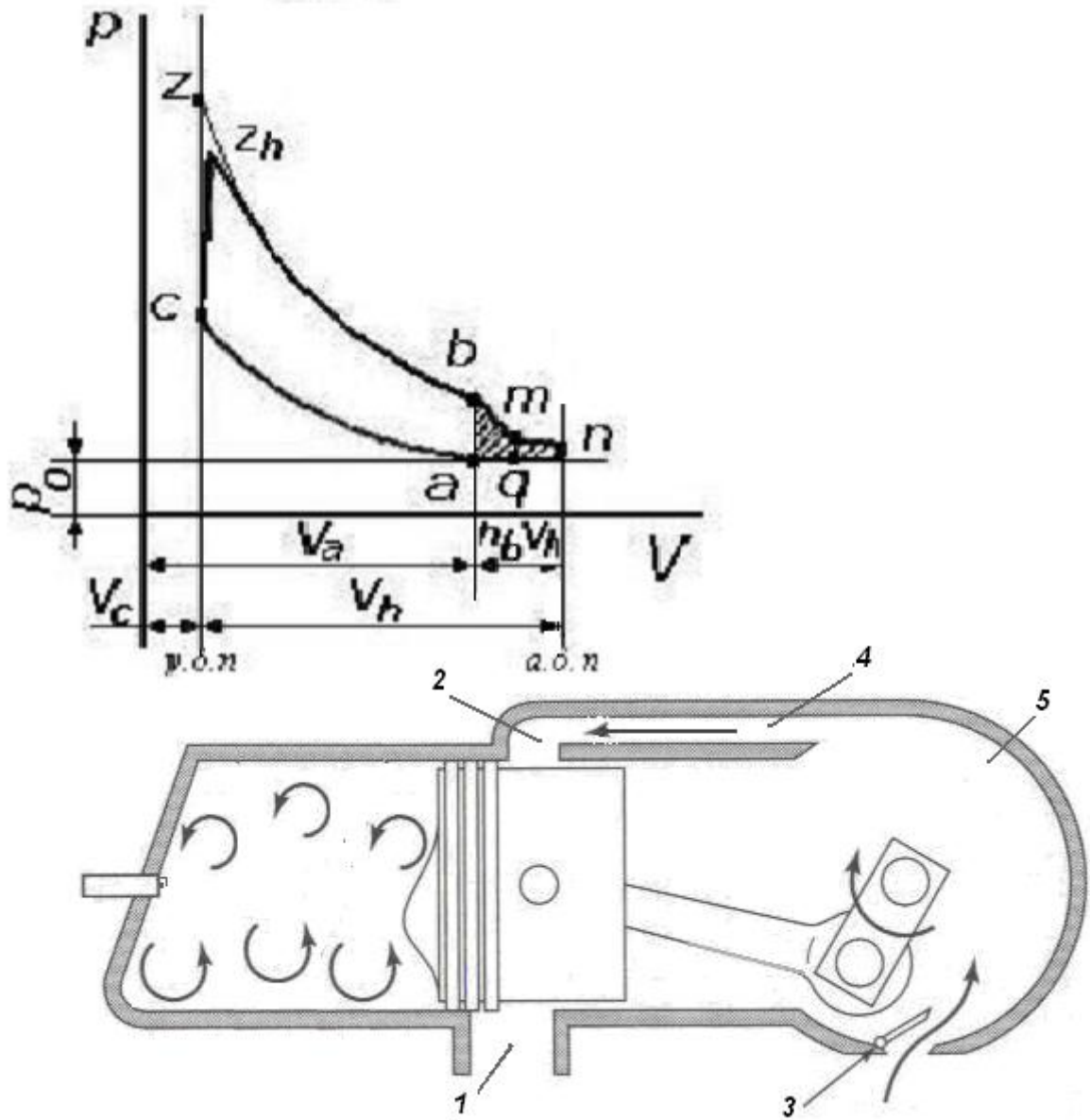
Şək.9.4-də ikitaklı, məcburi (yəni, qığılcımla) alışdırma mühərrikinin sxemi və indikator diaqramı göstərilmişdir. İkitaklı mühərrikdə iş sikli por.enin iki gedişində və ya dirsəkli valın bir tam dövründə başa gəlir. Sıxma, yanma və genişlənmə prosesləri dördtaktlı, məcburi alışdırma mühərrikdəki kimidir. Silindrin işlənmiş qazlardan təmizlənməsi və yeni yanıcı qarışıqla doldurulması prosesləri, porşenin $a.ö.n$ yaxınlığındakı hərəkətinin bir hissəsindən istifadə edilərək icra olunur. İki taktdan biri sıxma, digəri isə genişlənmə və ya işçi gediş taktı adlanır. Genişlənmə taktının sonuna yaxın, porşen xaricətmə pəncərəsini (1) açır (b nöqtəsi) və işlənmiş qazlar atmosfərə xaric olunmağa başlayır. Porşenin həmin istiqamətdə bir qədər hərəkətindən sonra üfurmə pəncərəsi (2) də açılır (m nöqtəsi) və bu p.ncərə vasitəsilə karterdən (5) üfurmə kanalına (4) porşen tərəfindən sıxışdırılan yeni yanacaq-hava qarışığı daxil olmağa başlayır. Poren $a.ö.n$ vəziyyətinə çatdıqda (n nöqtəsi) həm xaricətmə, həm də üfurmə pəncərələri tam açıq vəziyyətdə olur. Porşenin $y.ö.n$ vəziyyə-



Şəkil 9.3. Dördtaktlı, üstəlik üfurməli dizel mühərrikinin sxemi və indikator diaqramı

yətinə doğru hərəkətinin başlanğıc mərhələsində də silindrə yeni yanacaq-hava qarışığının daxil olması və işlənmiş qazların xaric edilməsi davam edir. Porşenin sonrakı müəyyən vəziyyətlərində əvvəlcə üfurmə (q nöqtəsi), daha sonra isə xaricətmə (a nöqtəsi) pəncərələri bağlanır. Bundan sonra silindrdə sıxma prosesi başlayır və $y.ö.n$ vəziyyətinə az qalmış sıxılmış yanacaq-hava qarışığı elektrik şamının köməyiylə alışdırılır. Yanma prosesinə start verilir və genişlənmə taktı başlayır. Porşen b nöqtəsinə çatınca xaricətmə pəncərəsi açılır və sikl təkrar olunmağa başlayır. Xaricətmə pəncərəsinin açılma anı elə seçilir ki, üfurmə pəncərəsi açılan ana qədər silindrdəki təzyiq mühərrikin karterində (5) sıxılmış yeni yanacaq-hava qarışığının təzyiqində az olsun. Yalnız bu şərt ödəniləndiyi halda yeni yanacaq-hava qarışığının silindrə üfürülməsi baş verir. Əks halda bu təbii ki, mümkün olmur.

Beləliklə, indikator diaqramının $bm n q a$ məntəqəsi xaricətmə, $m n q$ məntəqəsi isə üfurmə (yəni, doldurma) proseslərinə müvafiqdir. Deməli, porşenin gedişinin $S \cdot h_b$ və ya silindrin işçi həcmnin $V_h \cdot h_b$ hissəsi xaricətmə və doldurma (və ya üfurmə) prosesləri üçün istifadə olunur (burada h_b gediş və ya işçi həcm xaricətmə prosesi üçün istifadə olunan hissəsidir).



Şəkil 9.4. İkitəktli, məcburi alışıdırılmalı mühərrikin sxemi və indikator diaqramı

Şək.9.4-dən görüldüyü kimi porşenin *y.ö.n* vəziyyətinə doğru hərəkəti zamanı silindrdə sıxma prosesi baş verir. Bu zaman mühərrikin karterində genişlənmə prosesi getdiyindən orada müəyyən seyrəklik yaranır. Bu seyrəklikdən yeni yanacaq-hava qarışığı hazırlamaq və onu karterə (5) doldurmaq üçün istifadə olunur. Porşen *y.ö.n* vəziyyətinə doğru hərəkət edərkən doldurma pəncərəsi (3) açılır mühərrikdən xaricdə hazırlanmış yeni yanacaq-hava qarışığı mühərrikin karterinə sorulur.

Porşen *y.ö.n*-dən *a.ö.n*-ə doğru hərəkət edərkən silindrdə genişlənmə, karterdə isə sıxma prosesləri gedir. Bu vaxt doldurma pəncərəsi bağlanır və karterdə sıxılan yanacaq-hava qarışığı üfürmə kanalının köməyiylə silindrə doldurulur. Belə üfürmə üsuluna *dirsək-kamer üfürməsi* deyilir.

Sxemdən görüldüyü kimi yanacaq-hava qarışığı karterə sorulur və orada sıxılır. Deməli, əgər karterdə yağ olarsa, o yanacaq-hava qarışığının təsiri ilə özünün yağlama keyfiyyətlərini itirəcək. Bu səbəbdən göstərilən sxem üzrə işləyən ikitəktli mühərriklərdə ayrıca yağlama sistemi nəzərdə tutulmur. Sürtünən hissələrin yağlanması təmin etmək üçün mühərrik yanacağına 1:10 nisbətində mühərrik yağı əlavə edilir.

Sxemdən görüldüyü kimi silindrin itirilmiş həcmi adlanan $V_{itir} = V_h \cdot h_b$ həcmindən sıxma və genişlənmə proseslərində istifadə olunmur. Bu halda silindrin həqiqi işçi həcmi $V_{həq} = V_h - V_{itir} = (1 - h_b) V_h$ olur. Bu isə belə tip mühərriklərdə *həqiqi* və *həndəsi sıxma dərəcəsi* anlayışlarının yaranmasına səbəb olur. Belə ki, həndəsi sıxma dərəcəsi $\varepsilon_{hənd} = V_d / V_c = (V_c + V_h) / V_c = 1 + V_h / V_c$ ifadəsinin köməyi ilə müəyyən

$$\mathcal{E}_{h\partial q} = \mathcal{E}_{h\partial nd}(1-h_b) + h_b$$

Dördtaklı, üstəlik üfürməli dizel mühərriki

The diagram illustrates a hydrodynamic pump mechanism. The upper portion is a schematic of a curved blade or vane, with points labeled ρ , z' , z , β , α , m , and γ . The lower portion shows a mechanical assembly including a rotating disk, a connecting rod, and a pump head with two chambers and a valve.

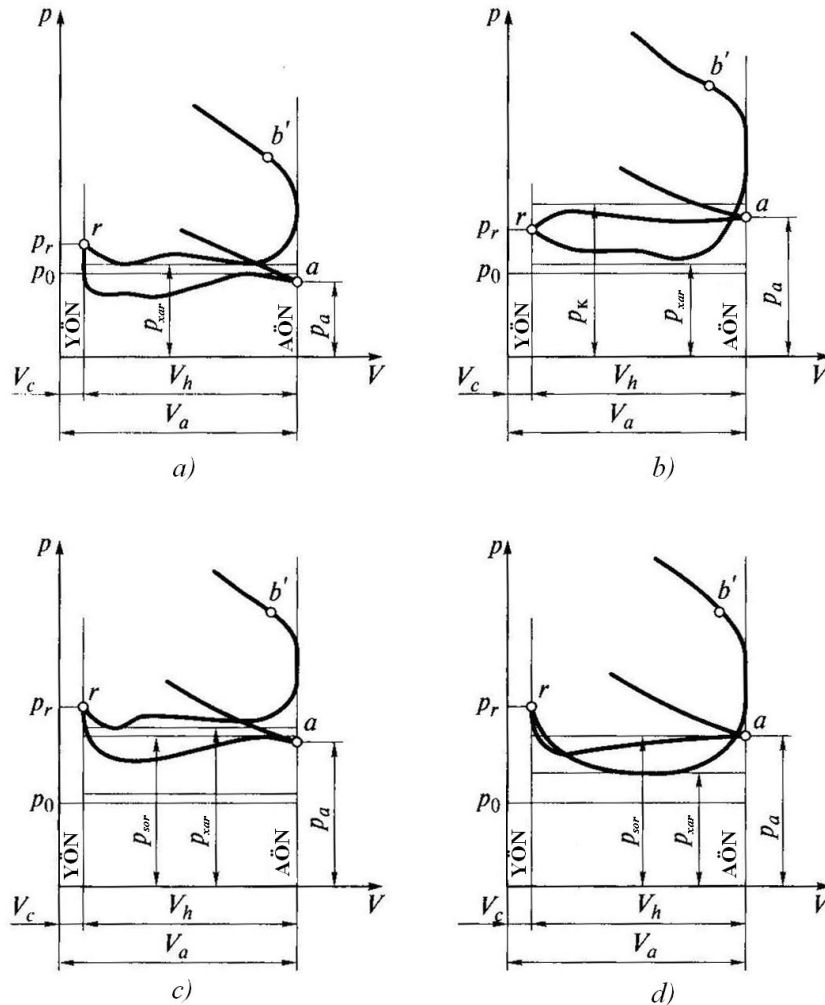
Doldurma və xaricətmə proseslərinin gediş xarakteri isə ikitəktli məcburi alışıdır. mühərrikdəkinə oxşardır. Hər iki proses *bma* xətti üzrə baş verir. Bu zaman üfürmə pəncərələrindən silindrə üfürmə aqreqatının köməyi ilə təmiz hava vurulur. Əvvəlki sikldən qalmış işlənmiş qazlar isə həmin zaman ərzində xaric klapanı vasitəsilə atmosfərə xaric edilir. Üstəlik doldurma nəticəsində diaqram atmosfer təzyiqi xəttindən (p_0) yuxarıda yerləşmişdir. *ac* xətti üzrə sıxma, *cz'z* xətti üzrə yanma və *zb* xətti üzrə genişlənmə prosesləri baş verir.

SORMA (DOLDURMA) PROSESİ VƏ ONUN PARAMETRLƏRİ

DYM-nin həqiqi siklini təşkil edən proseslər aşağıdakılardır: sorma (doldurma), sıxma, yanma, genişlənmə (işçi gediş) və xaric. Bu proseslər ərzində işçi cismin miqdarının və tərkibinin dəyişməsi, habelə istilik mübadiləsi baş verir. İşçi cismin miqdarının dəyişməsi, yəni kütlə mübadiləsi prosesi yalnız sorma və xaric proseslərinin, habelə dizel mühərriklərində yanacaqın püskürülməsi proseslərinin analizi zamanı nəzərə alınır. Bu o deməkdir ki, adı çəkilən proseslər zamanı silindrdaxili həcmə açıq sistem kimi baxılır. Siklin qalan prosesləri zamanı isə silindrdaxili həcm qapalı sistem hesab edilir və qazların tarazlıq vəziyyətində olması qəbul olunur.

Sorma və xaric prosesləri zamanı işçi cismin dəyişdirilməsi prosesi *qaz mübadiləsi* adlanır. Qaz mübadiləsinin sonunda silindrin daxilində doldurulmuş təzə qarışığın miqdarı siklin işinə və mühərrikin yaratdığı gücə birbaşa təsir edir.

Qaz mübadiləsi zamanı qazların silindr daxilindəki işi (buna nasos itkiləri də deyilir) təxmini olaraq $L_{q.müb} \approx (p_a - p_r)V_h$ ifadəsi ilə xarakterizə oluna bilər. Üstəlik üfurməsi olmayan və qazturbimli üstəlik üfurməli mühərriklərdə sorma klapanından qabaqdakı təzyiq (p_{sor}) xaric klapanından qabaqkı təzyiqdən (p_{xar}) kiçik olduqda (yəni $p_{sor} < p_{xar}$ olduqda) qaz mübadiləsi zamanı qazların $L_{q.müb}$ işi mənfi alınır (şək.10.1a, c). Mexaniki intiqallı üfurmə aqreqatından istifadə olunduqda $L_{q.müb}$ işi müsbət alınsa da, üfurmə aqreqatının hərəkətə gətirilməsinə sərf edilən itkilər qaz mübadiləsi işindən çox alınır (şək.10.1b).



Şəkil 10.1. 4 taktlı daxili yanma mühərrikinin qaz mübadiləsi diaqramları:

a – üstəlik üfurməsiz mühərrik; b – mexaniki intiqallı üstəlik üfurməli mühərrik; c – qaz turbinli üstəlik üfurməli mühərrik ($p_{sor} < p_{xar}$ olduqda); d – qaz turbinli üstəlik üfurməli mühərrik ($p_{sor} > p_{xar}$ olduqda)

Qaz mübadiləsi prosesləri təkcə biri-biri ilə əlaqədə olmur. Belə ki, sorma klapanlarının silindrlər blokunda yerləşdirilməsindən və xüsusi olaraq profiləşdirilməsindən asılı olaraq sorma prosesi zamanı qarışıqın istiqamətləndirilmiş hərəkətinə nail olunur və bu da öz növbəsində yanıcı qarışıqın hazırlanması və yanma proseslərinin yaxşılaşdırılmasını təmin edən əsas amillərdən biri hesab edilir. Xarici qarışdırılmalı mühərriklərdə isə sorma prosesi həm də yanacaq ilə havanın hələ silindrə daxil olmamış biri-birilə qarışma prosesi ilə əlaqəli olur.

Müasir porşenli daxili yanma mühərriklərinin qaz mübadiləsi sistemləri aşağıdakı xüsusiyyətlərə malikdirlər:

- hər bir silindrə düşən klapanların sayı ən azı dörd ədəd olur (ikisi sorma, ikisi xaric klapanı olmaqla). Bəzi hallarda klapanların sayının 3, 5 və 6 olmasına da rast gəlinir. Artıq bir silindr üçün iki klapanla malik mühərriklər istehsaldan çıxarılmamışdır;

- müasir dövrdə istehsal edilən dizel mühərriklərinin böyük əksəriyyəti üstəlik üfurməlidir. Qığılcımla alışdırılmalı mühərriklərdə də üstəlik üfurmənin tətbiqi getdikcə genişlənməkdədir. Hərçənd ki, üstəlik üfurmə aqreqatından sonra havanın soyudulması üçün qoyulan aralıq soyuducu sorma sisteminin müqavimətini artırır;

- mühərrikin işlənmiş qazlarının ekoloji göstəricilərinə qoyulan zəhərlik normalarına cavab verilməsi üçün xaric sistemində qoyulan neytralizator və qurum süzgəcləri, habelə üstəlik üfurmə aqreqatı kimi tətbiq olunan turbokompressorlar sistemin hidravlik müqavimətini artırır;

- mühərrikin qazpaylama fazalarının və klapanlarının qalxma hündürlüklərinin idarə olunmasını təmin edən qazpaylama mexanizmlərindən getdikcə daha çox istifadə olunur.

SORMA (DOLDURMA) PROSESİ

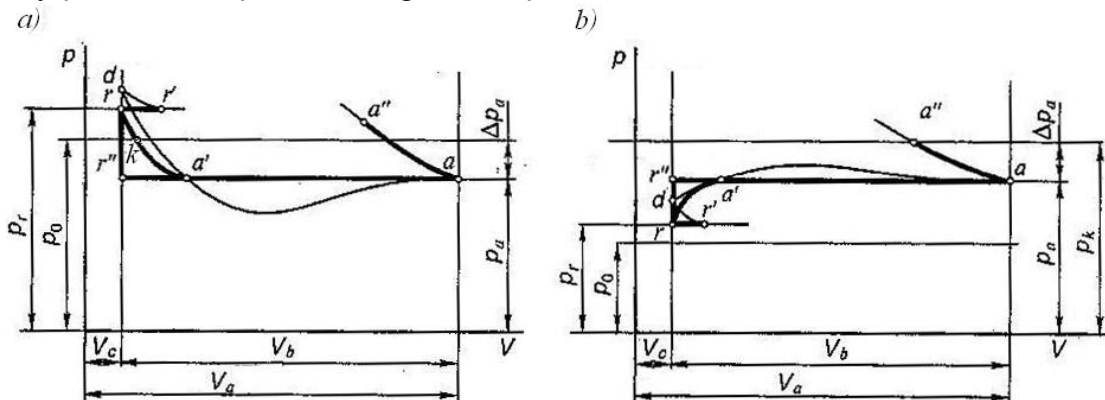
Sorma (və ya doldurma) prosesi zamanı mühərrikin silindri yeni işçi cisimlə doldurulur. Bu zaman porşenin irəliləmə hərəkəti nəticəsində silindrlə ətraf mühit arasında yaranan təzyiq düşgüsündən və ya üstəlik üfurmə aqreqatlarından istifadə olunmaqla silindr yeni işçi cisim olan təzə yanıcı qarışıqla (və ya təmiz hava ilə) doldurulur.

Birinci halda silindrin doldurulması sorma vasitəsilə icra olunduğundan proses *sorma prosesi* adlandırılır. Belə doldurma üsulu daxili yanma mühərrikləri üçün adi üsul sayılır və bu tip mühərriklərə *üstəlik üfurməsiz* (və ya *atmosfer*) *daxili yanma mühərrikləri* deyilir.

İkinci halda isə yeni işçi cisim (yəni, təzə qarışıq) silindrə məcburi olaraq, müəyyən təzyiqlə doldurulur. Nəticədə silindr ətraf mühit şəraitində olduğundan daha çox işçi cisimlə doldurula bilər. Bu tip doldurma üsuluna malik daxili yanma mühərrikləri *üstəlik üfurməli daxili yanma mühərrikləri*, prosesin özü isə *üstəlik doldurma prosesi* adlandırılır.

Daxili yanma mühərrikinin həqiqi siklindəki sorma prosesi dönməyən xarakter daşıyır və təzyiqin xeyli dəyişdiyi şəraitdə baş verir.

Üstəlik üfurməsiz və üstəlik üfurməli daxili yanma mühərriklərində sorma prosesi zamanı təzyiqin faktiki dəyişmə xarakteri şəkil 10.2-də göstərilmişdir.



Şəkil 10.2. Dördtaktlı daxili yanma mühərrikində sorma (doldurma) prosesi ərzində təzyiqin dəyişməsi:
a – üstəlik üfurməsiz; b – üstəlik üfurməli

Sorma prosesi əslində üç müxtəlif perioddan ibarətdir:

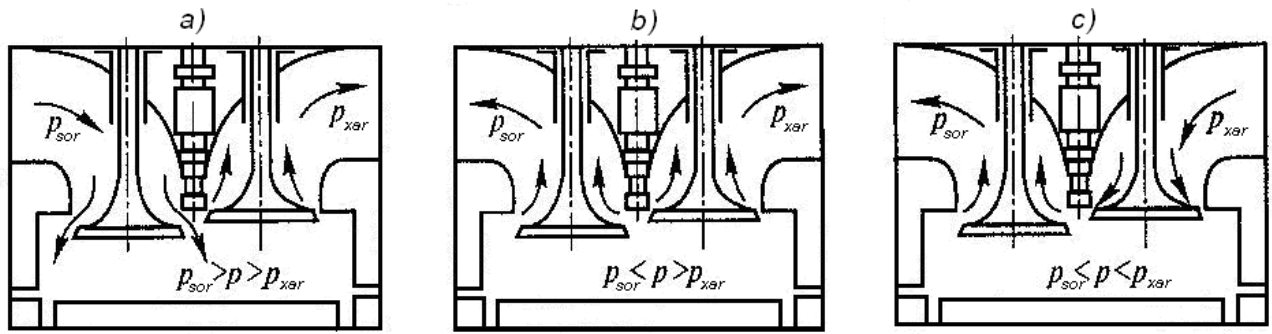
1) birinci period sorma klapanının açılma anından (r' nöqtəsi) xaric klapanının bağlanma anınadək (a' nöqtəsi) olan müddəti ($r'a'$ xətti) əhatə edir. Bu zaman $r'k$ xətti üzrə silindrdə əvvəlki sikldən qalmış yanma məhsulları (və ya qalıq qazlar) genişlənir və yalnız k nöqtəsindən etibarən, yəni silindrdəki təzyiq atmosfer təzyiqindən aşağı olduqdan sonra ka' xətti üzrə oraya yeni işçi cisim daxil olmağa başlayır. İşçi cisim (və ya təzə qarışıq) olaraq karbüratorlu, qaz və sorma borusuna püskürməli mühərriklərdə silindrə hava ilə yanacaq qarışığı, dizel və birbaşa silindrə benzin püskürməli mühərriklərdə isə təmiz hava dolur. Sormanın birinci periodu ərzində həm sorma, həm də xaric klapanları açıq olduğundan bu perioda klapanların biri-birini örtüyü period deyilir (şək.9.3) və bu zaman ən intensiv qaz mübadiləsi prosesi gedir. Silindrə dolan yanıcı qarışığın oradakı qalıq qazlarla qarışması və sonradan yanma prosesində iştirak edəcək işçi qarışığın yaranması prosesləri başlayır;

2) ikinci period xaric klapanının bağlandığı andan (a' nöqtəsi) porşenin $a.ö.n$ vəziyyətinə (a nöqtəsi) çatdığı anadək olan müddəti ($a'a$ xətti) əhatə edir. Bu period sorma prosesinin əsas periodu olub, silindrə təzə qarışığın əsas hissəsinin doldurulmasını, onun qalıq qazlarla qarışmasının davam etməsini, alınan işçi qarışığın təzyiq və temperaturunun eyniləşməsini xarakterizə edir;

3) üçüncü period porşenin $a.ö.n$ vəziyyətinə (a nöqtəsi) çatdığı andan sorma klapanının bağlandığı anadək (a'' nöqtəsi) olan müddəti (aa'' xətti) əhatə edir. Bu period ərzində həm doldurma prosesinin sona çatması (bu zaman ya silindrin əlavə doldurulması, ya da silindrə doldurulmuş təzə qarışığın geriye - sorma traktına sıxışdırılması mümkündür), həm də sıxma prosesinin başlanması eyni zamanda baş verir

Sorma prosesinin verilmiş diaqramlarından göründüyü kimi sorma klapanı hələ porşen xaric taktı üzrə $y.ö.n$ vəziyyətinə çatmamış açılır. Bu, porşen $y.ö.n$ vəziyyətinə çatana qədər klapanın müəyyən qədər açılması və onun keçid sahəsinin müəyyən qədərə çatması üzündən mühərrikin silindrinin təzə qarışıqla doldurulmasını yaxşılaşdırır. Bundan başqa, üstəlik üfurməli mühərriklərdə sorma klapanının vaxtından qabaq açılması silindrin üfürülməsi üçün də istifadə olunur. Bu halda silindrdə qalan qalıq qazların miqdarı azalır, yanma kamerinin, silindrin yuxarı hissəsinin və porşenin istilik gərginliyi xeyli azalır. Hesablamalar zamanı sorma klapanının vaxtından qabaq açılması zamanı baş verən üfurmənin təsiri *təmizləmə əmsalı* ($\varphi_{təm}$) adlanan parametrlə nəzərə alınır. Təmizlik əmsalının qiyməti üstəlik üfurmə dərəcəsindən, mühərrikin sürət rejimindən və klapanların biri-birini örtmə müddətindən asılı olur. Təmizləmə əmsalı adətən yalnız üstəlik üfurməli mühərriklərin hesabı zamanı nəzərə alınır. Üfurmə olmadıqda $\varphi_{təm}=1$, silindr qalıq qazlardan tam olaraq təmizləndikdə isə $\varphi_{təm}=0$ olur.

Sorma klapanının vaxtından gec, yəni porşen $a.ö.n$ vəziyyətini keçdikdən sonra bağlanması sorma sistemindəki sürət basqısı, ətalət və dalğa hadisələrindən istifadə etməklə silindrə əlavə olaraq təzə qarışığın doldurulmasını təmin edir. Bu, silindrin işçi həcmindən istifadə dərəcəsinin yüksəlməsinə imkan verir. Optimal halda $p_{xar} < p$ və $p < p_{sor}$ olarsa (şək.10.3a), bu halda baş verən qaz mübadiləsi *silindrin üfürülməsi* adlanır. Porşenin $a.ö.n$ vəziyyətini keçməsindən sonra silindrin təzə qarışıqla bu cür doldurulması isə *əlavə doldurma* adlanır. Əlavə doldurmanın sorma prosesi parametrlərinə təsiri *əlavə doldurma əmsalı* ($\varphi_{ə.l.d}$) adlanan parametrlə nəzərə alınır. Silindrin işçi həcmının təzə qarışıqla əlavə doldurulması əsas etibarilə qazpaylama fəzasının (birinci növbədə sorma klapanının bağlanmasının gecikmə bucağının), sorma traktının uzunluğunun və mühərrikin dirsəkli valının dövrlər sayının seçilməsindən asılı olur. Adı şəkildən parametrlərin optimal olaraq seçilməsi mühərrikin nominal iş rejimində əlavə doldurmanı $12 \div 15$ %-ə çatdırmağa imkan verir, yəni $\varphi_{ə.l.d}=1.12 \div 1.15$ olur. Əlavə doldurma üçün ən əlverişli şərait (çünki, $p_{sor} > p_{xar}$ olur) mexaniki intiqallı üfurmə aqreqatına malik üstəlik üfurməli mühərriklərdə olur (şək.9.1b). Bu zaman klapanların eyni zamanda açıq qalması dirsəkli valın dönmə bucağı üzrə $120 \div 130$ dərəcəyə çatır.

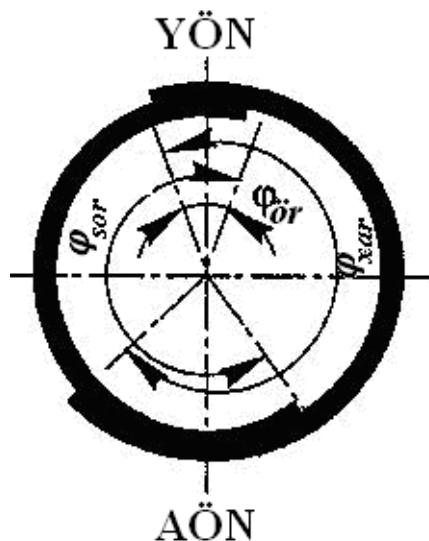


Şəkil 10.3. Klapanların biri-birini örtməsi periodu ərzində qaz mübadiləsinin sxemləri:
a – silindrin üfürülməsi; b – işlənmiş qazların sorma borusuna düşməsi; c – silindrin əks istiqamətdə üfürülməsi

Qazturbini üstəlik üfürmə aqreqatlı üstəlik üfürməli mühərriklərdə isə sorma klapanı qarşısındakı p_{sor} təzyiqi xaric klapanı qarşısındakı p_{xar} təzyiqindən çox, az və ya bərabər ola bilər. Buna uyğun olaraq klapanların biri-birini örtmə periodunun uzunluğu optimallaşdırılmalıdır. Lakin bütün tip mühərriklərdə dövrlər sayı azaldıqca, əlavə doldurma əmsalının qiyməti kiçilir, minimal dövrlər sayında isə əlavə doldurma əvəzinə təzə qarışıqın sorma traktına 5÷12 %-lik geri qaytarılması müşahidə olunur, yəni $\varphi_{al,d}=0.88\div 0.95$ olur. Belə halların qarşısının alınması üçün müasir daxili yanma mühərrikləri konstruksiyalarında qazpaylama fazalarının və klapanların qalxma hündürlüklərinin idarə olunmasını təmin edən qazpaylama mexanizmlərindən istifadə olunur.

Müasir itisürətli daxili yanma mühərriklərində sorma klapanları porşen $y.ö.n$ vəziyyətinə $10\div 35^\circ$ qalmış açılır, $a.ö.n$ vəziyyətini $40\div 85^\circ$ keçdikdən sonra bağlanır. Xaric klapanları isə porşen $y.ö.n$ vəziyyətini $10\div 50^\circ$ keçdikdən sonra bağlanır və $a.ö.n$ vəziyyətinə $40\div 85^\circ$ qalmış açılır. Üstəlik üfürmə tətbiq olunduqda isə bu bucaqların qiyməti 1,5÷3 dəfəyə qədər artır.

Mühərrikin sorma və xaric klapanlarının açıq qaldığı müddət adətən dirsəkli valın dönmə bucağı ilə ifadə olunur. Klapanların bu cür ifadə olunan açıq qalma periodlarına *qazpaylama fazaları* deyilir (şək.10.4). Qazpaylama fazaları dirsəkli valın klapanların açılmağa başladığı və bağlanmasının qurtardığı anlardakı dönmə bucağının qiymətləri ilə xarakterizə olunur. Qazpaylama fazalarının düzgün seçilməsi nəticəsində həm silindrin işlənmiş qazlardan daha yaxşı təmizlənməsi, həm də silindrin təzə qarışıqla daha yaxşı doldurulması təmin edilir. Bununla yanaşı həm də qaz mübadiləsinə sərf olunan itkilər də müəyyən qədər azalır. Deməli, mühərrikin istənilən rejimi və ya rejim diapazonu üçün qazpaylama fazalarının optimal olaraq dəyişdirilməsinin təmin olunması qaz mübadiləsi prosesinin gedişini, silindrin təzə qarışıqla doldurulmasını yaxşılaşdırır və qaz mübadiləsinə sərf olunan itkiləri azalda bilər.



Şəkil 10.4. 4 taktlı mühərrikin qazpaylama faza diaqramı

Yumruqlu qazpaylayıcı val tərəfindən idarə olunan ənənəvi qazpaylama mexanizminə malik mühərriklərdə real qazpaylama fazaları sabit qalır və onlar mühərrikin ən vacib sürət rejimlərində mühərrikin optimal doldurulmasının təmin olunması şərti ilə seçilir.

Əksər hallarda yüksək dövrlər sayına malik mühərriklərin qazpaylama fazaları yavaş sürətli mühərriklərin qazpaylama fazalarından geniş olur. Mühərrikin hər hansı dövrlər sayı diapazonunda silindrlərin daha çox təzə qarışıqla təmin olunması lazım gəldikdə qazpaylama fazalarının və sorma traktının həndəsi ölçülərinin, əsas etibarilə də traktın uzunluğunun qarşılıqlı optimal qiymətlərinin seçilməsi tələb olunur. Bu halda mühərrikin təzə qarışıqla doldurulması üsulu *dinamiki üfürmə* adlanır.

Qaz mübadiləsi prosesinin səmərəli baş verməsi üçün klapanların nisbətən böyük keçid sahələrinin olması vacib şərtidir. Mühərrikin müxtəlif rejimlərdə işi zamanı bu keçid sahələri dəyişən olduğundan klapanların qaz buraxma qabiliyyəti *zaman-keçid sahəsi* adlanan parametrlə xarakterizə olunur:

$$\int_0^{\tau} f d\tau = \int_{\varphi_1}^{180^\circ + \varphi_2} f d\varphi,$$

burada f – klapan deşiyinin dəyişən keçid sahəsidir, m^2 ; τ - zamandır, s ; φ_1 və φ_2 – müvafiq olaraq klapanın açılmasının qabaqlama və bağlanmasının gecikmə bucaqlarıdır, *d.v.d.b.* Çoxklapanlı konstruksiyalar üçün keçid sahəsi (f) klapanların ekvivalent diametrlərinə görə təyin edilir.

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi ənənəvi konstruksiyaya malik qazpaylama mexanizmi mühərrikin dəyişməyən qazpaylama fazaları və klapanların dəyişməyən qalxma qanunları ilə işini təmin edir. Fazalar və qalxma qanunları isə qazpaylayıcı valların yumruqucuqlarının profili və klapan intiqallarının kinematikası ilə müəyyən edilir. Belə mexanizmlər isə qaz mübadiləsinin optimala yaxın keyfiyyətini yalnız mühərrikin konkret sürət rejimləri diapazonunda təmin edə bilər.

Son illər mühərrikkayırma sənayesində qazpaylama fazalarının və klapanların qalxma hündürlüyünün idarə olunmasını təmin edə bilən qazpaylama mexanizmlərinin praktiki tətbiqinə başlanılmışdır.

Qazpaylama fazalarının və klapanların qalxma hündürlüyünün idarə olunmasının 3 əsas üsulu var (şəkl.10.5):

a) qazpaylama fazalarının sabit zaman-keçid sahəsində dəyişdirilməsi;

Bunlardan ən geniş yayılanları **Vanos**, **Double Vanos** (BMW şirkəti, Almaniya), **VVT-i**, **Dual VVT-i** (Variable Valve Timing with intelligence – Toyota şirkəti, Yaponiya), **VVT** (Variable Valve Timing - Volkswagen şirkəti - Almaniya), **VTC** (Variable Timing Control - Honda şirkəti), **CVVT** (Continuous Variable Valve Timing - Hyundai, KIA, Cənubi Koreya, VOLVO, İsveç, GENERAL MOTORS şirkəti - ABŞ), **VCP** (Variable Cam Phases) (RENAULT şirkəti - Fransa).

Digər geniş yayılmış sistemlərdə qazpaylama fazasının dəyişməsinə müxtəlif şəkili yumruqucuqlar tətbiq etməklə əldə edirlər. Bu yolla klapanların açıq qalma müddətinin və qalxma hündürlüyünün pilləli olaraq dəyişməsi əldə edilir. Bunlardan ən geniş yayılanları:

- **VTEC** (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control) (HONDA şirkəti - Yaponiya);
- **VVT-i** (Variable Valve Timing and Lift with intelligence) (TOYOTA şirkəti - Yaponiya);
- **MIVEC** (Mitsubishi Innovative Valve timing Electronic Control) (MITSUBISHI şirkəti - Yaponiya);

- **Valvelift System** (AUDI şirkəti - Almaniya).

b) həm qazpaylama fazalarının, həm də zaman-keçid sahəsinin dəyişdirilməsi;

c) zaman-keçid sahəsinin sabit qazpaylama fazalarında dəyişdirilməsi.

Konstruktiv nöqtəyi-nəzərdən qazpaylama fazasının dəyişdirilməsi sisteminin ən mükəmməl növləri klapanların qalxma hündürlüklərinin tənzimlənməsinə əsaslanır. Belə sistemlər mühərrikin əksər iş rejimlərində drossel qapağından imtina olunmasına imkan yaradır. Bunlardan ən geniş yayılanları:

- **Valvetronic** (BMW şirkəti - Almaniya);
- **Valvematic** (TOYOTA şirkəti - Yaponiya);

- **VEL** (Variable Valve Event and Lift System) (NISSAN şirkəti - Yaponiya);
- **MultiAir** (FIAT şirkəti - İtaliya);
- **VTİ** (Variable Valve and Timing Injection) (PEUGEOT şirkəti - Fransa).

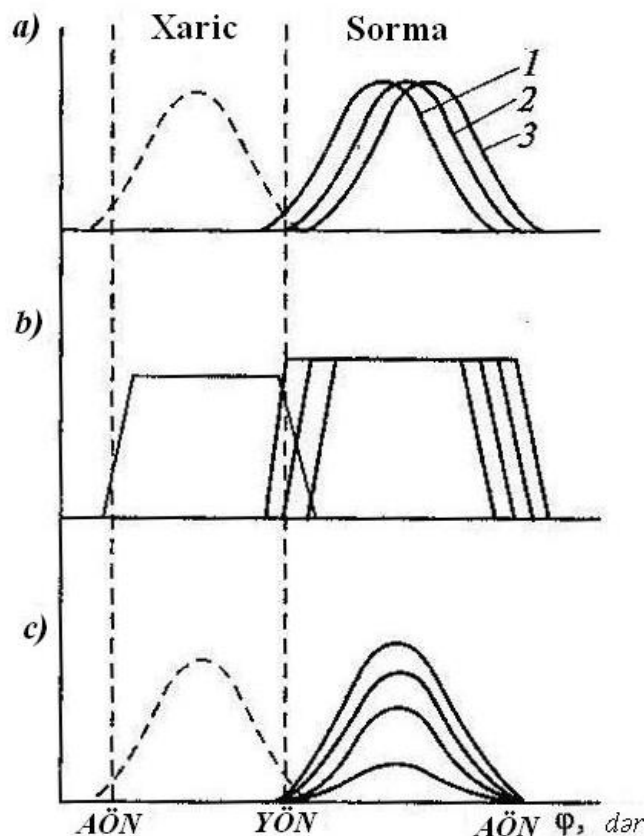
Sabit zaman-keçid sahəsində sorma klapanının qazpaylama fazalarının dəyişdirilməsi qrafikləri şəkl.10.5a-da göstərilmişdir. Klapanların eyni zamanda açıq qalma müddətini (biri-birini örtmə periodunu) artırmaqla sorma klapanının tez bağlanması təmin edildikdə (1 əyrisi) mühərrikin aşağı dövrlər sayında işləmiş qazların sorma traktına qaytarılması azalır. Nəticədə bu sürət rejimində silindrin təzə qarışıqla doldurulması yaxşılaşır və burucu momentin qiyməti yüksəlir.

Sorma klapanının bağlanmasını gecikdirməklə (3 əyrisi) isə mühərrikin yüksək dövrlər saylarında dinamik üfurmənin tətbiqinə və burucu momentin yüksəldilməsinə imkan yaranır.

Bu halda klapanların biri-birini örtmə periodu azaldığından əks istiqamətli üfurmənin səviyyəsi azaldığından mühərrikin boş işləmə rejimindəki iş şəraiti də yaxşılaşır.

2 əyrisinə uyğun qazpaylama fazaları isə mühərrikin aralıq sürət rejimləri üçün optimal hesab oluna bilər.

Sorma prosesinin qazpaylama fazasının idarə olunması mühərrikin silindrinə yaranan azot oksidlərinin 40 %-ə, karbohidrogenlərin isə 10 %-ə qədər azaldılmasını təmin edə bilər. Nisbətən mürəkkəb sxemlərdə xaric klapanının qazpaylama fazasının da dəyişdirilməsi həyata keçirilir. Bu, qaz mübadiləsinə sərf olunan işin azaldılması və silindrin təmizlənməsinin yaxşılaşdırılması imkanlarını yüksəldir.



Şəkil 10.5. Qazpaylama fazalarının və zaman-keçid sahəsinin dəyişdirilməsi

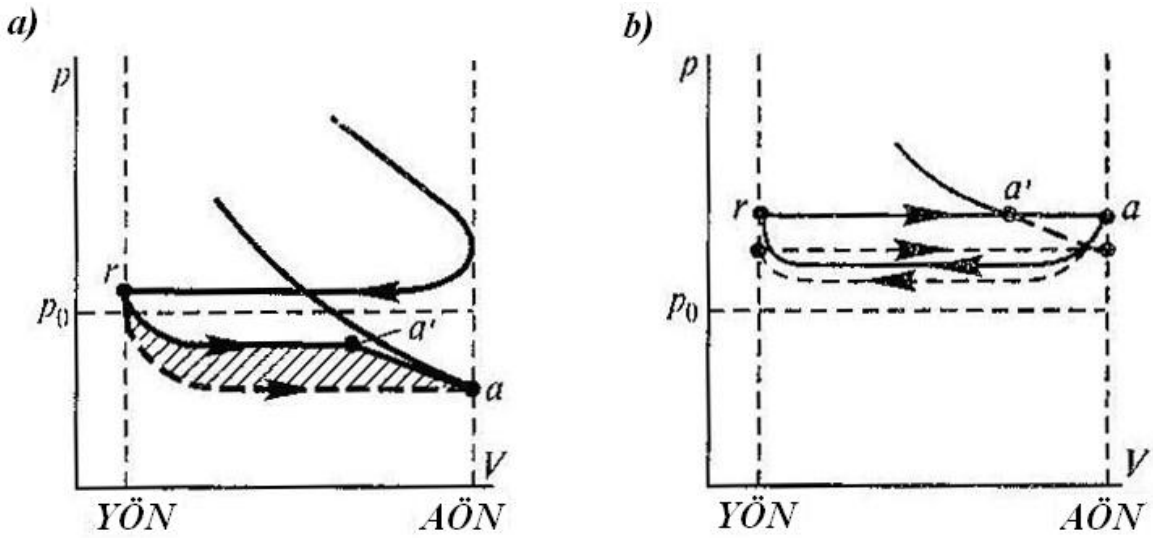
a) qazpaylama fazalarının sabit zaman-keçid sahəsində dəyişdirilməsi; b) həm qazpaylama fazalarının, həm də zaman-keçid sahəsinin dəyişdirilməsi; c) zaman-keçid sahəsinin sabit qazpaylama fazalarında dəyişdirilməsi

Klapanların hərəkətinin idarə olunmasının elektromexaniki sisteminin imkanları daha böyükdür. Bu sistem klapanların qalxmasının trapesiya şəkilli (Π-şəklinə oxşar) qanunauyğun-luğunu təmin edir.

Bu zaman klapanın qalxma hündürlüyü sabit qalsa da, klapanların açılma və bağlanma anları biri-birindən asılı olmayaraq dəyişə bilər. Bu isə həm qazpaylama fazalarını, həm də zaman-keçid sahəsini tələb olunan şəkildə dəyişdirməyə imkan yaradır (şək.10.5b).

Qazpaylama fazalarını bu şəkildə idarə etməklə mühərrikin dirsəkli valının istənilən fırlanma tezliyində qaz mübadiləsi prosesini optimallaşdırmaq mümkündür. Nəticədə mühərrikin maksimal burucu momenti 5 % artır. Aşağı dövrlər sayında isə burucu momentin artması 10 %-ə qədər ola bilər.

Yükü miqdarca tənzimlənən mühərriklərdə belə sistemin tətbiqi drossel qapağından imtina etməyə, silindrin doldurulmasının isə sorma klapanının zaman-keçid sahəsinin dəyişdirilməsi ilə idarə olunmasına imkan yaradır. Mühərrikin yükünün azaldılması üçün sorma klapanı vaxtından tez, yəni sorma taktı üzrə a' nöqtəsində bağlanır (şək.10.6a). Bu halda yük azaldığından (yəni, zaman-keçid sahəsi kiçildiyindən) sorma klapanı ətrafındakı deşikdən keçən təzə qarışıqın sürəti artır. Bu qarışıqın turbulentliyini gücləndirdiyindən yanıcı qarışıqın hazırlanması və yanması səmərəliliyi artır. Yükün belə idarə olunma üsulunun ən böyük üstünlüyü nasos itkilərinin azalmasıdır (bax şək.9.6a). Bu isə mexaniki f.i.ə-nin xeyli yüksəlməsinə və mühərrikin aşağı yük rejimlərində işi zamanı yanacaq qənaətliliyinin 20 % yaxşılaşdırılmasına imkan verir.



Şəkil 10.6. Sorma prosesinin idarə olunması:

a – aralıq yük rejimində sorma klapanının vaxtından qabaq bağlanması ilə idarə olunma; b – üstəlik üfurməli Atkinson sikli; ----- əvvəlki qazpaylama zamanı baş verən qaz mübadiləsi prosesləri

Sorma klapanı vaxtından tez bağlandığından $a.ö.n$ vəziyyətində silindrdəki qarışıqın təzyiqi eyni gücə malik, drossellənmə ilə idarə olunan mühərrikdəkinə nisbətən az olacaq. Bu qarışıqın temperaturunun aşağı düşməsi ilə əlaqədardır. Belə ki, sorma klapanı bağlandıqdan sonra porşen sorma taktı üzrə $a.ö.n$ -ə doğru hərəkətini davam etdirdiyindən silindrdəki təzə qarışıq baş verən genişlənmə nəticəsində soyumağa başlayır.

Aralıq yük rejimlərində belə tənzimləmə aparıldıqda mühərrikin həqiqi sıxma dərəcəsi onun həndəsi sıxma dərəcəsindən kiçik alınsa da, genişlənmə dərəcəsi sabit qalacaq. Həqiqi sıxma dərəcəsi ilə genişlənmə dərəcəsi arasındakı belə nisbətə görə demək olar ki, mühərrik artırılmış müddətli genişlənmə ilə işləyir. Təbiidir ki, tam drossel rejimində iş zamanı sorma klapanının vaxtından qabaq bağlanması məqsədəuyğun olmazdı. Çünki, bu halda mühərrikin silindrinin işçi həcmi təzə qarışıqla mükəmməl olaraq dola bilməzdi və nəticədə mühərrikin maksimal gücü alınmazdı. Bu halı aradan qaldırmaq üçün amerikan alim Ralf Miller sorma klapanının vaxtından qabaq bağlanması halında üstəlik üfurmənin tətbiqini təklif etmişdir. Nəticədə klapanın zaman-keçid sahəsinin azalması üstəlik üfurmə təzyiqi ilə kompensasiya olunur. Belə üsulun tətbiqi *Miller sikli* adını almışdır. Üstəlik üfurməli Miller siklindən istifadə nəticəsində həm həqiqi sıxma dərəcəsi, həm də $a.ö.n$ vəziyyətində

silindrdəki təzə qarışıqın temperaturu aşağı alınır ki, bu da xüsusilə benzin mühərrikləri üçün vacib əhəmiyyət kəsb edir.

Drossel qapağı olmayan mühərrikdə sorma klapanını vaxtından gec bağlamaqla da onun vaxtından tez bağlanan halında alınan yük rejimlərini almaq mümkündür. Lakin bu halda birincisi təzə qarışıqın bir hissəsinin silindrə dolub, sonradan əks istiqamətdə sorma borusuna qayıtması əlavə itkilərə səbəb olur. İkincisi isə, təzə qarışıqın $a.\bar{o}.n$ –dəki temperaturu aşağı düşür. Miller siklində olduğu kimi bu halda da (yəni sorma klapanının gec bağlanması halında da) (şək.9.6b) üstəlik üfurmə tətbiq olunduqda həqiqi sıxma dərəcəsinin azalması müşahidə olunur. Belə iş sikli *Atkinson sikli* adlanır. Bu sikldə də sorma klapanının gec bağlanması nəticəsində təzə qarışıqın əks istiqamətdə sorma traktına qovulması isə, Miller siklində olduğu kimi, üstəlik üfurmə təzyiqinin artırılması yolu ilə kompensasiya edilir. Həqiqi sıxma dərəcəsinin azalması isə üstəlik üfurməli, qığılcımla alışdırmalı mühərriklərdə detonasiya ehtimalını aradan qaldırır.

Qaz mübadiləsində bütün klapanlardan istifadə mühərrikin yalnız yüksək yük və sürət rejimləri üçün tələb olunur. Mühərrikin aralıq yük və sürət rejimləri zamanı (yəni hava sərfinin az olduğu iş rejimlərində) sorma klapanlarının birinin (4 klapanlı mühərriklərdə), və ya ikisinin (5 klapanlı mühərriklərdə) iş prosesindən ayrılması məqsəduyğundur. Bu halda işləyən klapanın keçid sahəsindən keçən təzə qarışıqın axın sürəti artar, işdən ayrılmış klapanların hərəkətə gətirilməsinə sərf olunan enerji itkiləri isə aradan qalxır.

Klapanların hərəkətinin idarə olunmasının elektromexaniki sistemi mühərrikin işi ərzində onun bir neçə silindrinin iş prosesindən ayrılmasına imkan yarada bilər. Bu isə çoxsilindrlı mühərrikin aşağı və aralıq yük rejimlərində yanacağa qənaət edilməsini təmin edir.

Yükün drosselsiz, miqdarca tənzimlənməsi qazpaylama fazalarının sabit qiymətlərində zaman-keçid sahəsinin dəyişdirilməsini təmin edən sistemlərin köməyi ilə də mümkündür (şək.9.5c). Sorma klapanının qalxma hündürlüyünün idarə olunması mühərrikin aşağı yük rejimlərində yanıcı qarışıqın hazırlanması və yandırılması proseslərini yaxşılaşdırır. Lakin bu halda nasos itkilərinin azalması müşahidə olunmur.

Qazpaylama fazalarının və klapanların qalxma qanununun idarə olunması mühərriklərin energetik, iqtisadi və ekoloji göstəricilərinin yaxşılaşdırılması yolunda geniş imkanlar yaradır. Özü də daha böyük səmərə məhz sorma klapanlarının idarə olunmasından alınır. Mühərrikin sorma traktının konstruksiyası onun uzunluğunu dəyişmək imkanına malik olarsa, bu qazpaylama fazalarının dəyişdirilməsi ilə mütləq uyğunlaşdırılır.

2 taktli mühərriklərdə qaz mübadiləsi

İki taktli mühərriklərdə qaz mübadiləsi prosesinin dirsəkli valın dönmə bucağı ilə ifadə olunan davam etmə müddəti dörd taktli mühərriklərdə olduğundan $3\div 3,5$ dəfə qısadır. Qaz mübadiləsi prosesinin əsas hissəsi sorma (və ya üfurmə) və xaricətmə (pəncərə və ya klapanlar) orqanlarının eyni zamanda açıq olduqları halda baş verir. Təzə qarışıq silindrə $p_{sor} > p$ olduqda dolmağa başlayır.

Qaz mübadiləsinin xaricətmə orqanlarının açılmağa başlaması anından təzə qarışıqın mühərrikin silindrinə dolmağa başladığı anadək olan perioduna *sərbəst xaricətmə* deyilir. Bu periodun əvvəlində işlənmiş qazlar silindri xaricətmə orqanları vasitəsilə kritik sürətlə tərk edir, bir qədər sonra isə axın sürəti azalmağa başlayır və o kritik sürətdən az olur.

Sorma orqanlarının açılmasının başlanğıc anında silindrdəki təzyiq sorma resiverindəki (və ya dirsək kamerindəki) təzyiqdən çox olur, yəni $p > p_{sor}$ olur. Bu səbəbdən işlənmiş qazların bir az miqdarı sorma orqanlarından keçərək sorma resiverinə (və dirsək kamerinə) daxil olur. Sorma resiverində təzyiq (p_{sor}) xüsusi üfurmə aqreqatının, dirsək kamerində isə porşenin köməyi ilə yaradılır.

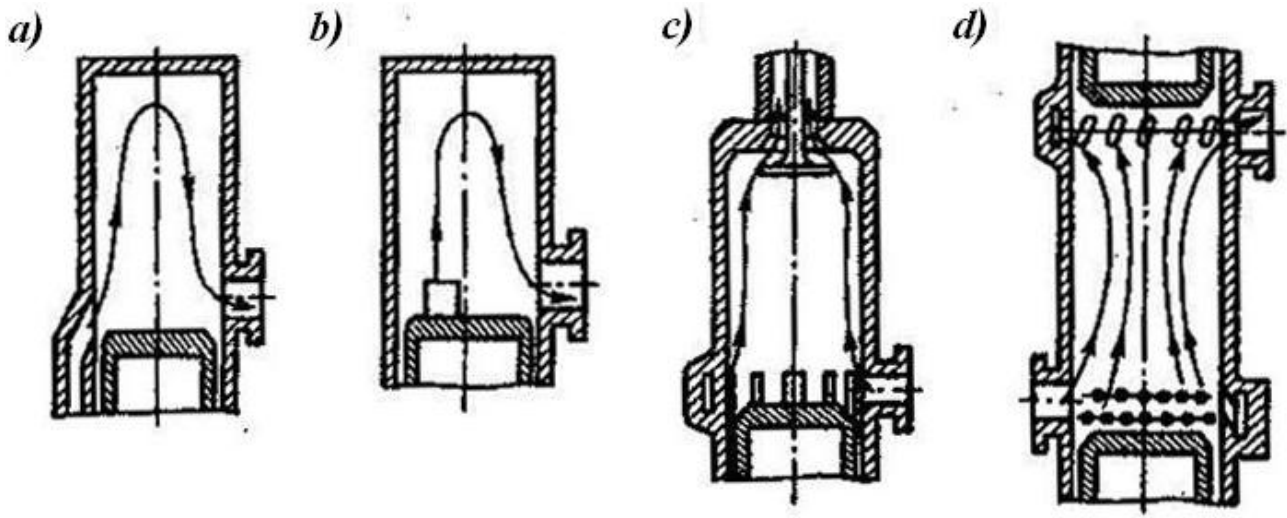
Təzyiqin $p_{sor} > p > p_{xar}$ halında qaz mübadiləsinin *üfurmə-doldurma* periodu başlayır. Bu period ərzində silindrə daxil olan təzə qarışıq əvvəlki sikldən silindrdə qalmış işlənmiş qazlarla qarışır. Eyni zamanda xaric orqanları vasitəsilə yanma məhsullarının silindrdən xaricə axını davam edir, az sonra isə yanma məhsullarının təzə qarışıqla birləşərək xaric olunması başlayır.

İlgəkvari qaz mübadiləsi sxeminə malik mühərrikdə qaz mübadiləsi prosesinin sonunda sorma

orqanlarının artıq bağlı, xaric orqanlarının isə hələ açıq olduğu vəziyyətdə əlavə xaricətmə periodu yer alır. Düz axınlı qaz mübadiləsi sxeminə malik mühərriklərdə xaricətmə orqanları ya sorma orqanları ilə eyni vaxtda, ya da azacıq gecikmə ilə bağlandığından belə mühərriklərdə əlavə xaricətmə ya olmur, ya da xeyli az olur. Əgər sorma orqanları xaricətmə orqanlarından gec bağlanarsa, onda $p < p_{sor}$ halında silindrin əlavə doldurulması baş verir.

İki taktlı mühərriklərdəki qaz mübadiləsinin mükəmməlliyi tətbiq edilən qaz mübadiləsi sxemindən çox asılıdır. Bu sxemlərin çox müxtəlif konstruksiyaları mövcud olsa da, iki əsas sxem üstünlük təşkil edir: ilgəkvari və düz axınlı sxemlər.

Ilgəkvari sxemlər (şək.10.7a,b) üçün xaricətmə orqanlarının nisbətən gec bağlanması xarakterikdir. Bu isə əlavə xaricətmə periodunun yer almasına və təzə qarışığın müəyyən hissəsinin itirilməsinə gətirib çıxarır. Qaz mübadiləsinin keyfiyyətinə görə belə sxemlər düz axınlı sxemlərə uduzsa da, sadə konstruksiyaya malik olduğundan ən çox kiçik gücə malik mühərriklərdə tətbiq olunur.



Şəkil 9.7. İki taktlı mühərriklərin qaz mübadiləsi sxemləri:

a – pəncərələrin paralel yerləşdiyi ilgəkvari sxem; b – pəncərələrin eksentrik yerləşdiyi ilgəkvari sxem; c – düz axınlı, klapanlı-deşikli sxem; d – düz axınlı, deşikli sxem

Düz axınlı qaz mübadiləsi sxemi (şək.10.7c,d) konstruktiv cəhətdən mürəkkəb olsa da, silindrin daha mükəmməl üfürülməsi və doldurulması təmin olunur. Bunun səbəbi xaricətmə orqanlarının üfürmə orqanlarından tez bağlanmasıdır ki, bunun da nəticəsində əlavə xaricətmə periodu qısaldığından silindrin təzə qarışıqla doldurulması yaxşılaşır. Düz axınlı qaz mübadiləsi sxemi deşikli və ya klapanlı-deşikli olur.

İki taktlı mühərriklərdə silindrlərin təmizlənməsi və təzə qarışıqla doldurulması proseslərinin keyfiyyəti dörd taktlı mühərriklərə nisbətən aşağıdır. Bu nöqsanları aradan qaldırmaq üçün üfürmə aqreqatının tətbiqi isə onun hərəkətə gətirilməsinə xeyli gücün sərf edilməsinə gətirib çıxarır.

Sorma prosesi və qaz mübadiləsinin parametrləri

Sorma prosesinin hesabı zamanı onun r nöqtəsindən a nöqtəsinədək (şək.9.2) baş verdiyi qəbul olunur. $Y.ö.n$ vəziyyətində təzyiqin rr'' xətti üzrə ani olaraq dəyişməsi baş verir, bundan sonra isə silindrdəki təzyiq sonadək, $r''a$ xətti üzrə sabit olaraq qalır.

Ətraf mühitin təzyiq və temperaturu. Üstəlik üfürməsiz mühərrikin işi zamanı silindrə hava atmosferdən daxil olur. Bu halda mühərrikin işi siklinin hesabı zamanı ətraf mühitin təzyiqi at-mosfer təzyiqinə bərabər götürülür: $p_k=p_o=0,1 \text{ MPa}$, ətraf mühitin temperaturu isə $T_k=20^\circ\text{C}=293 \text{ K}$ qəbul edilir.

Üstəlik üfürməli mühərrikin işi zamanı silindrə hava üstəlik üfürmə aqreqatının köməyi ilə vurulur. Bu zaman hava sıxıldığından onun təzyiq və temperaturu yüksəlir. Bu halda hesablamalar

zamanı ətraf mühitin təzyiq (p_k) və temperaturu (T_k) kimi işçi cismin və ya havanın üfurmə aqreqatının çıxışındakı təzyiq və temperatur götürülür. Üstəlik üfurmə təzyiqi yüksək olduqda işçi cismin temperaturu artdığından onun sıxlığı azalır və silindrə dolan işçi cismin kütləsi də az olur. Bunun qarşısını almaq üçün üfurmə aqreqatından sonra *aralıq soyuducu* (“*intecooler*”) adlanan aqreqat qoyulur. Bu halda ətraf mühitin təzyiq və temperaturu kimi işçi cismin aralıq soyuducunun çıxışındakı təzyiq və temperatur qəbul edilir.

Üstəlik üfurmə dərəcəsindən asılı olaraq ətraf mühit təzyiqi p_k aşağıdakı hədlərdə olur:

- aşağı üstəlik üfurmə zamanı $1,5 p_0$
- orta üstəlik üfurmə zamanı $(1,5 \div 2,2) p_0$
- yüksək üstəlik üfurmə zamanı $(2,2 \div 2,5) p_0$

Üstəlik üfurmə aqreqatından və ya aralıq soyuducudan sonra işçi cismin temperaturu aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$T_k = T_0 \left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{n_k - 1}{n_k}},$$

burada n_k – kompressorda (vurucuda) havanın sıxılmasının politrop göstəricisidir.

Düsturdan göründüyü kimi üfürülən havanın temperaturu vurucuda təzyiqin yüksəlmə dərəcəsindən və sıxmanın politrop göstəricisindən asılıdır.

Vurucunun və ya üfurmə aqreqatının tipindən və soyutma dərəcəsindən asılı olaraq n_k aşağıdakı hədlərdə qəbul edilə bilər:

- Porşenli vurucular üçün $1,4 \div 1,6$
- Həcmi vurucular üçün $1,55 \div 1,75$
- Oxboyu və mərkəzdənqaçma tipli vurucular üçün $1,4 \div 2,0$

T_k temperaturunu aşağıdakı ifadənin köməyi ilə də müəyyən etmək olar:

$$T_k = T_0 \left[1 + \frac{(p_k / p_0)^{(k-1)/k} - 1}{\eta_{ad.k}} \right],$$

burada $\eta_{ad.k} = 0,66 \div 0,80$ – kompressorun adiabatik f.i.ə-dır.

Qalıq qazların təzyiqi. Qalıq qazların təzyiqi silindrdəki klapanların sayından və yerləşməsindən, sorma və xaricətmə traktlarının müqavimətindən, qazpaylama fazalarından, üstəlik üfurmənin tipindən, mühərrikin dövrlər sayından və yükündən, soyutma sistemindən və s. amillərdən asılı olaraq müəyyən edilir.

Atmosfer tipli avtotraktor mühərrikləri, habelə mexaniki intiqallı vurucuya malik üstəlik üfurməli mühərriklər üçün qalıq qazların təzyiqi aşağıdakı ifadə ilə müəyyənləşdirilir:

$$p_r = (1,05 \div 1,25) p_0$$

p_r –in böyük qiymətləri dövrlər sayı yüksək olan mühərriklərdə alınır. p_r –in kiçik qiymətləri isə yanacağı birbaşa silindrə püskürülən və qida sistemləri elektron idarəetməli olan mühərriklər üçün xarakterikdir. Mühərrikin xaricətmə sistemində işlənmiş qazların neytralizatoru olarsa, p_r –in qiyməti böyük hədlərə yaxın götürülür.

Turbokompressorla üstəlik üfurməli mühərriklərdə isə qalıq qazların təzyiqi aşağıdakı ifadə ilə müəyyən edilir:

$$p_r = (0,75 \div 0,98) p_k$$

Qalıq qazların temperaturu. Mühərrikin tipindən, sıxma dərəcəsindən, dövrlər sayından, habelə hava artıqlıq əmsalından asılı olaraq qalıq qazların temperaturu T_r aşağıdakı hədlərdə dəyişir:

- qığılcımla alışdırılmalı mühərriklər üçün $900 \div 1100 K$
- dizel mühərrikləri üçün $600 \div 900 K$
- qaz mühərrikləri üçün $750 \div 1000 K$

Qeyd edək ki, mühərrikin sıxma dərəcəsi artdıqca və işçi qarışığın tərkibi zənginləşdikcə qalıq

qazların temperaturu aşağı düşür, dövrlər sayı ardıqda isə azalır.

Təzə qarışığın qızdırılma temperaturu. Sorma prosesi zamanı silindrə daxil olan təzə qarışıq mühərrikin qızmış hissələri, yəni sorma borusunun və klapanının, habelə silindrin səthi ilə təmasa girərək qızır. Deməli, sorma prosesi ərzində baş verən qaz mübadiləsi nəticəsində təzə qarışığın temperaturu artır və bu təzə qarışığın kütləsini azaltdığından silindrin doldurulması pisləşir. Bu qızmanın qiyməti soyutma sisteminin tipindən, sorma traktının konstruksiyasından, üstəlik üfurmənin olub-olmamasından asılıdır. Hava ilə soyutmalı mühərriklər üçün qarışığın qızdırılma temperaturu ΔT -nin qiymətləri nisbətən böyük alınır. ΔT -nin qiymətləri mühərriklər üçün cədvəl 10.1-dən seçilir.

Sormanın sonundakı təzyiq. Sorma prosesinin sonunda silindrdəki təzyiq:

$$p_a = p_k - \Delta p_a, \quad MPa,$$

burada Δp_a – sorma zamanı təzyiq itkiləridir, MPa . Bu itkilər sorma sisteminin müqaviməti və silindrdə qarışıq axınının sürətinin sönməsinin nəticəsidir.

Sorma zamanı təzyiq itkiləri Bernulli tənliyinin köməyi ilə hesablanır:

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{sor}) \frac{w_{sor}^2}{2} \rho_k 10^{-6}, \quad MPa$$

burada β – silindrin baxılan en kəsiyində qarışıq axını sürətinin sönmə əmsalındır; ξ_{sor} – sorma sisteminin müqavimət əmsalındır; w_{sor} – klapanın keçid sahəsində qarışıq axınının sürətidir, m/s ; ρ_k – qarışığın sıxlığıdır, kq/m^3 .

Müasir avtotraktor mühərrikləri üçün nominal güc rejimində $(\beta^2 + \xi_{sor}) = 2,5 \div 4,0$, $w_{sor} = 50 \div 130 \text{ m/s}$ hədlərində götürülür.

Sorma zamanı təzə qarışığın sıxlığı:

$$\rho_k = \frac{p_k}{R_h T_k} 10^6, \quad kq / m^3,$$

burada R_h – hava üçün xüsusi qaz sabitidir:

$$R_h = \frac{R}{m_h}, \quad C/(kq.dər)$$

burada $R_h = 8315 \text{ C}/(kq.dər)$ – universal qaz sabitidir; $m_h = 28,96 \text{ kq/kmol}$ – havanın molekul çəkisi-dir.

Sorma zamanı təzyiq itkilərinin qiyməti aşağıda göstərilən hədlərdə olur:

- qığılcımla alıxdırmalı mühərriklər üçün $(0,05 \div 0,20)p_0$
- dizel mühərrikləri üçün $(0,03 \div 0,18)p_0$

Qalıq qazlar əmsalı. Qalıq qazlar əmsalı γ_r silindrin qalıq qazlardan təmizlənmə keyfiyyətini göstərir. γ_r azaldıqca sorma zamanı silindrə daxil olan təzə qarışığın miqdarı artır. Qeyd edildiyi kimi avtotraktor mühərriklərində sorma klapanı porşenin y.ö.n. vəziyyətinə çatmasına $10 \div 35^\circ$ qalmış açılır, a.ö.n. vəziyyətindən $40 \div 85^\circ$ keçmiş bağlanır. Klapanın əvvəlcədən açılması mühərrikin silindrinin doldurulmasını yaxşılaşdırmaqla yanaşı üstəlik üfurməli mühərriklərdə silindrin üfürülmə vasitəsilə daha yaxşı təmizlənməsini təmin edir ki, bu da öz növbəsində qalıq qazların miqdarını xeyli azaldır. Yuxarıda deyildiyi kimi belə üfürülmənin təsiri φ_{tam} təmizləmə əmsalının köməyi ilə nəzərə alınır. Bu əmsal üstəlik üfurmənin dərəcəsindən, mühərrikin sürət rejimindən, sorma və xaric klapanlarının eyni zamanda açıq qalması periodunun uzunluğundan asılı olur. Təmizləmə əmsalı ancaq üstəlik üfurməli mühərriklərin hesabında nəzərə alınır. Üstəlik üfurmə olmadıqda $\varphi_{tam} = 1$ qəbul edilir.

Məlumdur ki, sorma klapanı a.ö.n. vəziyyətindən sonra bağlandıqda sorma sistemindəki axının sürəti və ətaləti mühərrikin silindrinə əlavə təzə qarışığın doldurulmasını təmin edir və hesablamalar zamanı əlavə doldurma əmsalı $\varphi_{ə.l.d}$ vasitəsilə nəzərə alınır. Silindrin əlavə doldurulması qazpaylama fazasının seçilməsindən, sorma traktının uzunluğundan və dirsəkli valın dövrlər sayından asılı olur və $\varphi_{ə.l.d} = 1,12 \div 1,15$ hədlərinə qədər çata bilər. Dövrlər sayı azaldıqda isə təzə qarışığın silindrdən geri qovulması da baş verə bilər ki, bu zaman $\varphi_{ə.l.d} = 0,88 \div 0,95$ hədlərində qiymət alır.

Üfürülmə və əlavə doldurma nəzərə alındıqda 4-taklı mühərriklər üçün qalıq qazlar əmsalı:

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{\varphi_{t.m.p_r}}{\varepsilon \varphi \cdot p_a - \varphi_t \cdot p_r}.$$

Üfürülmə və əlavə doldurma nəzər alınmadıqda $\varphi_{təm} = \varphi_{əl.d} = 1$ olur və hesabat düsturu aşağıdakı şəkil alır:

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon p_a - p_r}.$$

Müxtəlif mühərriklər üçün γ_r –in sıxma dərəcəsi, dövrlər sayından və sormanın sonunda işçi cismnin parametrlərindən asılı olaraq seçilən qiymətlərinin hədləri cədvəl 1-də verilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, üstəlik üfürmənin tətbiqi qalıq qazlar əmsalının qiymətini azaldır.

Sorma prosesinin sonundakı temperatur. Sorma prosesinin sonundakı temperatur T_a qalıq qazlar əmsalından və qarışığın qızdırılmasından, habelə qalıq qazların temperaturundan asılı olaraq aşağıdakı kimi tapılır:

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}, \quad K$$

Doldurma əmsalı. Doldurma əmsalı silindrə doldurulmuş təzə qarışığın həqiqi miqdarının silindrin ətraf mühit şəraitində nəzəri olaraq tuta biləcəyi təzə qarışıq miqdarına nisbətini göstərir:

$$\eta_v = \frac{G_h}{G_n} = \frac{V_h}{V_n} = \frac{M_h}{M_n},$$

burada G_h, V_h, M_h – sorma prosesi zamanı silindrə doldurulmuş təzə qarışığın həqiqi miqdarıdır, kq, m^3, mol ; G_n, V_n, M_n – ətraf mühit şəraitində silindrin işçi həcmnin nəzəri olaraq tuta biləcəyi qarışığın miqdarıdır, kq, m^3, mol .

Üfürülmə və əlavə doldurma nəzərə alındıqda:

$$\eta_v = \frac{T_k}{T_k + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_k} (\varepsilon p_a - \varphi_t p_r),$$

əks halda isə

$$\eta_v = \frac{T_k}{T_k + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_k} (\varepsilon p_a - p_r)$$

düsturları ilə hesablanır. Doldurma əmsalının qiyməti əsasən mühərrikin taktlılığından, sü'ətliliyindən və qazpaylama sisteminin mükəmməlliyindən asılıdır. Tənliklərindən görüldüyü kimi p_a artdıqca, η_v –nin qiyməti artır.

Cədvəl 10.1-də mühərrikin nominal rejimdə işi zamanı qaz mübadiləsi proseslərinin əsas parametrlərinin eksperimental olaraq müəyyən edilmiş qiymətləri verilmişdir.

Cədvəl 10.1

Göstəricilər	4 taktlı daxili yanma mühərrikləri		Düz axınlı qaz mübadiləsi olan 2 taktlı d.y.m
	qılgıncımla alışırmalı mühərriklər	dizel mühərrikləri	
Qalıq qazlar əmsalı, γ_r	0,04÷0,10	0,02÷0,05	0,04÷0,08
Qalıq qazların təzyiqi, p_r	0,105÷0,115	0,115÷0,125	0,115÷0,125
Qalıq qazların temperaturu, T_r, K	900÷1100	600÷900	600÷900
Doldurma əmsalı, η_v	0,8÷0,96	0,8÷0,94	0,8÷0,97
Sormanın sonundakı təzyiq, p_a, MPa	0,075÷0,090	0,085÷0,095	(0,85÷1,05) p_k
Qarışığın qızdırılma temperaturu, $\Delta T, ^\circ C$	0÷20	10÷40	- 5÷ +10
Sormanın sonundakı temperatur, T_a, K	320÷370	310÷350	320÷400

Qaz mübadiləsi proseslərinin parametrləri ilk növbədə mühərrikin təyinatından, yəni onun minik və ya yük avtomobili üçün nəzərdə tutulmasından asılıdır. Belə ki, minik avtomobili mühərriklərinin sıxma dərəcəsi və dövrlər sayı daha böyük olur, qalıq qazlar əmsalının (γ_r) qiyməti aşağı hədd, sorma prosesinin sonundakı təzyiqin (p_a) və doldurma əmsalının (η_v) qiymətləri isə yuxarı hədd qiymətlərinə yaxın olur.

Sorma prosesinə təsir edən amillər

Üstəlik üfürmə.

Sorma traktının müqaviməti.

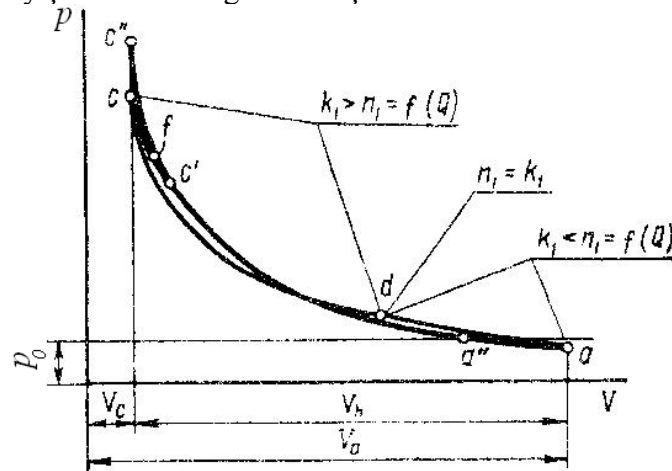
Sorma sisteminin idarə edilməsi.

İş rejimi

Atmosfer şəraiti

SIXMA PROSESİ VƏ ONUN PARAMETRLƏRİ

Sıxma prosesi ərzində mühərrikin silindrdəki işçi cismnin təzyiq və temperaturu artdığından yanacağın alışdırılması və yanması təmin edilir. Sıxma prosesinin başlanğıcında silindrdəki qarışığın temperaturu divarların temperaturundan aşağı olur. Sıxma zamanı həm divarlardan verilən istiliyin, həm də sıxılmanın təsirindən qazların temperaturu artır. Bir müddətdən sonra divarla qazların temperaturu bərabərləşir və getdikcə qarışığın temperaturu divarından çox olur. Beləliklə, sıxma prosesi başlanğıcda divarlardan silindrdəki qaz qarışığına, porşenin müəyyən vəziyyətindən sonra isə əksinə yönəlmiş istilik mübadiləsi şəraitində gedir. Odur ki, sıxma prosesi göstəriciləri dəyişən politropik prosesdir. Prosesin əvvəlində istilik silindrin divarlarından qaz qarışığına verildiyindən, politrop göstəricisi adiabat göstəricisindən böyük qiymətlər alır və qazların təzyiq və temperaturunun yüksəlməsi adiabat prosesindəkindən yuxarıda yerləşən əyri üzrə gedir. İkinci mərhələdə (yəni, istilik qaz qarışığından divara verildikdə) isə proses adiabatdan aşağıda yerləşən əyri üzrə gedir. Şəkil 11.1-də sıxma politropunun dəyişmə xarakteri göstərilmişdir.



Şəkil 11.1. Sıxma prosesinin gedişi

Sıxma politropik prosesinin göstəricisinin (n_1) orta qiyməti adiabatik və izotermik proseslərin göstəricilərinin qiymətləri arasında alınır. Bu göstəricinin qiyməti qarışıqla silindrin divarları arasındakı istilik mübadiləsindən asılıdır. İstilik itkiləri artdıqca n_1 -in qiyməti azalır.

Göründüyü kimi sıxma prosesi zamanı təzyiqin dəyişməsi çox mürəkkəb qanunauyğunluqla baş verir. Bu səbəblərdən mühərrikin istilik hesabı aparılarkən bir sıra sadələşdirmələrə yol vermək lazım gəlir.

Şərti olaraq qəbul edilir ki, sıxma prosesi dəyişən n_1 göstəricisinə malik politrop üzrə baş versə də, onun elə sabit orta qiyməti seçilə bilər ki, sıxma xətti üzrə görülən işlər bərabər olsun.

Sıxmanın orta politrop göstəricisi n_1 orta adiabat göstəricisi k_1 -ə görə müəyyənləşdirilir. Qıyıcım ilə alışdırılmalı mühərriklər üçün $n_1 = (k_1 - 0,00) \div (k_1 - 0,04)$, dizellər üçün isə $n_1 = (k_1 + 0,02) \div (k_1 - 0,02)$ hədlərində dəyişir. Orta adiabat göstəricisi k_1 isə ε və T_a -nın məlum qiymətlərinə görə xüsusi nomogramdan (şək. 11.2) tapılır. Bu nomogram

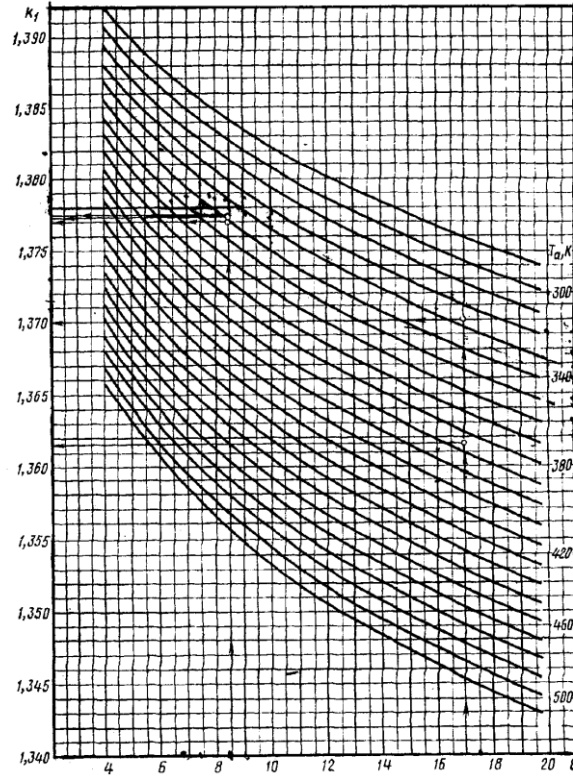
$$k_1 = 1 + \frac{\lg T_c - \lg T_a}{\lg \varepsilon}, \quad (11.1)$$

$$k_1 = 1 + \frac{8,315}{(mc_V)_{t_a}^{t_c}} \quad (11.2)$$

tənliklərinin kompyuterdə birgə həlli yolu ilə qurulmuşdur. Burada

$$(mc_V)_{t_a}^{t_c} = \frac{(mc_V)_{t_0}^{t_c} \cdot t_c - (mc_V)_{t_0}^{t_a} \cdot t_a}{t_c - t_a} \quad (11.3)$$

Yanacaq-hava qarışığının sıxılması zamanı yanacaq buxarlanır və bu zaman istilik udulur. Eyni zamanda yanacaq buxarları yanıcı qarışığın istilik tutumunu artırır. Bu iki amil ε və T_a -nın eyni qiymətlərində orta politrop göstəricisi n_1 -in qiymətinin qığılcımla alışdırılmalı mühərriklərdə dizellərə nisbətən az olmasına səbəb olur.



Şəkil 11.2. Avtomobil mühərriklərində sıxmanın k_1 adiabat göstəricisini təyin etmək üçün nomogram

Sıxma dərəcəsinin seçilməsi

Daxili yanma mühərriklərinin iş göstəriciləri sıxma dərəcəsindən xeyli asılıdır. Mühərrikin effektiv göstəriciləri, xüsusilə də effektiv f.i.ə adlı parametr (η_e) əsasən onun ideal siklinin termodinamiki f.i.ə (η_t) və mexaniki itkiləri nəzərə alan mexaniki f.i.ə-nın (η_m) hasilindən asılıdır. Sıxma dərəcəsi artdıqca η_t artır, η_m isə azalır. Lakin əvvəlcə η_t -nin artması η_m -in azalmasından çox olur, sıxma dərəcəsinin müəyyən qiymətindən sonra isə η_m -in azalması üstün olmağa başlayır. Beləliklə, sıxma dərəcəsinin müəyyən hədlərə qədər artması effektiv f.i.ə-nın artmasına səbəb olur. Deməli, effektiv f.i.ə-nın maksimum qiymətinə müvafiq olan sıxma dərəcəsi ən optimal sayılır.

Müasir nəzəri əsaslara görə müəyyən edilmişdir ki, bütün porşenli mühərriklər üçün ən optimal sıxma dərəcəsi $\varepsilon=12 \div 13$ qiymətləri arasındadır. Mühərrikin mexaniki f.i.ə-nı artırmaq üçün ən müxtəlif tədbirlərin görülməsi sıxma dərəcəsinin optimal qiymətlərinə yaxınlaşdırılmasına imkan yaradır. Bu tədbirlər mühərrikin istehsal və yığılma texnologiyasının yaxşılaşdırılmasından, yanıcı qarışığın hazırlanmasının və yandırılmasının optimallaşdırılmasından, köməkçi aqreqlərin təkmilləşdirilməsindən, yanacaqların oktan ədədinin yüksəldilməsindən, habelə keyfiyyətə daha üstün xassələrə malik sürtgü yağlarından istifadə olunmasından ibarətdir.

Mühərrikin sıxma dərəcəsinin ən optimal qiymətlərini götürmək hələ ki, mümkün olmur. Çünki məcburi alışdırılmalı mühərriklərdə buna detonasiya təhlükəsi imkan vermir, dizellərdə isə yanacağın etibarlı özülüşməsinin təmin edilməsi çətinlik törədir. Odur ki, məcburi alışdırılmalı mühərriklərdə sıxma dərəcəsi həmişə ən optimal qiymətdən aşağı, dizellərdə isə əksinə, yuxarı olur. Qığılcımla alışdırılmalı mühərriklərin sıxma dərəcəsinin optimal qiymətə qədər yüksəldilməsi, dizellərdə isə bu

qiymətə qədər azaldılması mühərriqayırmanın ən vacib problemlərindəndir və son onilliklərdə ən müxtəlif üsullardan istifadə olunmaqla bu problemin həllində böyük inkişaf nəzərə çarpır. Belə ki, artıq seriya ilə istehsal olunan məcburi alışdırılmalı mühərriklərin sıxma dərəcəsi $\varepsilon=12$ həddini müvəffəqiyyətlə aşmaqdadır. Dizellərdə isə bu həddi bəzi tip mühərriklərdə $\varepsilon=13,5$ həddinə çatdırmaq mümkün olmuşdur.

Məcburi alışdırılmalı mühərriklərdə sıxma dərəcəsi seçilərkən, detonasiya təhlükəsini aradan qaldırmaq ən mühüm məsələdir. Müəyyən edilmişdir ki, bu mühərriklərdə sıxma dərəcəsi yanacağın oktan ədədindən, mühərrikin iş şəraitindən, soyudulma üsulundan, yanıcı qarışığın hazırlanması, alışdırılması və yandırılması üsullarından, porşen və silindrlər başlığının materialından və s. amillərdən asılıdır. Nisbətən yüngül iş şəraiti üçün nəzərdə tutulmuş (minik və yüngül yük avtomobilləri üçün) məcburi alışdırılmalı mühərriklərin sıxma dərəcəsi mümkün qədər yüksək hədlərdə götürülür. Ağır iş şəraiti üçün nəzərdə tutulan (orta və ağır yük avtomobilləri, sənişin avtobusları) mühərriklərdə isə sıxma dərəcəsi nisbətən az götürülür. Hərçənd ki, bu tip avtomobillərdə artıq məcburi alışdırılmalı mühərriklərin tətbiqi kəskin olaraq azalmaqdadır.

Yanacağın sorma borusuna fəzalar üzrə paylanmış püskülməsinin, xüsusilə də yanacağın birbaşa silindrə püskürülməsinin və təbəqəli qarışdırmanın tətbiqi məcburi alışdırılmalı mühərriklərin sıxma dərəcəsini optimal qiymətlərə yaxın seçilməsinə imkan verir.

Dizel mühərriklərində sıxma dərəcəsi özülüşmanın etibarlı olmasını təmin edilməsi tələbinə görə seçilir. Avtomobil dizellərində özülüşmə nöqtəyi-nəzərindən ən etibarsız şərait işəsalma və kiçik yüklərdə işləmə rejimlərində olur. Ona görə də sıxma dərəcəsi bu rejimlərdə mühərrikin işinin etibarlı olması tələbi nəzərə alınmaqla seçilir. Ağır iş şəraitinə hesablanan və etibarlı işəsalma quruluşuna malik dizellərin (məs.: traktor dizellərinin) əsas iş rejimində yanacaq qənaətliliyini və mühərrikin ömür uzunluğunu artırmaq məqsədilə sıxma dərəcəsi nisbətən aşağı götürülür.

Üstəlik üfurməli dizellərdə üfurmə nasosları silindrə verilən havanı əvvəlcədən müəyyən qədər sıxdığı üçün sıxma dərəcəsinin qiymətini nisbətən azaltmaq mümkün olur. Lakin bu zaman işəsalmanın etibarlı olması təmin edilməlidir.

Burulğan, ön kamerli dizellərdə yanma kamerinin istilik vermə səthi böyük olduğundan, sıxmanın sonunda havanın temperaturu aşağı olur. Ona görə etibarlı işəsalma və kiçik yük rejimlərində mühərrikin dayanıqlı işləməsinə təmin etmək üçün sıxma dərəcəsini nisbətən yüksək götürmək lazım gəlir.

Çoxyanacaqli dizellər özülüşmə temperaturu yüksək olan yanacaqlarla işlədiyindən, onların sıxma dərəcəsi işlətdikləri çətin alışan yanacağa görə seçilir.

İki taktli mühərriklərdə porşen gedişinin bir hissəsi üfurmə-xaricətmə proseslərinin icrası üçün istifadə olunduğundan, sıxma dərəcəsi anlayışı başqa şəkil alır, sıxma a nöqtəsindən başlayır (şək.11.3). Odur ki, həqiqi səxma dərəcəsi

$$\varepsilon = V_d / V_c$$

olacaqdır. Lakin siklin göstəricilərindən mühərrikin göstəricilərinə keçmək üçün parametrləri porşenin gedişi ilə əlaqələndirmək lazım olduqda, həndəsi sıxma dərəcəsindən (ε_h) istifadə edilir:

$$\varepsilon_h = (V_h + V_c) / V_c$$

Həqiqi sıxma dərəcəsi ilə həndəsi sıxma dərəcəsi arasında qarşılıqlı əlaqə düsturları aşağıdakılardır:

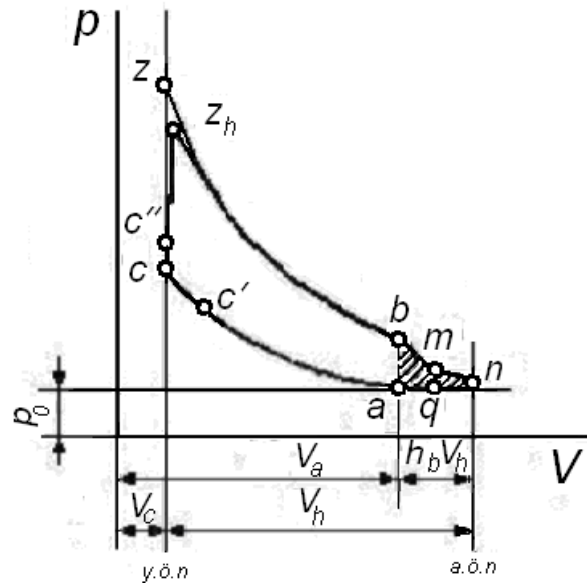
$$\varepsilon_h = \frac{\varepsilon - h_b}{1 - h_b},$$

$$\varepsilon = \varepsilon_h - h_b(\varepsilon_h - 1),$$

burada h_b ($h_b=0,12 \div 0,30$) – porşenin gedişinin xaricətmə pəncərəsinin hündürlüyünə uyğun gələn hissəsidir.

Həndəsi və həqiqi sıxma dərəcəsi anlayışlarından həmçinin Atkinson və Miller siklləri üzrə işləyən daxili yanma mühərriklərində də istifadə olunur. Buna səbəb də sorma klapanlarının vaxtından qabaq və ya gec bağlanması ilə əlaqədar olaraq həqiqi sıxma prosesi müddətinin azaldılmasıdır.

Yanacaqdan, mühərrikin iş şəraitindən və tipindən, həmçinin yuxarıda deyilmiş digər şərtlərdən asılı olaraq sıxma dərəcəsi cəđ.11.1-də göstərilən hədlərdə olur.



Şəkil 11.3. İkitəktli, məcburi alışdırılmalı mühərrikin sxemi və indikator diaqramı

Cədvəl 11.1

Sıra	Mühərriklər	Sıxma dərəcəsi
1.	Karbüratorlu benzin mühərrikləri	6,0 ÷ 10,0
2.	Qaz mühərrikləri	8,0 ÷ 10,0
3.	Sorma borusuna və ya birbaşa silindrə benzin püskürülən mühərriklər	10,5 ÷ 12,0
4.	Birkamerli avtomobil dizelləri	15,0 ÷ 17,0
5.	Birkamerli, üstəlik üfurməli avtomobil dizelləri	13,0 ÷ 15,0
6.	Burulğan və ön kamerlu, digər ikikamerli dizellər	17,0 ÷ 22,0
7.	Çoxyanacaqqlı dizellər	17,0 ÷ 20,0

Sıxma prosesinin sonunda işçi qarışığın təzyiq və temperaturunu tapmaq üçün politrop prosesin aşağıdakı tənliklərindən istifadə olunur:

$$pV^{n_1} = \text{const};$$

$$TV^{n_1-1} = \text{const}.$$

Prosesin a və c xarakterik nöqtələri üçün aşağıdakı tənlikləri yazmaq olar:

$$pV_a^{n_1} = pV_c^{n_1} \quad (11.4)$$

$$TV_a^{n_1-1} = TV_c^{n_1-1} \quad (11.5)$$

Bu tənliklərin birincisindən

$$p_c = p_a \left(\frac{V_a}{V_c} \right)^{n_1} \quad (11.6)$$

və ya

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1}, \quad \text{MPa}, \quad (11.7)$$

ikincisindən isə

$$T_c = T_a \left(\frac{V_a}{V_c} \right)^{n_1-1} \quad (11.8)$$

və ya

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1}, \quad K \quad (11.9)$$

Müxtəlif tip avtotraktor mühərrikləri üçün sıxmanın sonundakı təzyiq və temperaturun hədləri cədvəl 11.2 -də verilir.

Cədvəl 11.2

Parametrlər	Üstəlik üfürməsiz dizel	Üstəlik üfürməli dizel*	Qığılcımla alışdırılmalı mühərrik**
Sıxma dərəcəsi ε	15 ÷ 23	12 ÷ 15	6,5 ÷ 12
Sıxmanın orta politrop göstəricisi n_1	1,35 ÷ 1,38	1,33 ÷ 1,37	\\ 1,35 ÷ 1,38
Sıxmanın sonundakı təzyiq p_c, MPa	2,9 ÷ 6,0	8-ə qədər	1,2 ÷ 2,2
Sıxmanın sonundakı temperatur T_c, K	700 ÷ 900	1000	600 ÷ 900

* üstəlik üfürmə təzyiqinin $p_k < 0,2$ MPa qiymətlərində və üstəlik üfürmə aqreqatından sonra aralıq soyuducunun olmadığı halda

** tam açıq drosseldə

Sıxma prosesinin sonu üçün təzə yanıcı qarışıqın orta molekulyar istilik tutumu havanın istilik tutumuna bərabər götürülür, cədvəl 10.3 və ya cədvəl 10.4-dən istifadə etməklə tapılır:

$$(mc_V)_{t_0}^{t_c} = 20,6 + 0,002638 (T_c - 273), \quad kC/(kmol \cdot dər) \quad (11.10)$$

Cədvəl 11.3

t, °C	Sabit həcmdə qazların orta molekulyar istilik tutumları, $kC/(kmol \cdot dər)$						
	Hava	O ₂	N ₂	H ₂	CO	CO ₂	H ₂ O
0	20,759	20,960	20,705	20,303	20,809	27,546	25,185
100	20,839	21,224	20,734	20,621	20,864	29,799	25,428
200	20,985	21,617	20,801	20,759	20,989	31,746	25,804
300	21,207	22,086	20,973	20,809	21,203	33,442	26,261
400	21,475	22,564	21,186	20,872	21,475	34,936	26,776
500	21,781	23,020	21,450	20,935	21,785	36,259	27,316
600	22,091	23,447	21,731	21,002	22,112	37,440	27,881
700	22,409	23,837	22,028	21,094	22,438	38,499	28,476
800	22,714	24,188	22,321	21,203	22,756	39,450	29,079
900	23,008	24,511	22,610	21,333	23,062	40,304	29,694
1000	23,284	24,804	22,882	21,475	23,351	41,079	30,306
1100	23,548	25,072	23,142	21,630	23,623	41,786	30,913
1200	23,795	25,319	23,393	21,793	23,878	42,427	31,511
1300	23,029	25,549	23,627	21,973	24,113	43,009	32,093
1400	24,251	25,763	23,849	22,153	24,339	43,545	32,663
1500	24,460	25,968	24,059	22,333	24,544	44,035	33,211
1600	24,653	26,160	24,251	22,518	24,737	44,487	33,743
1700	24,837	26,345	24,435	22,698	24,917	44,906	34,262
1800	25,005	26,520	24,603	22,878	25,089	45,291	34,756
1900	25,168	26,692	24,766	23,058	25,248	45,647	35,225
2000	25,327	26,855	24,917	23,234	25,394	45,977	35,682
2100	25,474	27,015	25,063	23,410	25,537	46,283	36,121
2200	25,612	27,169	25,202	23,577	25,666	46,568	36,540
2300	25,746	27,320	25,327	23,744	25,792	46,832	36,942
2400	25,871	27,471	25,449	23,908	25,909	47,079	37,331
2500	25,993	27,613	25,562	24,071	26,022	47,305	37,704
2600	26,120	27,753	25,672	24,234	26,120	47,515	38,060
2700	26,250	27,890	25,780	24,395	26,212	47,710	38,395
2800	26,370	28,020	25,885	24,550	26,300	47,890	38,705

Cədvəl 11.4

Qazların adı	Sabit həcmdə bəzi temperaturalarda qazların orta molekulyar istilik tutumlarını təyin etmək üçün empirik düsturlar, $kC/(kmol \cdot dər)$	
	0°C-dən 1500 °C -dək	1501 °C-dən 2800 °C -dək

Hava		$mc_V = 20,6 + 0,002638t$	$mc_V = 22,387 + 0,001449t$
Oksigen	O_2	$mc_{V_{O_2}} = 20,93 + 0,004641t - 0,00000084t^2$	$mc_{V_{O_2}} = 23,723 + 0,001550t$
Azot	N_2	$mc_{V_{N_2}} = 20,398 + 0,002500t$	$mc_{V_{N_2}} = 21,951 + 0,001457t$
Hidrogen	H_2	$mc_{V_{H_2}} = 20,684 + 0,000206t + 0,000000588t^2$	$mc_{V_{H_2}} = 19,678 + 0,001758t$
Dəm qazı	CO	$mc_{V_{CO}} = 20,597 + 0,002670t$	$mc_{V_{CO}} = 22,490 + 0,001430t$
Karbon qazı	SO_2	$mc_{V_{CO_2}} = 27,941 + 0,019t - 0,000005487t^2$	$mc_{V_{CO_2}} = 39,123 + 0,003349t$
Cu buxarı	H_2O	$mc_{V_{H_2O}} = 24,953 + 0,005359t$	$mc_{V_{H_2O}} = 26,67 + 0,004438t$

Qalıq qazların orta molekulyar istilik tutumu isə cədvəl 11.5 və cədvəl 11.6-dan istifadə edilməklə ekstrapolyasiya metodu ilə təyin edilir:

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}} = (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}(\alpha_{x_1})} + \left[(mc_V'')_{t_0}^{t_{x_2}(\alpha_{x_2})} - (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}(\alpha_{x_1})} \right] \cdot \frac{\alpha - \alpha_{x_1}}{\alpha_{x_2} - \alpha_{x_1}}, \quad (11.11)$$

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_{x_2}} = (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_2}(\alpha_{x_1})} + \left[(mc_V'')_{t_0}^{t_{x_2}(\alpha_{x_2})} - (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}(\alpha_{x_1})} \right] \cdot \frac{\alpha - \alpha_{x_1}}{\alpha_{x_2} - \alpha_{x_1}}, \quad (11.12)$$

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_c} = (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}} + \left[(mc_V'')_{t_0}^{t_{x_2}} - (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}} \right] \frac{t_c - t_{x_1}}{t_{x_2} - t_{x_1}}, \quad kC/(kmol \cdot dər) \quad (11.13)$$

burada $t_c = T_c - 273, ^\circ C$; t_{x_1}, t_{x_2} - müvafiq olaraq cədvəldən götürülmüş, t_c - yə ən yaxın kiçik və böyük yuvarlaq temperaturlardır, $^\circ C$; $\alpha_{x_1}, \alpha_{x_2}$ - cədvəldəki hava artıqlıq əmsalının α -ya ən yaxın kiçik və böyük yuvarlaq qiymətləridir.

Cədvəl 11.5

Temperatur, $^\circ C$	α -nın müxtəlif qiymətlərində benzinin yanma məhsullarının orta molekulyar istilik tutumu $kC/(kmol \cdot dər)$											
	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
0	21,683	21,786	21,880	21,966	22,046	22,119	22,187	22,253	22,319	22,385	22,451	22,517
100	21,902	22,031	22,149	22,257	22,356	22,448	22,533	22,617	22,700	22,782	22,864	22,946
200	22,140	22,292	22,431	22,559	22,676	22,784	22,885	22,979	23,072	23,164	23,256	23,348
300	22,445	22,618	22,776	22,921	23,055	23,173	23,283	23,385	23,486	23,586	23,686	23,786
400	22,777	22,968	23,143	23,303	23,450	23,586	23,712	23,838	23,963	24,087	24,211	24,335
500	23,138	23,345	23,534	23,707	23,867	24,014	24,150	24,285	24,419	24,552	24,685	24,818
600	23,507	23,727	23,929	24,113	24,284	24,440	24,586	24,721	24,855	24,988	25,121	25,254
700	23,882	24,115	24,328	24,523	24,702	24,868	25,021	25,173	25,324	25,475	25,625	25,775
800	24,249	24,493	24,715	24,919	25,107	25,280	25,441	25,600	25,757	25,913	26,068	26,223
900	24,608	24,861	25,092	25,304	25,500	25,680	25,847	26,012	26,176	26,339	26,501	26,663
1000	24,949	25,211	25,449	25,668	25,870	26,056	26,229	26,398	26,565	26,730	26,894	27,057
1100	25,276	25,545	25,791	26,016	26,224	26,415	26,593	26,767	26,939	27,109	27,278	27,446
1200	25,590	25,866	26,118	26,349	26,562	26,768	26,940	27,109	27,276	27,441	27,605	27,768
1300	25,887	26,168	26,426	26,662	26,879	27,080	27,265	27,437	27,607	27,775	27,941	28,106
1400	26,099	26,456	26,719	26,959	27,180	27,385	27,574	27,746	27,916	28,084	28,250	28,415
1500	26,436	26,728	26,995	27,240	27,465	27,673	27,866	28,044	28,220	28,395	28,568	28,740
1600	26,685	26,982	27,253	27,501	27,729	27,941	28,136	28,316	28,493	28,668	28,841	29,013
1700	26,924	27,225	27,499	27,751	27,983	28,197	28,395	28,578	28,757	28,933	29,107	29,280
1800	27,147	27,451	27,728	27,983	28,218	28,434	28,634	28,819	28,999	29,175	29,349	29,521
1900	27,359	27,667	27,948	28,205	28,442	28,661	28,863	29,050	29,232	29,409	29,584	29,757
2000	27,559	27,870	28,153	28,413	28,652	28,873	29,078	29,268	29,453	29,633	29,809	29,983
2100	27,752	28,065	28,351	28,613	28,854	29,077	29,283	29,478	29,668	29,853	30,033	30,210
2200	27,935	28,251	28,539	28,803	29,046	29,270	29,478	29,673	29,863	30,048	30,228	30,405
2300	28,104	28,422	28,712	28,978	29,223	29,449	29,658	29,844	30,026	30,203	30,376	30,547
2400	28,268	28,588	28,879	29,147	29,394	29,621	29,832	30,029	30,212	30,390	30,563	30,734
2500	28,422	28,744	29,037	29,305	29,553	29,782	29,993	30,185	30,367	30,544	30,716	30,887
2600	28,570	28,892	29,187	29,458	29,706	29,936	30,149	30,342	30,524	30,696	30,867	31,037
2700	28,711	29,036	29,332	29,604	29,854	30,085	30,298	30,491	30,673	30,845	31,016	31,186
2800	28,847	29,173	29,470	29,743	29,994	30,226	30,440	30,643	30,835	31,016	31,186	31,355

Cədvəl 11.6

Temperatur, $^\circ C$	α -nın müxtəlif qiymətlərində dizel yanacağıın yanma məhsullarının orta molekulyar istilik tutumu $kC/(kmol \cdot dər)$											
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
0	22,184	22,061	21,958	21,870	21,794	21,728	21,670	21,572	21,493	21,428	21,374	21,328

100	22,545	22,398	22,275	22,169	22,078	21,999	21,929	21,812	21,717	21,640	21,574	21,519
200	22,908	22,742	22,602	22,482	22,379	22,289	22,210	22,077	21,970	21,882	21,808	21,745
300	23,324	23,142	22,989	22,858	22,745	22,647	22,560	22,415	22,300	22,202	22,121	22,052
400	23,750	23,554	23,390	23,249	23,128	23,022	22,930	22,774	22,648	22,544	22,457	22,384
500	24,192	23,985	23,811	23,662	23,533	23,421	23,322	23,157	23,023	22,914	22,822	22,743
600	24,631	24,413	24,229	24,073	23,937	23,819	23,716	23,541	23,401	23,285	23,188	23,106
700	25,069	24,840	24,648	24,484	24,342	24,218	24,109	23,927	23,780	23,659	23,557	23,471
800	25,490	25,251	25,050	24,879	24,731	24,602	24,488	24,298	24,144	24,018	23,912	23,822
900	25,896	25,648	25,439	25,261	25,107	24,973	24,855	24,657	24,487	24,366	24,256	24,162
1000	26,278	26,021	25,804	25,620	25,460	25,321	25,199	24,993	24,828	24,692	24,578	24,481
1100	26,641	26,375	26,151	25,960	25,795	25,652	25,525	25,313	25,142	25,001	24,883	24,783
1200	26,987	26,713	26,482	26,286	26,116	25,967	25,837	25,618	25,442	25,296	25,175	25,071
1300	27,311	27,029	26,792	26,589	26,415	26,262	26,128	25,903	25,722	25,572	25,447	25,341
1400	27,618	27,328	27,085	26,877	26,698	26,541	26,404	26,173	25,986	25,833	25,705	25,596
1500	27,907	27,610	27,361	27,148	26,965	26,805	26,664	26,427	26,237	26,080	25,948	25,836
1600	28,175	27,873	27,618	27,400	27,212	27,049	26,905	26,663	26,468	26,308	26,173	26,059
1700	28,432	28,123	27,863	27,641	27,449	27,282	27,135	26,888	26,690	26,526	26,389	26,272
1800	28,669	28,354	28,089	27,863	27,668	27,497	27,348	27,096	26,894	26,727	26,587	26,469
1900	28,895	28,575	28,305	28,076	27,877	27,704	27,552	27,296	27,090	26,921	26,781	26,658
2000	29,107	28,782	28,508	28,275	28,073	27,898	27,743	27,483	27,274	27,102	26,958	26,835
2100	29,310	28,980	28,703	28,466	28,262	28,083	27,926	27,663	27,451	27,276	27,130	27,005
2200	29,503	29,169	28,888	28,648	28,441	28,260	28,101	27,834	27,619	27,442	27,294	27,168
2300	29,680	29,342	29,057	28,815	28,605	28,422	28,261	27,991	27,774	27,595	27,444	27,317
2400	29,851	29,510	29,222	28,976	28,764	28,580	28,417	28,144	27,924	27,743	27,591	27,462
2500	30,011	29,666	29,375	29,127	28,913	28,726	28,562	28,286	28,064	27,881	27,728	27,598
2600	30,164	29,816	29,523	29,272	29,056	28,868	28,702	28,424	28,199	28,015	27,860	27,729
2700	30,311	29,960	29,664	29,412	29,194	29,004	28,837	28,557	28,331	28,144	27,988	27,856
2800	30,451	30,097	29,799	29,546	29,326	29,135	28,966	28,684	28,456	28,269	28,111	27,978

İşçi qarışığın orta molekulyar istilik tutumu aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$(mc'_v)_{t_0}^t = \frac{1}{1 + \gamma_r} \left[(mc_v)_{t_0}^t + \gamma_r (mc''_v)_{t_0}^t \right] \cdot kC / (kmol \cdot dər). \quad (11.14)$$

Müxtəlif amillərin sıxma prosesinə təsiri

Sıxma prosesi zamanı baş verən istilik mübadiləsinə aşağıdakı amillər təsir edir:

- işçi qarışıqla istilik ötürən səthlərin temperaturları arasındakı fərq;
- istilik ötürən səthin sahəsi (yəni, istilik ötürən səthin sahəsinin silindrin işçi həcminə olan nisbəti

$F_{səth}/V_h$);

- sıxma prosesi zamanı silindrdəki qarışığın miqdarı G_{qar} ;
- istilik mübadiləsinin baş verdiyi zaman intervalı;
- qarışığın hərəkət sürətindən asılı olan qazlardan səthlərə istilikvermə əmsalı;
- benzin mühərriklərində sorma prosesi zamanı buxarlanan benzinin miqdarı.

11.7 və 11.9 düsturlarından göründüyü kimi sorma prosesinin sonundakı təzyiq (p_a) və temperatur (T_a), habelə sıxma dərəcəsi (ε) və sıxmanın orta politrop göstəricisi (n_1) artdıqca sıxmanın sonundakı təzyiq (p_c) və temperatur (T_c) da artır. Deməli, sıxma prosesini son parametrləri sorma prosesinin son parametrlərindən, habelə silindrin divarları ilə porşen üzükləri arasından qarışıq sızmalarından asılıdır.

Soyuq hava şəraitində mühərrik işə salınarkən istilik ötürən səthlərin temperaturu qarışığın temperaturundan aşağı olduğundan istilik qarışıqdan soyutma sisteminə doğru daha intensiv olaraq ötürülür. Soyuq mühərrikin işə salınması zamanı dirsəkli valın dövrlər sayı aşağı olur, porşen üzükləri silindrin səthinə lazımi kiçikliklə otura bilmir, sıxma prosesinə sərf edilə vaxt isə nisbətən çox olur. Bu səbəblərdən silindrin divarları ilə porşen üzükləri arasından qarışığın sızması halları baş verdiyindən sıxmanın orta politrop göstəricisi n_1 -in qiyməti azalır və sıxmanın sonundakı təzyiq (p_c) və temperatur (T_c) da azalır.

Hava ilə soyutma sistemi tətbiq olunduqda mühərrikin işi zamanı silindrlər başlığı və gilizin istilik ötürən səthlərinin temperaturu nisbətən yüksək olduğundan qarışıqdan ötürülən istiliyin miqdarı azalır. Bu halda n_1 -in qiyməti yüksəldiyindən sıxmanın sonundakı təzyiq (p_c) və temperatur (T_c) da artır. Mayeli soyutma sisteminin tətbiqi halında isə istilik mübadiləsinin intensivliyi əsasən soyuducu mayenin temperaturundan asılı olur. Bu temperatur aşağı olduqda istilik ötürən səthlərin temperaturu

da az olur və qarışıqdan istilik daha intensiv olaraq ötürüldüyündən n_1 –in qiyməti də aşağı düşür, sıxmanın sonundakı təzyiq (p_c) və temperatur (T_c) da azalır. Porşenin soyudulmasına və ya silindrin soyudulma intensivliyinin artırılmasına yönəldilmiş konstruktiv tədbirlər isə n_1 –in azalmasına gətirib çıxarır.

Silindrlər blokunun, silindrlər başlığının və porşenin yüngül aliminium ərintilərindən hazırlanması istiliyin qarışıqdan divarlara ötürülməsini intensivləşdirdiyindən n_1 –in qiyməti də azalır. Bunun qarşısının alınması üçün $F_{səth}/V_h$ nisbətinin azaldılması məqsəduyğundur. Bu nisbət silindrin işçi həcmindən (V_h), S/D nisbətindən, yanma kamerinin tipindən asılıdır.

Sıxma dərəcəsi ε artdıqca istilik ötürən səthin sahəsi azalır, sıxılan qarışıqın temperaturu isə artır. Ümumi götürdükdə ε -nün artımı n_1 –in nisbətən artımına səbəb olsa da onun ε -dan asılılığı hədsiz dərəcədə azdır.

Sorma prosesi zamanı silindrə doldurulmuş qarışıq miqdarı (G_{qar}) istilik mübadiləsi prosesinə böyük təsir göstərir. $G_{qar}/F_{səth}$ nisbəti böyüdükcə nisbi istilik itkiləri azaldığından n_1 –in qiyməti artır. $G_{qar}/F_{səth}$ nisbətinin ən aşağı qiyməti qığıcımla alışıdır və yanacağı miqdarca tənzimlənən mühərriklərin boş işləmə rejimində işi zamanı müşahidə olunur. Mühərrikin yükü artdıqca $G_{qar}/F_{səth}$ nisbəti də böyüyür. Nəticədə nisbi istilik itkiləri azaldığından n_1 –in qiyməti də yüksəlir. İstilik ötürən səthlərin temperaturunun artması da n_1 –in artmasına yardımçı olur.

Qarışıq miqdarının keyfiyyətə tənzimlənməsi tətbiq olunan dizellərdə mühərrikin yükü artdıqca daxil olan qarışıqın miqdarı azaldığından $G_{qar}/F_{səth}$ nisbətinin qiyməti bir qədər azalır. Eyni zamanda yük artdıqca soyudulmayan və ya az soyudulan bəzi istilik ötürən səthlərin (porşenin təpə səthi, xaric klapanının nimçəsi) temperaturu da yüksəlir. Nəticədə dizellərdə yükün artımı istilik mübadiləsinin xarakterini o qədər də dəyişmədiyindən n_1 –in qiyməti ya praktiki olaraq dəyişmir, ya da azacıq olaraq artır.

Üstəlik üfurmənin tətbiqi sıxma prosesində baş verən istilik mübadiləsinə xeyli təsir göstərir. Üstəlik üfurmə təzyiqi (p_k) artdıqca $G_{qar}/F_{səth}$ nisbəti artdığından nisbi istilik itkiləri azalır. Nəticədə sıxmanın politrop göstəricisinin (n_1) qiyməti də yüksəlir.

Mühərrikin sürət rejiminin dəyişməsi də n_1 –ə və sıxma prosesinin son parametrlərinə ciddi təsir göstərir. Dirsəkli valın dövrlər sayı artdıqca vahid zamandakı sikllərin sayı artdığından ayrılan istilik miqdarı da artır. Bu halda həm də silindrdəki qazların divarlara toxunma müddəti və porşenlə silindr arasındakı araboşluğundan qazların sızması da azalır. Göstərilən amillərin təsiri nəticəsində istilik itkiləri azalır və sıxma prosesi adiabatik prosesə yaxınlaşdığından dövrlər sayının artması əksər hallarda n_1 –in artmasına səbəb olur.

YANMA PROSESİNİN ƏSASLARI. DYM ÜÇÜN YANMA TƏNLİKLƏRİ

Yanmanın kimyəvi reaksiyaları

Yanma prosesləri kimyəvi proseslərin bir növüdür. Kimyəvi proseslər haqqında olan nəzəriyyə iki əsas bölmədən ibarətdir: *kimyəvi statika* və *kimyəvi dinamika*. Kimyəvi dinamika bəzən *kimyəvi kinetika* da adlanır.

Kimyəvi statika bu və ya digər başlanğıc maddələrin hansı nisbətlərdə birləşmə reaksiyalarına girmələri, reaksiya məhsullarının tərkibi, kimyəvi birləşmələrin enerji balansları ilə əlaqədar məsələləri öyrənir. Kimyəvi statikanın qanunlarına misal olaraq *kütlənin saxlanması* (və ya *itməməsi*) qanununu, *kimyəvi tarazlıq haqqında nəzəriyyəni* və s. göstərmək olar.

Kimyəvi statikanın qanunları reagentlərin başlanğıc nisbəti və reaksiyaların başlanğıc temperaturu məlum olduqda yanma məhsullarının yekun tərkibini və yanmanın nəzəri temperaturunu hesablamağa imkan verir.

Kimyəvi reaksiyanın sürəti adətən sonsuz böyük hesab olunur. Lakin istənilən prosesin baş verməsinin sonlu sürəti var və bu sürət ancaq yanaşı olaraq baş verən proseslərin sürəti ilə müqayisə oluna bilər. Kimyəvi reaksiyaların sürəti haqqında olan elm *kimyəvi kinetika* və ya *kimyəvi termodinamika* adlanır.

Formal kinetikanın qanunları kimyəvi çevrilmələrin mexanizminə reaksiyaya girən başlanğıc komponent molekullarının birbaşa qarşılıqlı təsiri kimi baxır. Lakin müasir təsəvvürlərə görə bütün reaksiyalar son nəticəyə çatmadan qabaq çoxlu aralıq mərhələlərdən keçir. Özü də bu aralıq mərhələlər həm paralel, həm də ardıcıl olaraq baş verə bilərlər. Bütövlükdə reaksiyanın getmə sürəti isə bircə mərhələyə - *limitləyici reaksiya* adlanan və ən yavaş gedən mərhələyə görə müəyyənləşdirilir.

İstənilən kimyəvi reaksiyanın sürətinə reaksiyaya girən maddələrin və ya yaranan reaksiya məhsullarının konsentrasiyasının müəyyən zaman ərzində dəyişməsi kimi baxılır. Birinci halda reaksiyaya girən maddələrin konsentrasiyasının azalması, ikinci halda isə yaranan reaksiya məhsulları konsentrasiyasının artması müşahidə olunur.

Yanma proseslərinin öyrənilməsi zamanı reaksiyanın sürəti yanacağın sərf edilmə sürətinə bərabər, istilik ayrılması sürətinə isə mütənəşib qəbul edilir. Zəngin qarışıqların yanması zamanı isə reaksiya sürəti sərf olunmuş hava dozasına görə müəyyən edilir. Yanma prosesinin riyazi ifadə olunmasını asanlaşdırmaq üçün qəbul edilir ki, sürət ancaq yanıcı qarışığın xassələrindən, temperaturundan və reaksiyaya girən başlanğıc maddələrin konsentrasiyasından asılı olur. Reaksiyanın aralıq və son məhsullarının konsentrasiyasının sürətə təsiri nəzərə alınmır. Bir sıra digər amillərin, məsələn, yanma kamerası divarlarının istilik vəziyyətinin, prosesin gedişini sürətləndirən və ya ləngidən aşqarların olmasının təsiri də nəzərə alınmır.

Sabit temperatur şəraitində reaksiya sürətinin reaksiyaya girən ilkin maddələrin konsentrasiyalarından asılılığı *hərəkət edən kütlələr* qanununa əsasən müəyyən edilir. Bu zaman reaksiyanın tərtibi onda iştirak edən ilkin komponentlərin sayına görə təyin edilir. Hər hansı bir maddənin bir neçə sadə maddəyə parçalanması reaksiyası *birinci tərtib* reaksiya və ya *monomolekulyar* reaksiya adlanır. Əgər reaksiyada iki ilkin komponent iştirak edərsə, belə reaksiya *ikinci tərtib* və ya *bimolekulyar* reaksiya adlanır. İlkin komponentlərin sayı üç olduqda reaksiya *üçüncü tərtib* və ya *trimolekulyar* reaksiya adlanır. Daha yüksək tərtibli reaksiyaların baş vermə ehtimalı çox azdır, belə ki, üçdən artıq molekulun eyni zamanda toqquşma ehtimalı hədsiz kiçikdir.

Sabit temperatur şəraitində müəyyən həcmdəki komponentlərin konsentrasiyası qarışığın ümumi təzyiqinin başlanğıc qiyməti ilə mütənəşib olduğundan reaksiya sürəti də qarışığın təzyiqindən asılı olur. Bimolekulyar reaksiyanın sürəti birinci tərtib təzyiqlə, trimolekulyar reaksiyanın sürəti isə təzyiqin kvadratı ilə mütənəşibdir. Monomolekulyar reaksiyanın sürəti isə təzyiqdən asılı olmur. Əksər hallarda reaksiyanın eksperimental olaraq təyin edilən formal sürəti isə kəsr üstlü təzyiqdən asılı olur.

İstənilən elementar kimyəvi reaksiyanın sürəti temperaturdan asılı olaraq *Arrhenius* qanununa görə artır:

$$K=A \cdot \exp(-E/RT),$$

burada, E – *aktivləşmə enerjisi* adlanır və o verilən reaksiyaya girən sistem üçün sabitdir; R – qaz sabitidir; T – qarışığın temperaturudur; $\exp$ – natural loqarifmin əsasıdır; A – sabit vuruq olub,

reaksiya sürətinin qarışığın xassələrindən, habelə qarışıqdakı reagentlərin nisbi konsentasiyalarından asılılığını xarakterizə edir.

Alovlanmadan əvvəl oksidləşmə prosesləri üçün göstərilən asılılıq düzgün olmaya bilər.

Aktivləşmə enerjisi anlayışının fiziki mahiyyəti molekullar arasındakı əlaqənin əhəmiyyətli dərəcədə zəiflədilməsi və ya qırılması üçün tələb olunan minimal enerji deməkdir. Düz və əks istiqamətlərdə gedən reaksiyalar üçün E – nin qiymətləri müxtəlif olur. E düz reaksiyalar üçün nisbətən kiçik qiymətlərə malik olur. Məhz bu səbəbdən istənilən reaksiyanın gedişində əvvəlcə başlanğıc komponentlərin konsentrasiyalarının azalması və reaksiya məhsullarının yığılması müşahidə olunur. Yəni, düz reaksiyanın sürəti əks reaksiyanın sürətini üstələyir. Müəyyən temperatur həddinə çatdıqdan sonra isə əks reaksiyanın sürəti düz reaksiyanın sürətini üstələməyə başlayır. Bu isə reaksiya məhsullarının başlanğıc maddələrə parçalanması ilə müşayiət olunur. Müəyyən anda isə tarazlıq yaranır: başlanğıc komponentlərin və reaksiya məhsullarının konsentrasiyası zaman ərzində dəyişməz qalırlar. Başlanğıc reagentlərlə reaksiya məhsulları konsentrasiyalarının reaksiya temperaturunun hər qiymətinə uyğun nisbəti mövcuddur. Yəni, hər temperatur üçün tarazlıq halı mövcuddur.

Aktivləşmə enerjisinin (E) qiyməti molekulların qiymətcə ideal qazın daxili kinetik enerjisinə $-(3/2)RT$ -yə bərabər *istilik hərəkətinin orta enerjisindən* xeyli böyük olur. Belə izafi enerjiyə malik olan aktiv molekulların payı E/RT nisbəti ilə müəyyən olunur. Məsələn, $E=20 \text{ kC/mol}$ və $T=1000 \text{ K}$ olduğu halda 10^{18} molekuldan yalnız biri belə izafi enerjiyə malik olur. Bu o deməkdir ki, *1 qrammol* maddənin tərkibində cəmi 10^5 belə aktiv molekul ola bilər. Aktivləşmə enerjisi E böyüdükcə, temperaturun artması aktiv molekulların sayını və reaksiya sürətini artırır. Məsələn, $E=335 \text{ kC/mol}$ olanda temperaturun 1000 K -dən 2000 K -ə qədər artması nəticəsində aktiv molekulların sayı 109 dəfə çoxalır. Molekulların istilik hərəkətinin orta enerjisi isə temperatura mütənəsib olaraq cəmi 2 dəfə artır.

Orta temperaturalarda molekulların istilik hərəkətinin orta enerjisi aktivləşmə enerjisindən az olur. İstiliyin kənardan verildiyi şəraitdə (elektrik qıvcımının və ya porşenlə sıxmanın sayəsində) qarışığın temperaturu artaraq molekulların istilik hərəkətinin enerjisini yüksəldir. Əlbəttə, qarışığın normal sayıla biləcək temperaturlarında da molekulların toqquşması baş verir. Lakin bu toqquşmaların çox az hissəsi molekullararası əlaqənin pozulması ilə nəticələnir və istilik itkilərinin böyük olması üzündən belə hallarda ayrılan enerji (və ya istilik) reaksiyanın sonrakı inkişafına səbəb olur.

Qarışığın temperaturu artdıqca, enerjisi molekulların istilik hərəkətinin orta enerjisindən çox olan molekulların sayı kəskin artır. Bu zaman ayrılan istiliyin miqdarı da artır. Müəyyən anda ən aktiv molekulların enerjilərinin cəmi qarışığın aktivləşmə enerjisi ilə bərabərləşərək onu üstələyir. Nəticədə ayrılan istiliyin miqdarı itirilən istilik miqdarından böyük olur və qarışığın tutduğu bütün həcm üzrə reaksiya start götürür, yəni *həcmi partlayış* baş verir.

Əgər yeni yaranmış molekullararası əlaqə enerjisi ilkin molekullardakından böyük olarsa, o zaman reaksiya nəticəsində istilik ayrılır. Belə reaksiyalara *ekzotermik reaksiyalar* deyilir. Əks halda istiliyin udulması baş verir. Belə reaksiyalara *endotermik reaksiyalar* deyilir. İlkin molekullar arasındakı əlaqələrin qırılmasına sərf olunan istiliyin miqdarı ilə yeni molekulların yaranmasına sərf edilən istiliyin miqdarı arasındakı fərqə *reaksiyanın istilik effekti* (Q_r) deyilir.

Yanma prosesinin gedişində hər iki tip reaksiyanın eyni zamanda baş verməsi mümkündür. Yanma prosesi zamanı baş verən kimyəvi çevrilmələrin demək olar ki, hamısı mürəkkəb reaksiyalardır. Belə reaksiyaların orta sürəti onların ən elementar mərhələlərinin aktivləşmə enerjisindən asılı olur. Bu halda hesablamalar zamanı *effektiv aktivləşmə enerjisini* nəzərə almaq vacibdir. Beləliklə, yanma reaksiyası zamanı temperatur dəyişdikcə, əsas rol müxtəlif aktivləşmə enerjisində (E) malik elementar mərhələlər oynayır. Elementar mərhələlərin aktivləşmə enerjisi mənfi qiymət də ala bilər. Bu o deməkdir ki, temperatur artsa da, reaksiya sürəti azalır.

Oksidləşmə və yanacağın yandırılması məhsullarının bərpası reaksiyalarının gedişinin sürətini dəyişmək üçün xüsusi kimyəvi maddələrdən istifadə olunur. Belə maddələrə *katalizator*, onların iştirakı ilə baş verən proseslərə isə *kataliz* deyilir. Katalizatorlar bərk, maye və qaz halında ola bilərlər. Katalizatorlar aralıq kimyəvi reaksiyalarda dəfələrlə iştirak edə bilmək qabiliyyətinə malikdirlər və hər qarşılıqlı əlaqə tsiklindən sonra öz kimyəvi potensiallarını bərpa edə bilirlər. Bu o deməkdir ki, katalizatorlar nəzəri olaraq sərf olunmurlar.

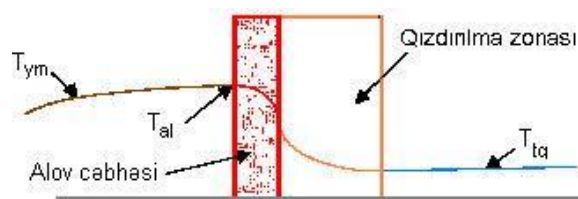
Müsbət katalizatorlar olan *promotorlar* reaksiyanı sürətləndirirlər. Mənfi katalizatorlar olan *inhibitorlar* isə əksinə, reaksiyanı yavaşdırırlar. Promotorların sürətləndirici təsiri onunla əlaqədardır ki, belə katalizatorlar iştirak etdikləri reaksiyanın aktivləşmə enerjisini azaldırlar. Katalizin *homogen* və *heterogen* adlanan 2 növü mövcuddur. Homogen kataliz zamanı həm katalizator, həm də reaksiyaya

girən maddələr eyni aqrekat halında olurlar. Heterogen kataliz zamanı isə katalizatorla reaksiyaya girən maddələr müxtəlif aqrekat halında olurlar. Heterogen kataliz zamanı yenidən reaksiyaya girmək qabiliyyətinə malik aralıq birləşmələr katalizatorun səthində yaranır. Bu, reaksiyada iştirak edən bir və ya bir neçə maddənin katalizator səthində adsorbsiyası nəticəsində baş verir. Katalizatorun aktivliyi onun səthinin sahəsindən və xassələrindən asılı olur. Katalizin effektivliyi həmçinin reaksiyanın temperaturundan və onun getməsinə ayrılan vaxtdan da asılıdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, bərk katalizatorlardan istifadə olunan bəzi hallarda onun sərf olunduğu da müşahidə olunur. Buna misal olaraq avtonəqliyyat vasitələrində geniş istifadə olunan zərərli maddələrin neytralizatorlarını göstərmək olar. Belə neytralizatorların bərk katalizatorlarının səthi müəyyən müddətdən sonra dağılır və ya aşınır. Buna səbəb mühərrikin işlənmiş qazlarının tərkibindəki bərk hissəciklərin yüksək temperatur şəraitində katalizatorun səthinə mexaniki təsir etməsidir.

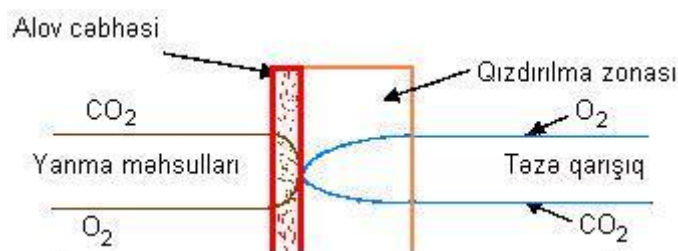
Kimyəvi reaksiyaların sürəti temperaturdan daha çox asılı olduğundan reaksiyanın maksimal sürəti də temperturun ən yüksək olduğu zonada alınır. Bu zona *alov cəbhəsi* adlanır.

Şək.12.1-də təzə qarışığın (T_{tq}), yanma məhsullarının (T_{ym}) və alovun (T_{al}) temperaturlarının alov cəbhəsinə nəzərən paylanması göstərilmişdir. Göründüyü kimi təzə qarışığın temperaturu ani olaraq yox, tədricən, özü də ancaq qızdırılma zonasında artmağa başlayır. Yanma reaksiyasında iştirak edən maddələrin konsentrasiyası da eynilə, yəni tədricən dəyişir (şək.12.2).



Şək.12.1 Reaksiya zonasında temperaturun dəyişməsi

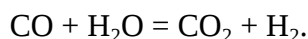
Qızdırılma zonasının eni qarışığın $e=2,718$ dəfə qıza biləcəyi məsafəyə bərabərdir. Bu məsafə $0,6 \text{ mm}$ -dən $0,003 \text{ mm}$ -ə qədər ola bilər. Göstərilən qiymətlər ən aşağı sürətlə ($U_y=5 \text{ sm/s}$) yanan qarışığın ($6\% \text{ metan} + 94\% \text{ hava}$) və ən böyük sürətlə ($U_y=1000 \text{ sm/s}$) yanan qarışığın (hidrogen + oksigen) yanması halları üçün hesablama yolu ilə alınmışdır. Bu qiymətlərdən istifadə etməklə, yəni qızdırılma zonasının enini alovun sürətinə bölməklə reaksiyaya girən maddənin alovda olduğu müddət hesablanmışdır: birinci hal üçün bu müddət $4 \cdot 10^{-3} \text{ s}$, ikinci hal üçünə 10^{-7} s təşkil edir.



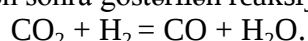
Şək.12.2. Reaksiya zonasında iştirak edən maddələrin konsentrasiyasının dəyişməsi

Reaksiya gedən həcmə və ya başlanğıc temperatur şəraitinin azacıq dəyişməsi kimyəvi reaksiyaların, yəni yanma prosesinin xarakterini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirir. Buna müvafiq olaraq yanma məhsullarının, o cümlədən zərərli maddələrin yaranma xarakteri də dəyişir.

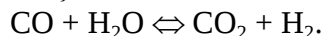
Kimyəvi reaksiyaların demək olar hamısı istiqamətcə geri dönə bilmək xassəsinə malikdirlər. Yəni, reaksiyalar müəyyən temperatur həddinə qədər bir istiqamətdə gedirsə, göstərilən həddən sonra onlar tam əks istiqamətdə gedirlər. Məsələn, dəm qazı ilə su buxarları arasındakı reaksiya aşağıdakı ifadə üzrə baş verir:



Lakin müəyyən temperatur həddindən sonra göstərilən reaksiya əks istiqamətdə baş verir:



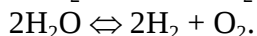
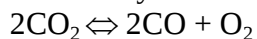
Deməli, reaksiya ümumilikdə aşağıdakı şəkil alır:



Beləliklə, hərəkətli tarazlıq yaranır və bu zaman düz istiqamətli reaksiyanın sürəti əks istiqamətdə gedən reaksiyanın sürətinə bərabər olur.

Qeyd edək ki, göstərilən temperatur həddi müxtəlif xarici amillərdən asılı olur. Temperatur həddinin qiymətindən asılı olaraq xaric olunan qazların tərkibində ya CO ilə H₂O, ya da CO₂ ilə H₂ üstünlük təşkil edir. Birinci halda xaric qazları tərkibcə demək olar ki, *generator qazlarından* ibarət olur və onları müxtəlif istilik qurğularında yenidən yandırmaq mümkündür. İkinci halda isə xaric qazlarının temperaturu yüksək olduğundan, onlardan qızdırma prosesində istilikdaşıyıcı kimi istifadə etmək olar.

Ayrı-ayrı molekulların (məs., karbon qazı və su molekullarının) tərkib hissələrinə parçalanma reaksiyaları da dönmə reaksiyalara aiddirlər. Bu reaksiyalara *dissosiasiya reaksiyaları* da deyilir:



Dissosiasiya reaksiyaları temperaturun 2000 K-dən yuxarı olduğu halda, özü də yalnız sağ istiqamətdə gedir. Daha aşağı olan temperaturlarda reaksiyalar ancaq əks, yəni sol istiqamətdə baş verir. Reaksiya zonasındaki temperatur yuxarı olduqca, dissosiasiya reaksiyalarının intensivliyi artır və karbon qazı ilə su buxarlarının parçalanma məhsulları daha çox yaranır.

Tam yanma məhsulları olan karbon qazı (CO₂) və su buxarının (H₂O) dissosiasiya reaksiyaları nəticəsində alınan məhsullar natamam yanma məhsulları olan dən qazı (CO) və hidrogen (H₂) olduğundan istiliyin müəyyən qədəri ayrılır. Yəni, həm ümumi istiliyin ayrılması, həm reaksiya gedən həcmdəki temperatur, həm də dissosiasiya zonasındaki temperatur az olur. Beləliklə, demək olar ki, dissosiasiya reaksiyaları endotermik reaksiyalardır, yəni onlar istiliyin udulması ilə müşayiət olunur. Bununla əlaqədar olaraq yanma prosesinin elə temperatur həddi var ki, temperatur bu həddən yüksək ola bilməz və alov cəbhəsindəki temperaturun həqiqi qiyməti həmişə yanmanın adiabatik temperaturundan az olur.

Karbohidrogenli yanacaqların daxili yanma mühərrikləri şəraitində yanması zamanı temperaturun yüksəlmə həddi 3100 K-dir.

DYM-də yanma məhsullarının orta temperaturunun ən böyük qiymətləri 1800÷2600 K hədlərində olur. Yuxarı hədlər benzin mühərriklərinə, aşağı hədlər isə dizellərə aiddir. Alov cəbhəsindəki və onun ətrafındakı zonalarda temperaturlar 2500÷3100 K hədlərində olur.

Qeyd etmək lazımdır ki, yanma prosesi zamanı gedən reaksiyaların heç də hamısı dönmə deyil. Məsələn, karbohidrogenlərin oksidləşmə reaksiyaları dönməyən reaksiyalardır. Yanacağın yanmış karbohidrogenləri heç bir şəraitdə yenidən yanacağı çevrilə bilməz.

İstilik ayrılması, bəzi hallarda isə işıqsəçmə ilə müşayiət olunan, intensiv baş verən kimyəvi reaksiyalara *yanma* deyilir. Bu tip reaksiyaların əksəriyyəti oksidləşdirici reaksiyalardır. Oksidləşən maddəyə *yanacaq* deyilir. "*İntensiv*" termini yanma reaksiyalarını çox kiçik miqdarda istiliyin ayrılması ilə gedən oksidləşmə reaksiyalarından fərqləndirmək üçün işlədilir. Qeyd etmək yerinə düşər ki, çürümə və korroziya kimi proseslər də oksidləşmə reaksiyalarıdır və onların gedişində ümumiyyətlə istilik ayrılır. Oksidləşdirici kimi çox vaxt ya təmiz, ya da ki, havanın tərkibindəki oksigendən (O₂) istifadə olunur. Lakin oksidləşdirici rolunu ozon (O₃), azot oksidləri (NO₂, NO, N₂O, N₂O₄), flor (F₂), xlor (Cl₂), brom (Br₂), yod (I₂) və s. maddələr də oynaya bilər. Özü də onlardan bəziləri, məsələn flor, oksidləşdirici kimi iştirak etdikdə yanma reaksiyaları digər oksidləşdiricilərin iştirakı ilə gedən yanma reaksiyalarından daha intensiv gedir.

Maddənin oksidləşmə reaksiyasının zahiri təzahürünə *alov* deyilir. Alovun *soyuq alov* və *qızmar alov* kimi iki müxtəlif tipi var. Soyuq alovun meydana gəlməsi reaksiyaya girən reagentlərin öz enerjilərinin müəyyən hissəsindən azad olması deməkdir. Bu zaman yanıcı qarışığın ümumi enerjisinin 20 %-ə qədəri ayrılır və nəticədə temperatur 200÷250 K artır. Soyuq alov çox zəif işıqsəçmə və istilik ayrılması ilə müşayiət olunur. Yanıcı qarışığın enerjisinin əksər hissəsi qızmar alovun yaranması ilə ayrılmağa başlayır. Qızmar alovu sadəcə *alov* da adlandırırlar. Oksidləşmə reaksiyalarının məhsullarına isə *yanma məhsulları* deyilir.

Karbohidrogenlərin alovu parlaq işıq saçan olur. Bu alovda C, CH, CHO kimi radikallar şəklində olan molekul qəlpələrinin yaranması ilə izah edilir. Göstərilən radikalların həyəcanlanma potensialı xeyli aşağı olduğundan onların buraxdığı şüalar spektrin görünən hissəsində müşahidə

olunur. Oksigenlə hidrogenin reaksiyası zamanı isə alov demək olar ki, şəffaf olur. Bu, reaksiya zamanı yaranan OH radikallarının şüalanmasının spektrin görünən hissəsində, amma nisbətən fərqli hissəsində olması ilə izah edilir.

Alov özü qarışığın *alışması* nəticəsində yaranır. Alışma *məcburi* və ya *porşenlə sıxma* (*özüşmə*) nəticəsində baş verir. Məcburi alışma qarışığın qığılcım, qızdırılmış səth və ya məşəllə alışdırılması nəticəsində baş tutur. Özü də alışdırma anı ilə yanıcı qarışığın alışması arasında müəyyən zaman intervalı olur ki, buna da *induksiya periodu* və ya *alışmanın gecikmə periodu* deyilir. İnduksiya periodu həm fiziki, həm də kimyəvi proseslərin gedişindən asılı olur. Deməli, induksiya periodu müvafiq olaraq iki həddən, *alışmanın fiziki* (τ_f) və *kimyəvi* (τ_k) *gecikməsindən* ibarətdir. Alışmanın kimyəvi gecikməsi özü iki rejimin xarakteristikasından asılı olur. Bunlardan biri oksidləşmə reaksiyasının başlanma anından soyuq alovun meydana gəlməsi anınadək davam edən τ_{k1} periodu, ikincisi isə soyuq alovun meydana gəldiyi andan qızmar alovun yarandığı anadək olan τ_{k2} periodudur.

Yanma zamanı baş verən kimyəvi və fiziki proseslərin intensivliklərinin nisbəti müxtəlif amillərdən, o cümlədən yanıcı qarışığın hazırlanma üsulundan da asılıdır.

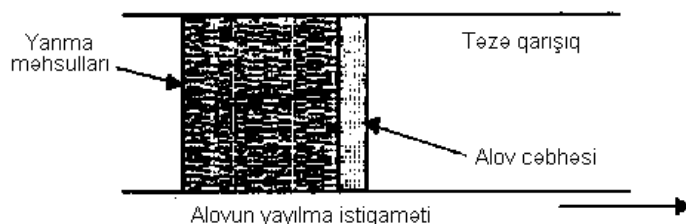
Əgər reagentlər eyni aqrekat halındadırsa və bir-birilə əvvəlcədən qarışdırılırsa, belə qarışıq *homogen* qarışıq deyilir. Belə qarışıqda yanacaq oksidləşdiricinin bir-birilə qarışdırılmasının fiziki prosesləri əvvəlcədən baş verdiyindən və reagentlər arasında molekulyar təmas təmin olunduğundan yanma sürəti *kinetika* ilə, yəni kimyəvi reaksiyaların sürəti ilə müəyyən edilir. Belə yanma prosesi *kinetik yanma* adlanır.

Reagentlər bir-birilə əvvəlcədən qarışdırılmadıqda, kimyəvi reaksiyaların başlanmasından əvvəl yanacaq oksidləşdiricinin bir-birilə qarışdırılması üçün vaxt tələb olunur. Qarışdırma prosesi kimyəvi proseslərdən daha uzun çəkir və bütövlükdə yanma prosesinin sürəti qarışdırılma sürəti və ya diffuziya müəyyən edilir. Bu cür yanmaya *diffuziyalı yanma* deyilir. Özü də əgər yanacaq maye, oksidləşdirici isə qaz şəklində olduqda qarışdırma prosesindən qabaq buxarlanma prosesi olmalıdır, çünki yanma prosesi yalnız yanacaq qaz halına keçdikdən sonra baş verə bilər. Deyilənlərlə əlaqədar dizəllərdə induksiya periodu məhz fiziki hədlə müəyyən edilir.

Lakin təmiz diffuziyalı rejim yalnız yanacağın bilavasitə yanma zonasına verildiyi qaz turbinli mühərriklərdə müşahidə olunur. Dizəllərdə hər bir işçi tsikl periodik olduğundan müvafiq olaraq qarışdırma, buxarlanma, alışma və yanma prosesləri də periodikdir və bu səbəbdən dizəllərdə həm kinetik, həm də diffuziyalı yanma reallaşdırılır. Reaksiyanın sürəti ilə limitlənən kinetik yanma alışmanın gecikmə periodu ərzində yanacağın oksidləşdirici ilə qarışmış hissəsinin yanması zamanı reallaşdırılır. Reagentlərin yanma zonasında qarışma sürəti ilə limitlənən diffuziyalı yanma isə yanacağın qalan hissəsinin yanması zamanı reallaşdırılır.

Porşenin mühərrikin silindrində a.ö.n-dən y.ö.n-yə doğru hərəkəti *sıxma dalğası* yaradır. Porşen müəyyən təcillə hərəkət etdiyindən belə dalğalar daim yaranır, özü də təcilin müsbət qiymətlərində yaranan hər yeni dalğa əvvəlkindən daha yüksək sürətə malik olur. Nəticədə, belə sıxma dalğaları bir-birini üstünə qalaqladığından onların cəm gücü artaraq *zərbə dalğası* yaradır. Porşen y.ö.n-də dayanan zaman isə onun təpə səthi yaxınlığında *seyrəkləşmə dalğası* yaranır və bu dalğa zərbə dalğasının ardınca yayılaraq ona çatır. Hər iki dalğa birgə yayılaraq tədricən zəifləyir və itir. Lakin yanma prosesi davam etdiyindən yeni sıxma dalğaları yaranaraq onları sönməyə qoymur.

Alovun yayılması dedikdə alovun qaz qarışığındakı hərəkəti nəzərdə tutulur. Bu zaman qaz qarışığı özü iki hissəyə bölünür (şəkil 12.3). Bunlardan biri alovun artıq keçib getdiyi *yanma məhsulları*, digəri isə



Şəkil 11.3. Alov cəbhəsinin yayılma sxemi

alovun daxil olmağa hazırlaşdığı *təzə qarışıqdır*. Bu iki hissə arasındakı sərhəd *alov cəbhəsi* adlanır. “Alovun yayılması” anlayışı özündə müxtəlif şəkilli bir sıra hadisələri birləşdirir ki, onlara görə də alovu iki əsas sinifə bölmək olar: *deflaqrasıyalı*, yəni yayılma sürəti səsin yayılma sürətinə qədər olan alov və *detonasiyalı*, yəni yayılma sürəti səsin yayılma sürətindən çox olan alov. Bununla əlaqədar alovun yayılması iki cür, yanma və detonasiya dalğaları şəklində olur.

Yanma dalğası onunla xarakterizə olunur ki, alov istilikötürmə və aktiv molekulların alov cəbhəsindən diffuziyası vasitəsilə yayılır və hələ yanmamış təzə qaz qarışığını ardıcıl olaraq yanma məhsullarına çevirir. Yanma dalğasının mühərrikin yanma kamerində yayılma sürəti səsin yayılma sürətindən (300 m/s) xeyli aşağı olur. Bu halda alov dalğası cəbhəsindən qabaqda və onun arxasındakı təzyiqlər arasındakı fərq cüzi olur.

Yanma prosesinin və zərbə dalğasının inkişaf şəraitindən asılı olaraq müəyyən anda zərbə dalğası detonasiya yarada bilər, yəni *detonasiya dalğasına* çevrilə bilər. Detonasiya dalğasının yayılması alov cəbhəsində gedən kimyəvi reaksiyalar nəticəsində istilik ayrılmasının sayəsində baş verir (şəkil 12.4). Bu zaman alov dalğası cəbhəsindən qabaqda



Şəkil 12.4. Detonasiya dalğasının inkişaf sxemi

və onun arxasındakı təzyiqlər arasındakı fərq kifayət qədər böyük olur. Detonasiya dalğasının yayılma sürəti isə səsin yayılma sürətindən xeyli böyük olur (karbohidrogen yanacaqların mühərrikdə yanması halında 2500÷3000 m/s).

Detonasiya - sıxma (və ya zərbə) dalğasının səs sürətindən yüksək sürətlə yayılması prosesidir.

Partlayışlı parçalanma reaksiyasının bilavasitə detonasiya dalğası cəbhəsinə bitişik zonada baş verməsi detonasiyanın hidrodinamiki nəzəriyyəsi üçün başlanğıc şərtidir. Detonasiya dalğası cəbhəsi ona perpendikulyar istiqamətdə çox böyük sürətlə hərəkət edir. Bilavasitə cəbhədən sonra temperatur və təzyiq sıçrayışlarla artır. Bununla əlaqədar bütün reaksiyalar detonasiya dalğası cəbhəsinə bitişik olan çox dar bir qatda baş verir. Bu qat dalğa cəbhəsinin ardınca və onunla eyni sürətlə hərəkət edərək, özündən sonra yüksək temperatura və təzyiqə malik yanma məhsullarının qalmasına səbəb olurlar.

Alışmadan qabaqkı periodda aldehid və peroksidlərin yığılıb toplanması, habelə yanma kamerində təzə qarışığın sıxılması nəticəsində yaranan temperatur qradientinin yaranması hesabına detonasiyanın inkişafı asanlaşır. Hətta 1000 K–lik temperatur fonunda 10÷20 K–lik qradientin olması detonasiyanın yaranmasını xeyli asanlaşdırır.

DYM-də yanmanın kinetik və diffuziyalı rejimləri reallaşdırılır. Benzin mühərriklərində yanacağın hamısı, dizellərdə isə alışdırmanın gecikmə periodu ərzində hazırlanmış yanıcı qarışıq kinetik yanma mexanizmi ilə yanır. Dizel mühərriklərində yanıcı qarışığın qalan, yəni əsas hissəsi, qaz turbinli mühərriklərdə isə bütün yanacaq diffuziyalı yanma mexanizmi ilə yanır. Qaz turbinli mühərriklərdə stasionar alov, porşenli mühərriklərdə isə qeyri-stasionar alov olur.

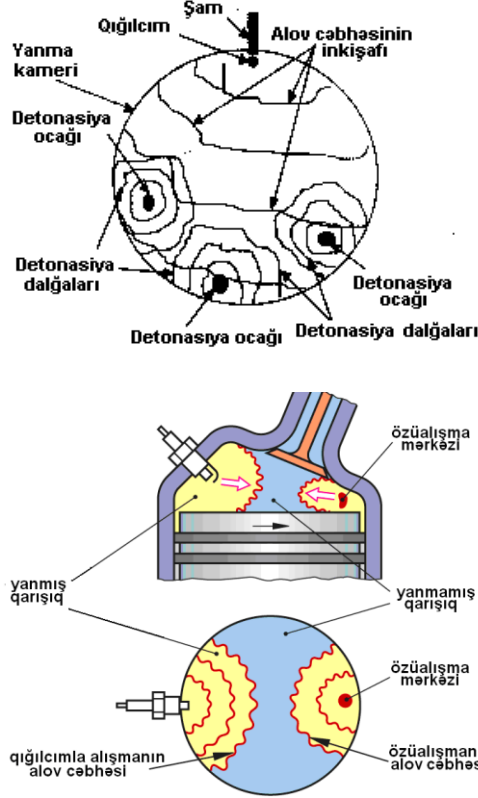
Özülüşmə hadisəsi adətən dizel mühərriklərində reallaşdırılır. Lakin yanma kamerinin ayrı-ayrı zonalarında temperatur və qarışığın konsentrasiyası üzrə lazımı şərait yarandıqda benzin mühərriklərində də özülüşmə hadisəsi baş verə bilər. Bu detonasiya adlanır.

Yanıcı qarışığı mühərrikin silindri xaricində hazırlanan və məcburi alışdırılmalı mühərriklərdə yanıcı qarışıq homogen, yəni yekcins olur və onun hamısı yanma dalğasının yayılması hesabına yanır. Yanma dalğası isə kənar alışma mənbəyi olan alışdırma şamının sayəsində yaranır (şək. 12.5).

Lakin bu tip mühərriklərdə detonasiya dalğasının sayəsində də yanma baş verə bilər. Texniki ədəbiyyatda bu sadəcə olaraq “detonasiya” adlandırılır. Detonasiya, yanma kamerininin hələ yanma

dalğasının gəlib çatmadığı zonalarda yanacaq-hava qarışığının təzyiq dalğaları tərəfindən sıxılması nəticəsində qarışığın özülüşməsi şəklində yaranır.

Məcburi alışdırılmalı mühərriklərdə detonasiyanın olması arzuolunmazdır. Çünki, detonasiya birinci növbədə sıxma dərəcəsinin və üstəlik üfurmə təzyiqinin artırılmasına mane olur. Belə ki, onların qiymətlərinin artırılması detonasiyaya səbəb olur, bu isə silindr-porşen qrupu hissələrinin dağılması ilə nəticələnə bilər. Digər tərəfdən, detonasiya nəticəsində yanma məhsullarının turbulentliyi artır və bu, yanma kamerinin divarları yaxınlığındakı izoləedici sərhəd təbəqəsinin qalınlığını kəskin azaltdığından istilikvermənin sürətinin xeyli artmasına səbəb olur. Adətən, detonasiya gücün azalmasına, mühərrikin işindəki səs-küyün artmasına səbəb olur. Lakin ayrı-ayrı hallarda porşenin əriməsinə və çatlamasına, şatunun əyilməsinə və dirsəkli valın qırılmasına da səbəb olur.



Şəkil 12.5. Məcburi alışdırılmalı daxili yanma mühərriklərində yanacaq-hava qarışığının yanma prosesinin inkişaf sxemi

Detonasiyalı yanma həddi həm yanacağın xarakteristikaları, həm də mühərrikin sürət rejimi, alışdırmanın qabaqlama bucağı və yanıcı qarışığın tərkibi ilə müəyyən edilir. Orta effektiv təzyiqin detonasiyaya görə minimal qiyməti yanıcı qarışığın $\alpha=1$ tərkibində alınır. Stexiometrik tərkibli qarışığın böyük genişlənmə dərəcəsi olduğundan qarışığın son hissələrinin temperaturu daha çox artır.

Üstəlik üfurmə təzyiqinin, sıxma dərəcəsinin və alışdırmanın qabaqlama bucağının artırılması detonasiyanın yaranmasına səbəb olur. Alovun alışdırma nöqtəsindən yanma kamerinin əks tərəfdəki divarına qədər olan yolu qısaldıqca, qarışığın burulğanlılığı və turbulentliyi atdıqca, qığılcımın verilməsi gecikdirildikcə, yanıcı qarışığın tərkibi kasıb olduqca və yanma kamerinin səthinin onun həcminə olan nisbəti böyüdükcə detonasiya ehtimalı azalır.

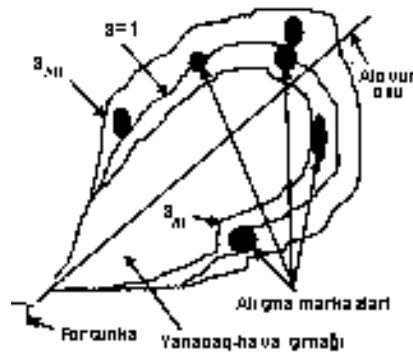
Alışdırmanın qabaqlama bucağını böyütdükdə porşenin y.ö.n vəziyyətinə çatmasına hələ çox qaldığından alovun qət etdiyi yol uzun olur və qarışığın yanmamış hissəsi daha çox sıxılır. Nəticədə yanmanın maksimal təzyiqi böyüyür. Turbulentlik hədsiz yüksək səviyyədə olduqda yanma da çox sürətlənir və mühərrikin işi "sərt" alınır. Qığılcımın verilməsi gecikdikdə isə qarışığın yanmamış hissəsinin sıxılması azalır, yanma prosesinin çox hissəsi y.ö.n-dən sonra baş verir. Detonasiyanın baş verməsinə və inkişafına yanacağın kimyəvi tərkibi, qarışıqdakı oksigenin miqdarı, antidetonatorların tətbiqi kimi amillər də təsir edir.

Sıxmanın təsiri ilə özülüşməli mühərriklərdə, yəni dizel mühərriklərində yanacağın alışması və yanması prosesləri məcburi alışdırılmalı mühərriklərdəkilərdən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Dizellərdə

yanacaq hərəkət edən hava qarışığına forsunka vasitəsilə ilə yüksək təzyiq altında püskürülür. Püskürülən yanacağın narın tozlandırılmasında mühərrikin silindri ilə yanacaqvermə sistemini arasındakı təzyiq düşgüsü mühüm rol oynayır. Dizellərin bəzilərində yanacaqvermə sistemindəki təzyiq 40÷80 MPa, bəzilərində isə 150÷200 MPa hədlərində olur. Üstəlik üfürməsiz dizellərdə silindrdəki təzyiq 3,5÷4,0 MPa, üstəlik üfürməli dizellərdə isə 7,0÷12,0 MPa hədlərində olur. Maye yanacağın hava qarışığında tozlandırılması zamanı ikifazlı, reaksiyaya girməyə hazır şırnaq – maye yanacaq məşəli yaranır. Dizellərdə özüləşmə ayrı-ayrı yanacaq şırnaqlarının sərhəddində, kiçik həcməldə başlanır (şək.12.6).

Şəkildə göstərilən yanacaq məşəlinin yanması yanacaq damlalarının qızdırılması və buxarlanması, buxarlanmış yanacağın qazşəkilli oksidləşdirici ilə qarışdırılması, qaz şəkilli reagentlərin yüksək temperaturun təsiri altında kimyəvi qarşılıqlı əlaqəsi və yanma məhsullarının ilkin reagentlərlə qarışması hesabına təmin olunur. Yanacaq ilə havanın qarışığı tərəfindən istiliyin udulması nəticəsində məşəldəki temperatur sıxılmış havanın temperaturundan 100÷300°C az olur (~500°C). Sıxılmış havanın yüksək temperaturu və təzyiqi dizellərdə alışmanın az gecikməsini (təxminən 0,7÷10,0 ms hədlərində) təmin edir. Alışmanın gecikmə periodu artdıqca, alışmağa hazır olan yanacağın miqdarı da çoxalır və həcmi partlayışın enerjisi daha böyük olur.

Dizeldəki yanma periodik olduğundan onun silindrində gedən yanma rejimi təmiz diffuziyalı yanma rejimindən fərqlənir. Fərq dizeldəki yanma zamanı alışmanın gecikmə periodunun olması-



Şəkil 12.6. Dizellərdə alışma prosesinin inkişaf sxemi

dadır. Bu peri-od ərzində yanacağın bir hissəsi buxarlanmağa və oksidləşdirici ilə qarışdırılıb homogen yanıcı qarışıq yaratmağa imkan tapır. Yaranmış homogen yanıcı qarışıq zonasında alışmanın ilkin mərkəzləri yaranmağa başlayır. Alışma mərkəzləri daha sonra bütöv alov cəbhəsini təşkil edirlər və hələ yanmamış yanacaq ilə oksidləşdirici bu cəbhəyə daxil olmağa başlayırlar. Beləliklə, dizellərdə yanma məhsullarının və işlənmiş qazların tərkibi kinetik və diffuziyalı yanma rejimində yanan yanacaq miqdarlarının nisbətindən və göstərilən yanma rejimlərinin xarakteristikasından asılı olur.

Nisbətən yüngül yanacaqlar üçün alışmanın gecikməsi əsasən yanacağın kimyəvi xassələrindən asılı olur. Ağır yanacaqlar üçün isə alışmanın gecikməsi yanacağın özlülüyü, buxarlanma sürəti kimi fiziki xassələrindən asılıdır. Yanacaq şırnağının yanma kamerinin bütün həcminə nüfuz edə bilməməsi yanacaq buxarlarının bir yerə toplaşaraq yanacağın lokal zənginləşməsinə gətirib çıxarır. Nəticədə qurum əmələ gəlir. Bunu aradan qaldırmaq üçün hava qarışığının burulğan hərəkətini intensivləşdirmək lazımdır. Lakin burulğanlığın hədsiz gücləndirilməsi yanmanın pisləşməsinə, habelə yanacaq damcılarının yanma kamerinin divarlarına sıxışdırılmasına səbəb ola bilər.

Dizellərdə yanma prosesinin inkişaf xarakteri məcburi alışdırılmalı mühərriklərdəkindən fərqlənir. Belə ki, dizellərdə yanma prosesi həcmi alışma prosesləri ilə alovun alışmaya hazırlanmış yanıcı qarışıq üzrə yayılması proseslərinin birləşməsindən ibarətdir. Bundan sonra qalan yanacaq alov cəbhəsinə daxil olduqca yanır.

Dizelin işçi prosesi yüksək turbulentlikli periodik heterogen yanma prosesinə malikdir. Özü də, başlanğıcda yanacaq ilə oksidləşdirici müxtəlif aqrekat halında olurlar, yəni yanacaq maye halında, oksidləşdirici isə qaz şəklində olur. Periodik heterogen yanma prosesinin fərqli xüsusiyyətləri aşağıdakılardan ibarətdir.

1. Periodiklik yanma prosesinin gedişini zaman üzrə məhdudlaşdırır. Bu səbəbdən daimi yanma rejimindən fərqli olaraq belə rejimdə yanmanın kimyəvi reaksiyalarının vaxtından qabaq kəsilməsi halları olur ki, bu da öz növbəsində alınan yanma məhsullarının fərqlənməsinə səbəb olur.

2. Diffuziyalı yanma rejimi yanacaq və oksidləşdirici hissəciklərinin molekulyar səviyyədə təmasının təmin edilməsi üçün onların əvvəlcədən biri-birilə qarışdırılmasına müəyyən vaxt tələb edir, çünki əks halda yanma reaksiyasının davam etməsi mümkün olmaz. Bu amil natamam yanmanın payını artırır.

3. Yanacaq və oksidləşdiricinin müxtəlif aqrekat halında olması reagentlərin molekulyar qarışması üçün də müəyyən vaxt tələb edir. Bu da öz növbəsində natamam yanmanı artırır.

Yuxarıda sadalanan üç xüsusiyyət yanacağın tez və tam yanmasının təmin olunması üçün yanma prosesinin təşkilinin çətinliyini göstərir.

Hər iki tip mühərriklərdə yanma prosesinin reallaşdırılması əlavə amillərin təsiri ilə də mürəkkəbləşir. İlk növbədə “*sıxma-genişlənmə*” amili, yəni reaksiya gedən həcmə qiymətə daim dəyişən olması yanma məhsullarının soyudulma sürətinə öz təsirini göstərir. Bu da öz növbəsində baxılan zonada gedən kimyəvi reaksiyaların sürətinə təsir edir. İkinci amil isə, qapalı həcmdə alov cəbhəsinin yayılması ilə əlaqədar təzyiqin fasiləsiz olaraq yüksəlməsi yanma kamerinin müxtəlif zonalarındakı yanma məhsullarının temperaturları arasında əhəmiyyətli fərqi (500 K -ə qədər) yaranmasıdır (“*Maxe-effekt*”). “Maxe-effektin” məcburi alışdırılmalı daxili yanma mühərrikləri üçün daha xarakterik olduğunu da qeyd edək.

Yanma kamerində yanacaq-hava qarışığının yaranması yanıcı qarışığın hazırlanmasının iki üsulundan, xarici və daxili qarışdırma üsullarından asılıdır.

Xarici qarışdırma üsulu ilə işləyən mühərriklərə karbüratorlu, sorma borusuna yanacaq püskürməli və qaz mühərrikləri aiddirlər. Belə mühərriklərdə yanacaq oksidləşdirici (yəni hava) biri-birilə əvvəlcədən, mühərrikin silindrindən xaricdə qarışdırılır. Silindrə isə hazır yanıcı qarışıq daxil olur. Bu zaman yanma kamerinin həcmi tutan reagentlərin konsentrasiyalarının qeyri-bərabərliyi nəzərə alınmır və reaksiya gedən həcmdə hava artıqlıq əmsalının (α) sabit olduğu qəbul edilir.

Yanacaq-hava qarışığının alışdırılma prosesi qarışığın həm tərkibindən, həm də temperaturundan asılıdır. Temperaturu elektrik şamına verilən cərəyanın şiddətini və gərginliyini dəyişməklə və ya qarışığın divarları yüksək temperatura malik reaksiya zonasına verilməsini təmin etməklə tənzimləmək olar. Temperaturun belə məcburi şəkildə yüksəldilməsi yanma hədlərini genişləndirməyə imkan verir. Yanma kamerinin divarlarının istilikkeçirməsi və materialı da yanma hədlərinə təsir göstərir. Yanıcı qarışığın yanma hədlərinin genişlənməsi qarışığın tərkibinin faktiki dəyişdiyi hallarda daxili yanma mühərrikinin işinin müntəzəmliyini artırır. Bununla əlaqədar alışma, yanma və zərərli maddələrin yaranması proseslərinin xarakteristikaları da dəyişə bilər.

Daxili qarışdırma üsulu ilə işləyən mühərriklərə dizellər, qazodizellər, qaz turbimli mühərriklər və yanacağı birbaşa silindrə püskürülən benzin mühərrikləri aiddir. Təkcə sonuncu mühərriklərdə yanıcı qarışıq məcburi alışdırılır. Adları çəkilən mühərriklərdə yanıcı qarışıq bilavasitə mühərrikin yanma kamerində hazırlanır. Bu səbəbdən hava artıqlıq əmsalı belə mühərriklərdə nə zaman üzrə, nə də yanma kamerinin həcmi üzrə sabit ola bilməz. Dizel yanacağı şırnağının yanma kamerində zaman və həcm üzrə inkişafının ideallaşdırılmış prosesini nəzərdən keçirməklə aşağıdakı zonaları qeyd etmək olar:

- havanın heç olmadığı maye yanacaq ($\alpha=0$);

- reagentlərin qarışma dərəcəsi müxtəlif olan yanacaq-hava qarışığı. Maye yanacaq sərhəddə hava demək olar ki, yoxdur, yəni $\alpha \rightarrow 0$; bu sərhəddən uzaqlaşdıqca qarışıqdakı havanın miqdarı artır, yanacağın heç olmadığı yerdə isə $\alpha \rightarrow \infty$. Göstərilən oblastda yuxarı və aşağı yanma hədlərinin yerləşdiyi zonaları göstərmək olar: $\alpha_{yh} < \alpha < \alpha_{ah}$;

- təmiz hava olan zona $\alpha=\infty$.

Zaman keçdikcə oblastın həcmi arasında nisbət dəyişir. Yanacaq yüksək təzyiq altında püskürüldüyündən müəyyən qədər vaxtdan sonra alışmanın olmadığı halda yanacaq hava biri-birilə bütünlüklə qarışa bilər və diffuziya prosesi nəticəsində yanma kamerinin bütün həcmi boyunca qarışığın tərkibi bərabərləşər.

Dizelin yanma kamerindəki sıxılmış hava mühitinə düşən yanıcı qarışığın temperaturu kifayət qədər yüksək olduğundan onun tərkibindəki yanacaq buxarlanmağa başlayır. Müəyyən bir şərait yaranan kimi özülüşmə baş verir. Birinci növbədə yanma həddi zonasında ($\alpha_{yh} < \alpha < \alpha_{ah}$) yerləşən yanacaq yanır.

Bu zonadakı yanma sürəti kimyəvi reaksiyaların sürəti ilə müəyyən edildiyindən, qalan yanacaq alov cəbhəsində hava ilə qarışdıqca yanır. Alov cəbhəsinin həndəsi vəziyyəti olan *izostexiometrik səthdir*. Yanıcı qarışığın tərkibi $\alpha=1$ –dən fərqli olduqca yanma reaksiyasının sürəti və yanma temperaturu azalır, çünki reaksiyaya girən reagentlərdən birinin çatmadığı müşahidə olunur. Beləliklə, alov cəbhəsi avtomatik olaraq izostexiometrik səthdə qalmaqda davam edir, makroqarışma və yanıb-qurtarma prosesləri hesabına bu səthlə birlikdə yerini dəyişir.

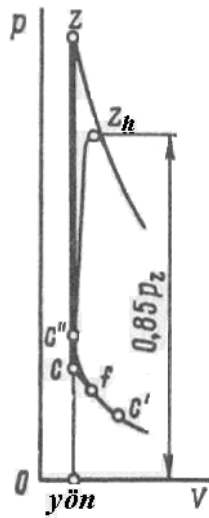
Nəzəri olaraq $\alpha=1$ olan halda yanma məhsulları karbon qazından və su buxarından ibarət olmalıdır. Lakin yanma kamerində proses həcmində dəyişdiyi şəraitdə getdiyindən təzyiq və temperatur da dəyişir. Dizel mühərrikində yanma prosesinə ayrılan vaxt yanacaq havanın alov cəbhəsində qarışması və tamamilə yanıb qurtarması üçün tələb olunan vaxtla müqayisədə çox azdır. Ona görə aşağı temperaturlarda bu proses axıracan getməyə də bilər.

YANMANIN SONUNDAKI TƏZYİQ VƏ TEMPERATUR

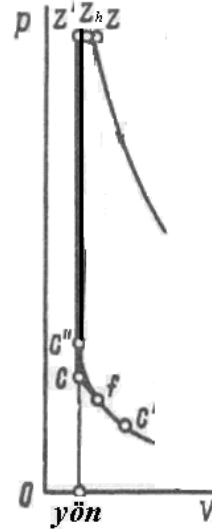
Yanma prosesi ərzində mühərrikin silindrinə doldurulmuş yanıcı qarışıq alışdırılır və yanır. Nəticədə ayrılan istilik işçi jismnin enerjisinin artmasına və mexaniki işin görülməsinə səbəb olur. Real mühərriklərdə yanma prosesi indikator diaqramının $c'fc''z_h$ hissəsi üzrə (şək. 13.1 və şək.13.2) gedir, z_h nöqtəsindən sonra isə yanıb qurtarma prosesi gedir. Yanma prosesi çox mürəkkəb prosesdir. Onun gedişinə sorma və sıxma proseslərinin parametrləri, dirsəkli valın dövrlər sayı, hava artıqlıq əmsalı, yanacağın tozlandırılma keyfiyyəti və s. amillər təsir edir.

Avtotraktor mühərriklərinin hesabını sadələşdirmək üçün yanma prosesinin qığılçım ilə alışdırılmalı mühərriklərdə $V=const$ şəraitində ($cc'z$ düz xətti üzrə), dizellərdə isə əvvəlcə $V=const$ şəraitində ($cc'z'$ düz xətti üzrə), sonra isə $p=const$ şəraitində ($z'z$ düz xətti üzrə) getdiyi qəbul edilir.

Yanma prosesinin hesabı zamanı görünən yanmanın sonundakı təzyiq və temperatur, habelə



Şək. 13.7



Şək.13.8

dizellər üçün V_z həcmi təyin edilir. Görünən yanmanın sonundakı temperatur T_z termodinamikanın birinci qanununa əsasən tapılır. Bu qanuna görə indikator diaqramının cz' və $z'z$ hissələri üzrə istilik balansının tənlikləri yazılır. Müəyyən çevrilmələr aparmaqla T_z üçün hesabi yanma tənliklərini almaq olar. Qığılçım ilə alışdırılmalı mühərriklər üçün bu tənlik aşağıdakı şəkildə alınır:

$$\xi_z H_{i\text{ş.qar}} + (mc'_V)_{t_0}^c t_c = \mu (mc''_V)_{t_0}^{t_z} t_z.$$

Burada $H_{i\text{ş.qar}}$ - işçi qarışığının yanma istiliyidir, $kC/kmol$; μ - işçi qarışığının molekulyar dəyişmə əmsalıdır; ξ_z - istilikdən istifadə əmsalıdır.

İşçi qarışığının yanma istiliyi:

$$H_{i\text{ş.qar}} = \frac{H_u - \Delta H_u}{M_1(1 + \gamma_r)}, \quad kC/kq$$

burada ΔH_u - kimyəvi natamam yanma nəticəsində ($\alpha < 1$ olduq-da) itirilən istilikdir, kC/kq :

$$\Delta H_u = 119950(1 - \alpha)L_0.$$

$\alpha > 1$ olduqda $\Delta H_u = 0$ olduğundan:

$$H_{i\text{ş.qar}} = \frac{H_u}{M_1(1 + \gamma_r)}.$$

İşçi qarışığının molekulyar dəyişmə əmsalı:

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r},$$

burada $\mu_0 = M_2/M_1$ - yanıcı qarışıqın molekulyar dəyişmə əmsalıdır.

İstilikdən istifadə əmsalı ξ_z yanacağın aşağı yanma istiliyinin işçi cismin daxili enerjisinin artmasına və genişlənmə işinə sərf olunmuş hissəsini göstərir. ξ_z - in qiyməti mühərrikin konstruksiyasından, iş rejimindən, yanma kamerinin formasından, yanıcı qarışığın qarışdırma üsulundan, hava artıqlıq əmsalından, dirsəkli valın dövrlər sayından asılıdır. Müxtəlif mühərriklər üçün ξ_z -in qiymətləri sorğu cədvəllərində verilir.

Yanma məhsullarının orta molekulyar istilik tutumu:

$$(mc''_V)_{t_0}^{t_z} = \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} (mc''_{V_{CO_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{CO} (mc''_{V_{CO}})_{t_0}^{t_z} + M_{H_2} (mc''_{V_{H_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{H_2O} (mc''_{V_{H_2O}})_{t_0}^{t_z} + M_{O_2} (mc''_{V_{O_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{N_2} (mc''_{V_{N_2}})_{t_0}^{t_z} \right], \text{ kC/(kmol} \cdot \text{dər)}.$$

burada $(mc''_{V_{CO_2}})_{t_0}^{t_z}$, $(mc''_{V_{CO}})_{t_0}^{t_z}$, $(mc''_{V_{H_2}})_{t_0}^{t_z}$, $(mc''_{V_{H_2O}})_{t_0}^{t_z}$, $(mc''_{V_{O_2}})_{t_0}^{t_z}$, $(mc''_{V_{N_2}})_{t_0}^{t_z}$ - müvafiq olaraq yanma məhsullarının tərkibindəki karbon qazının, dəm qazının, hidrogenin, su buxarının, oksigenin və azotun $V = \text{const}$ şəraitində orta molekulyar istilik tutumlarıdır və onlar empirik tənliklərlə ifadə olunurlar.

Dizel mühərrikləri üçün yanma tənliyi aşağıdakı şəkildə olur:

$$\xi_z H_{i\text{ş.qar}} + [(mc'_V)_{t_0}^{t_z} + 8,315 \lambda] \cdot t_c + 2270(\lambda - \mu) = \mu (mc''_p)_{t_0}^{t_z} \cdot t_z,$$

burada $\lambda = p_z/p_c$ - təzyiqin yüksəlmə dərəcəsidir. Hesabat zamanı dizellər üçün λ -nın qiyməti yanma kamerinin formasından, silindrə verilən yanacağın miqdarından və yanıcı qarışığın hazırlanma üsulundan asılı olaraq seçilir.

$p = \text{const}$ şəraiti üçün yanma məhsullarının orta molekulyar istilik tutumu:

$$(mc''_p)_{t_0}^{t_z} = (mc''_V)_{t_0}^{t_z} + 8,315, \text{ kC/(kmol} \cdot \text{dər)}.$$

Yuxarıdakı tənliklərdə $(mc''_V)_{t_0}^{t_z}$ və $(mc''_p)_{t_0}^{t_z}$ -in t_z -dən asılı qiymətləri (cədvəldən istifadə etməklə)

yerinə yazılır və yanma tənlikləri ümumi şəkildə aşağıdakı kvadrat tənlik halını alır:

$$At_z^2 + Bt_z - C = 0,$$

buradan

$$t_z = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

və $T_z = t_z + 273, \text{ K}$ alınır.

Qıgılıcım ilə alışdırılmalı mühərriklər üçün görünən yanmanın sonundakı təzyiq və təzyiqin yüksəlmə dərəcəsi

$$p_z = p_c \mu \frac{T_z}{T_c}, \text{ MPa},$$

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c}$$

olur.

Dizel mühərrikləri üçün yanmanın sonundakı təzyiq və qabaqcadan genişlənmə dərəcəsi:

$$p_z = \lambda p_c, \text{ MPa},$$

$$\rho = \frac{\mu}{\lambda} \cdot \frac{T_z}{T_c}.$$

Avtotraktor dizelləri üçün $\rho = 1,2 \div 1,7$ hədlərində olur.

Qabaqcadan genişlənmə zamanı porşen tərəfindən boşaldılan həcm:

$$V_z - V_c = V_c(\rho - 1).$$

Hesabat nəticəsində dizellərdə z' və z nöqtələrinin koordinatları tapılır, onlardan istifadə olunaraq yanmanın hesabi və real əyriləri bir-birinə yaxınlaşdırılır.

Qığılcımla alışdırılmalı mühərriklərdə görünən yanmanın həqiqi maksimal təzyiqi:

$$p_{z_h} = 0,85 p_z, \quad \text{MPa}.$$

Dizellər üçün $p_{z_h} = p_z$ olur.

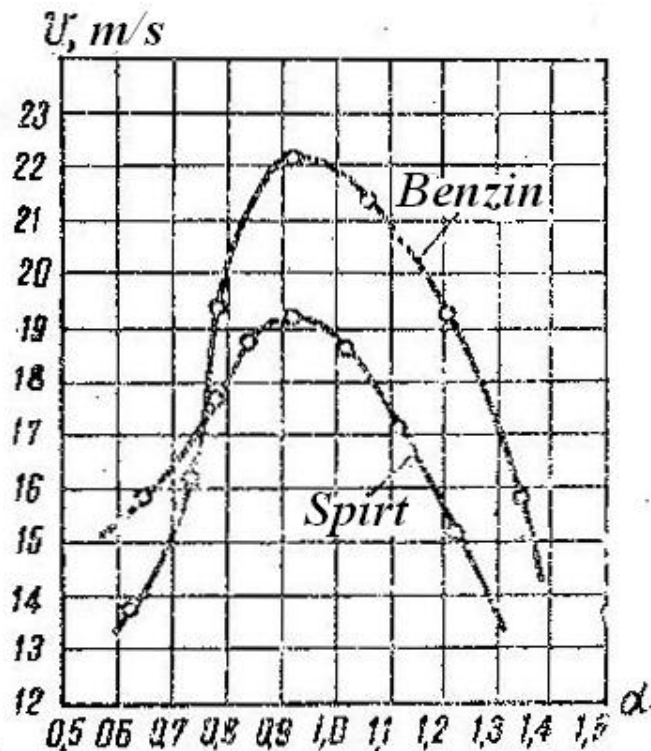
Müxtəlif tip mühərriklər üçün $p_z, p_{z_h}, \lambda, T_z$ -in qiymətləri cədvəllərdə verilir.

DYM-də YANMA PROSESİNƏ TƏSİR EDƏN AMİLLƏR

Daxili yanma mühərriklərində baş verən yanma prosesinə bir sıra ən müxtəlif amillər təsir edir. Onları nəzərdən keçirək.

Qığılcımla alışdırılmalı mühərriklərin dövrlər sayı yüksək olduğundan yanma prosesi çox kiçik zaman ərzində baş verir. Bu səbəbdən də yanma prosesi və onun göstəriciləri yanma müddətindən, o da öz növbəsində alovun yayılma sürətindən asılıdır. Təcrübələr göstərir ki, alovun yayılma sürətinə yanacağın növü, işçi qarışığın tərkibi və onun burulğan hərəkəti, sıxma dərəcəsi, yanma kamerinin forması, alışdırma anı və s. amillər təsir göstərir.

İşçi qarışığın tərkibinin təsiri. Prof. N.Brilling tərəfindən hələ XX əsrdə mühərrik üzərində aparılmış təcrübələr nəticəsində məlum olmuşdur ki, alovun yayılma sürəti yanıcı qarışığın tərkibindən (yəni, hava artıqlıq əmsalından) və yanacağın növündən asılı olur (şək.13.1). Lakin yanacağın növündən asılı olmayaraq, ən yüksək sürət havanın bir qədər çatışmadığı tərkiblərdə ($\alpha = 0,85 \div 0,95$) alınır. Sürətin mütləq qiymətləri isə yanacağın növündən asılı olur.



Şəkil 13.1. Yanacağın növü və yanıcı qarışığın tərkibinin alovun yayılma sürətinə təsiri

Qarışıq kasıblaşdıqda ($\alpha > 0,85 \div 0,95$) alovun yayılma sürətinin azalması onunla izah olunur ki, kiçik konsentrsiyalı qarışıqlarda yanacaq hissəcikləri biri-birindən daha çox məsafədə yerləşdiklərindən, alovun bir hissəcikdən digərinə ötürülməsi çətinləşir. Qarışıq zənginləşdikdə (yəni, $\alpha < 0,85 \div 0,95$ olduqda) alovun yayılma sürətinin azalması isə oksigenin çatışmazlığı ilə izah edilir.

Drossel qapağı bağlandıqca silindrdəki işçi qarışığın tərkibindəki qalıq qazların konsentrasiyası artır. Bu isə alovun yayılma sürətinin azalmasına səbəb olur. Təsirsiz qalıq qazların konsentrasiyası artdıqca, yəni drossel qapağı daha çox bağlandıqca alovun yayılma sürəti daha çox azalır. Drossel qapağı bağlandıqca qalıq qazların konsentrasiyasının artmasından başqa həm də silindrdəki qazın sıxlığının azalması baş verir. Bu da öz növbəsində yanacaq hissəcikləri arasındakı məsafənin artmasına və beləliklə, alovun yayılma sürətinin daha da azalmasına gətirib çıxarır.

Alovun yayılma sürəti (və ya yanma sürəti) çox olduqca indikator diaqramının effektiv sahəsi və onunla əlaqədar mühərrikin gücü də artır.

Mühərrikin işi zamanı işçi qarışığın tərkibinin (α) dəyişməsinə isə yanacaqvermə sistemi avtomatik olaraq təmin edir.

İşçi qarışığın burulğan hərəkətinin təsiri. İşçi qarışığın silindr daxilində hərəkəti alovun yayılma sürətinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Təcrübələr göstərmişdir ki, qarışıq hərəkət etmədikdə alovun yayılma sürəti burulğan hərəkət şəraitindəki sürətdən 10 dəfələrlə az olur.

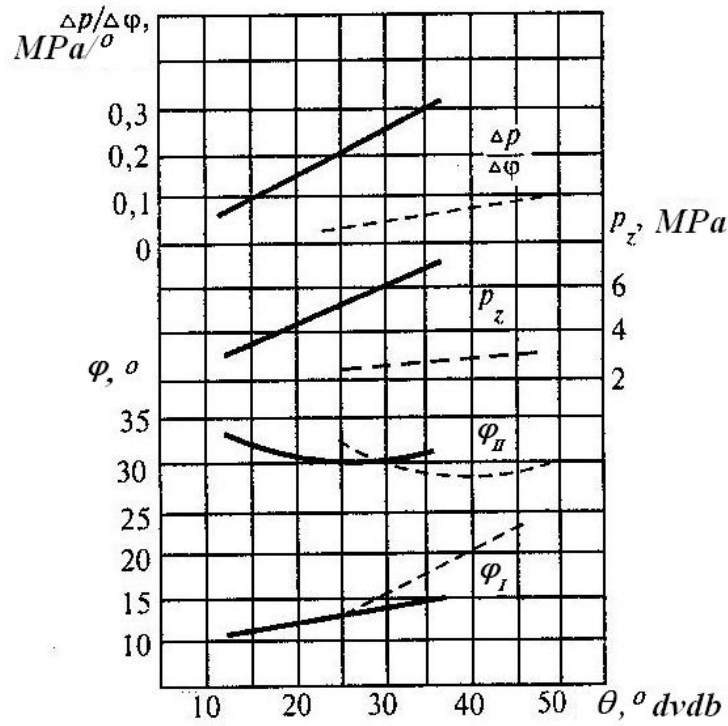
Mühərrikin dövrlər sayı artdıqca işçi qarışığın burulğan hərəkəti intensivləşir. Bu səbəbdən dövrlər sayı yüksəldikcə alovun yayılma sürəti də artır. Aydın ki, işçi qarışığın burulğan hərəkətini intensivləşdirmək üçün nəzərdə tutulan hər bir konstruktiv dəyişiklik (sorma borusunun silindrə tangensial istiqamətdə yerləşdirilməsi, sorma klapanında yönəldicilərin, poşenin təpəsində və ya silindrlər başlığında sıxışdırıcıların yerləşdirilməsi və s.) alovun yayılma sürətinin artmasına gətirib çıxaracaq. Lakin burulğan hərəkətin həddindən artıq intensivləşdirilməsi məqsəduyğun deyil. Çünki, bu halda alovun sönməsi və soyutma sisteminə verilən istiliyin artması kimi hadisələrin baş verməsi labüddür.

Alışdırmanı tezləşdirmə bucağının təsiri. İşçi qarışığı alışdırma anı və bu anı xarakterizə edən alışdırmanı tezləşdirmə bucağı θ mühərrikin işçi göstəricilərinə böyük təsir göstərir.

Alışdırmanı tezləşdirmə bucağı alpvun yayılma sürətinə işçi qarışığın tərkibinin və mühərrikin dövrlər sayının etdiyi təsirləri kompensasiya edir. Alovun yayılma sürəti azaldıqda yanma üçün nəzərdə tutulan vaxt kifayət etmir və nəticədə mühərrikin işi pisləşir. Bunun qarşısı alışdırmanı tezləşdirmə bucağının qiymətini böyütməklə, yəni yanmaya ayrılan vaxtı süni olaraq artırmaqla alınır. Aydın ki, mühərrikin yükü, dövrlər sayı, yanacağın növü, yanıcı qarışığın tərkibi kimi amillər dəyişdikdə alışdırmanı tezləşdirmə bucağı C da dəyişməlidir. Bu bucağın mühərrikin maksimum güc verməsinə uyğun olan qiyməti optimal (θ_{op}) qiymət adlanır. Yuxarıda deyilən mülahizələrə görə digər şərtlər eyni qaldığı şəraitdə mühərrikin yükü azaldıqca (yəni, drossel qapağı bağlandıqca) θ_{op} -ın qiyməti artacaqdır.

Alışdırmanı tezləşdirmə bucağının optimal qiyməti yanma prosesinin fazalarının (və ya mərhələlərinin) davam etmə uzunluğundan da asılıdır (şək.13.2). Fazalar uzandıqca qarışığı daha tez alışdırmaq lazım gəlir. Eyni zamanda θ -nın qiyməti artdıqca, yanmanın birinci mərhələsinin uzunluğu φ_1 də artır. Bu, qılgılcım verilən anda qarışığın temperatur və təzyiqinin azalması səbəbindən qarışığın alışdırılma şəraitinin pisləşməsi, habelə qılgılcımın enerjisinin nisbətən aşağı düşməsi nəticəsində baş verir. Ona görə də qarışığın xeyli kasıblaşdırılması zamanı alışdırmanı tezləşdirmə bucağının qiyməti θ_{op} ardıcıl baş verən sikllərdə alışma və yanmanın sabilliyi nəzərə alınmaqla seçilir, yəni $\theta < \theta_{op}$ olur. Mühərrikin tam drossel şəraitində işi zamanı alışdırmanı tezləşdirmə bucağının qiymətinin artırılması yanmanın maksimal təzyiq və temperaturunun yüksəlməsinə səbəb olduğundan detonasiyalı yanmanın yaranma təhlükəsi labüddür.

Alışdırma sistemi mühərrikin iş rejimindən və onun temperatur şəraitindən asılı olaraq θ -nın qiymətinin avtomatik olaraq dəyişdirilməsini təmin edir.



Şəkil 13.2. Alışdırmanı tezləşdirmə bucağının (θ) yanma prosesi fazalarının uzunluqlarına təsiri:
($\varepsilon=9,5$; $n=2000 \text{ d}\alpha\text{q}^{-1}$; $\alpha=1,0$; _____ - tam drossel; - - - - - aralıq drossel)

alışdırmaq lazım gəlir. Eyni zamanda θ -nin qiyməti artdıqca, yanmanın birinci mərhələsinin uzunluğu φ_I də artır. Bu, qığılcım verilən anda qarışığın temperatur və təzyiqinin azalması səbəbindən qarışığın alışdırılma şəraitinin pisləşməsi, habelə qığılcımın enerjisinin nisbətən aşağı düşməsi nəticəsində baş verir. Ona görə də qarışığın xeyli kasıbaşıdırılması zamanı alışdırmanı tezləşdirmə bucağının qiyməti θ_{op} ardıcıl baş verən sikllərdə alışma və yanmanın stabilliyi nəzərə alınmaqla seçilir, yəni $\theta < \theta_{op}$ olur. Mühərrikin tam drossel şəraitində işi zamanı alışdırmanı tezləşdirmə bucağının qiymətinin artırılması yanmanın maksimal təzyiq və temperaturunun yüksəlməsinə səbəb olduğundan detonasiyalı yanmanın yaranma təhlükəsi labüddür.

Alışdırma sistemi mühərrikin iş rejimindən və onun temperatur şəraitindən asılı olaraq θ -nin qiymətinin avtomatik olaraq dəyişdirilməsini təmin edir.

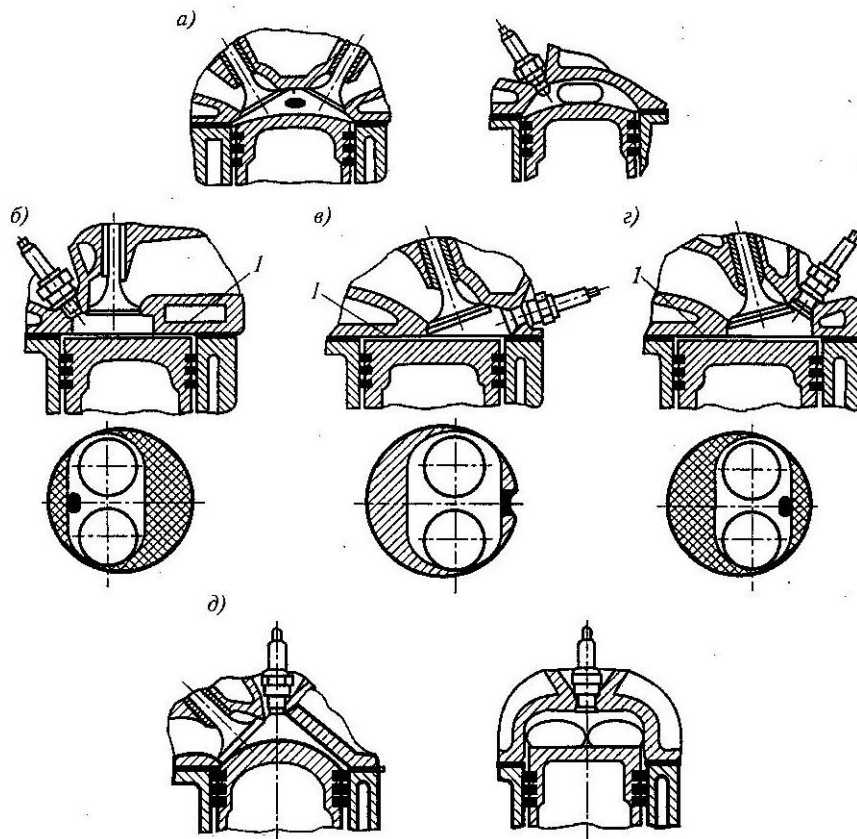
Mühərrikin yük rejiminin təsiri. Mühərrikin sabit sürət rejimində drosselləmə siklin təzyiqinin azalmasına və qalıq qazlar əmsalının böyüməsinə gətirib çıxarır. Nəticədə alışdırma şəraiti pisləşdiyində yanmanın birinci mərhələsi (φ_I) uzanır. Drosselləmə intensiv olduqda ardıcıl baş verən sikllərin qeyri-müntəzəmliyi də pisləşir. Bu isə qarışığın qığılcımla alışdırılmasının yaxşılaşdırılması üçün onun zənginləşdirilməsini tələb edir. Kiçik yük rejimlərində yanma prosesinin gedişinin pisləşməsi qığılcımla alışdırılmalı mühərriklərin ən böyük nöqsanlarındanıdır. Belə ki, bu rejimlərdə yanacaq sərfi və işlənmiş qazların tərkibindəki dən qazı (CO) və karbohidrogen (CH_x) tullantılarının miqdarı artır.

Dövrələr sayının təsiri. Mühərrikin dövrələr sayı artdıqca qarışığın klapan deşiyindən və sıxlaşdırıcılardan axıb keçmə sürəti də artdığından qarışığın turbulentləşməsi də artır. Bu hal yanıcı qarışığın hazırlanmasını yaxşılaşdırdığından yanma prosesinin ikinci mərhələsinin uzunluğunun sabitləşməsinə gətirib çıxarır ($\varphi_{II}=\text{const}$). Yanmanın birinci mərhələsi isə dövrələr sayı n artdıqca uzanır və alışdırmanı tezləşdirmə bucağının qiymətinin böyüdülməsini tələb edir. Digər tərəfdən n artdıqca yanmanın 3-cü mərhələsi – *yanıb qurtarma* mərhələsi də nisbətən uzanır. Lakin bu silindrin divarlarına ötürülən nisbi istilik itkilərinin azalması ilə kompensasiya olunur. Ümumiyyətlə isə mühərrikin dövrələr sayının artması yanma prosesinin səmərəliliyini artırır.

Sıxma dərəcəsinin artması. Sıxma dərəcəsi (ε) artdıqca işçi qarışığın sıxlığı da artdığından

yanacaq hissəcikləri biri-birinə daha da yaxınlaşır. Bu da alovun yayılma sürətini artırır. ε artdıqca qazların genişlənmə dərəcəsi də artır. Qıgılcımın verilmə anında işçi qarışığın təzyiq və temperaturu yüksəldiyindən onun enerjisi də artır. ε artdıqca qalıq qazların miqdarı da azalır. Bütün bunlar göstərir ki, sıxma dərəcəsi böyüdükcə qarışığın alışdırılma şəraiti yaxşılaşır və onun kəsiblaşma hədləri genişlənir. Yanma prosesində təzyiq və temperaturun yüksək olması yanmanın əsas (ikinci) mərhələsində yanma sürətinin artmasına səbəb olduğundan bu mərhələ YÖN-dən çox az keçmiş başa çatır. Bu, sıxma dərəcəsi artdıqca alışdırmanı tezləşdirmə bucağının optimal qiymətinin (θ_{op}) azalmasına və siklin indikator f.i.ə-nin artmasına səbəb olur. Digər tərəfdən ε artdıqca yanma kamerinin səthinin sahəsinin onun həcminə olan nisbəti də artır. Bu isə o deməkdir ki, divarboyu laylarda və sıxlaşdırıcılarda qalan qarışığın miqdarı da artdığından yanmanın 3-cü mərhələsində yanan qarışığın miqdarı da artacaq. Sıxma dərəcəsinin qiymətinin artırılmasında əsas maneə isə detonasiyadır.

Yanma kamerinin formasının təsiri.



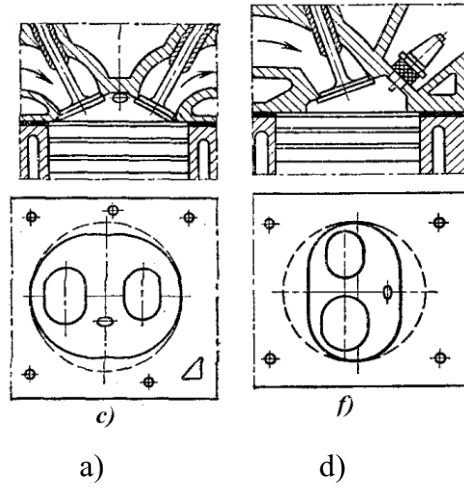
Şəkil 13.3 Qıgılcımla alışdırılmalı mühərriklərin yanma kamerlərinin sxemləri:

a –

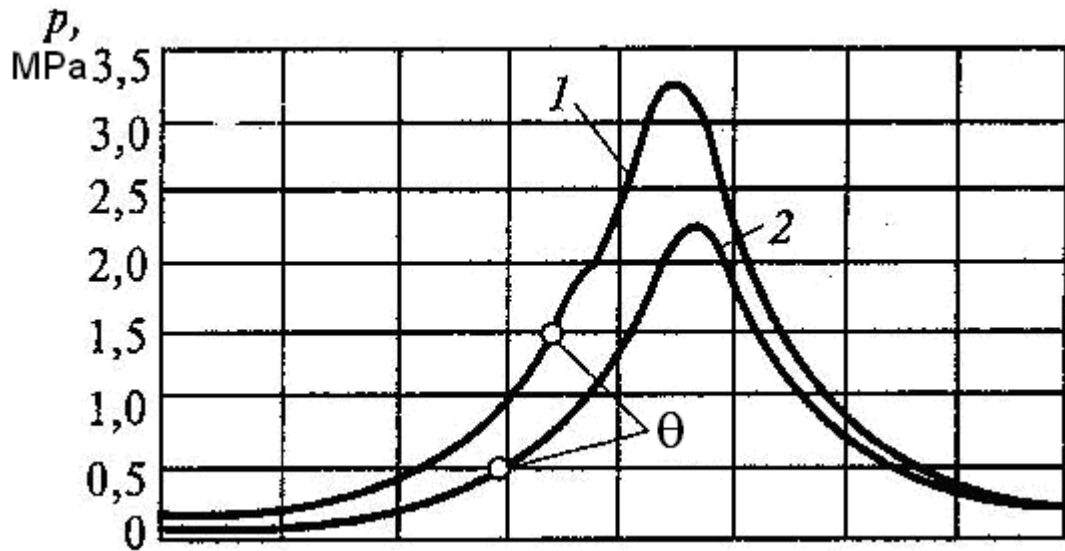
(Lukanin, ris. 3.34)

Üstəlik üfürmənin təsiri.

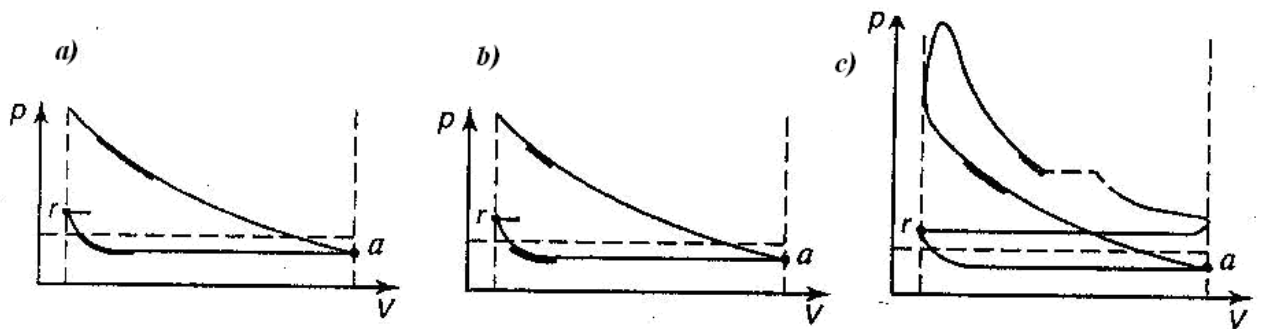
Birbaşa silindrə benzin püskürmə zamanı qarışığın təbəqələşdirilməsinin təsiri.



Şəkil 13.4. Birbaşa silindrə (1) və sorma borusuna paylanmış (2) benzin püskürmə zamanı təzyiq və istilik ayrılma sürətlərinin dəyişməsi

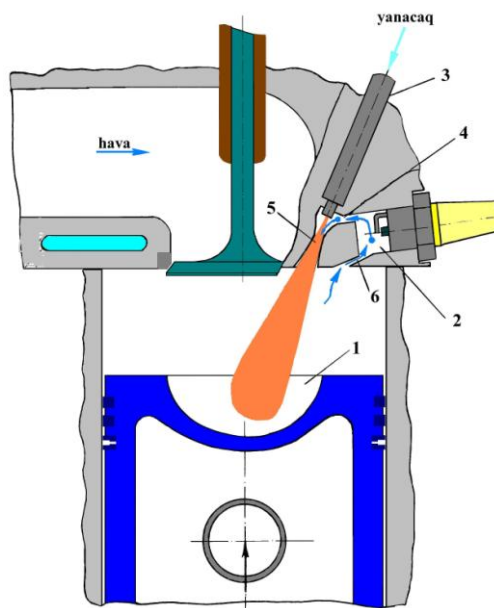


Şəkil 13.5. Birbaşa silindrə (1) və sorma borusuna paylanmış (2) benzin püskürülmə ilə işləyən mühərrikdə təzyiqin dəyişməsi



Şəkil 13.6. Benzinin silindrə 2 mərhələli püskürülməsi:
a) orta yük rejimi (alışdırma yaxşılaşır); b) tam yük rejimi (dtonasiyanın qarşısı alınır); c) qızdırılma rejimi (neytralizatorun qızdırılması)

Forkamer-məşəllə alışdırmanın təsiri.

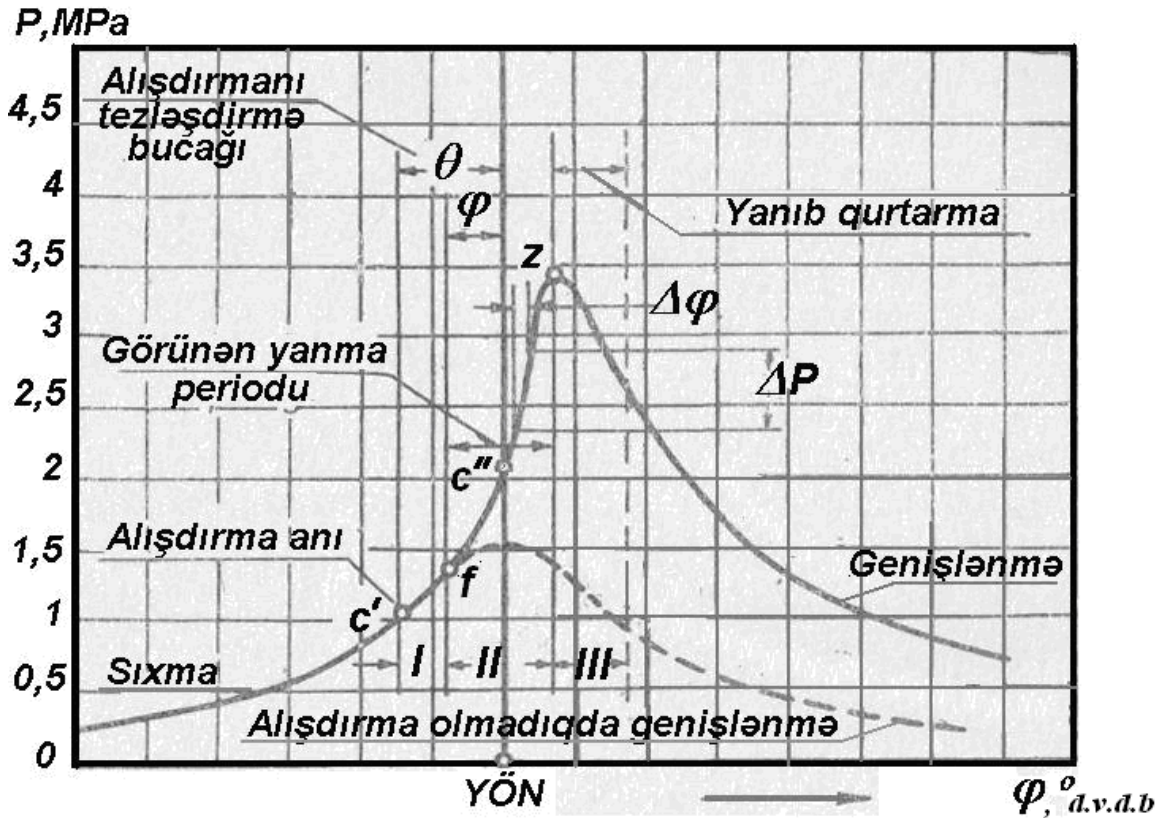


Şəkil 13.5. Forkamer-məşəllə alışdırmalı və silindrinə birbaşa benzin püskürməli mühərrikin AzTU sxemi:
1 - əsas yanma kameri; 2 – forkamer; 3 – injektor; 4 – üfurmə kanalı; 5 – yanacaq kanalı; 6 – məşəl kanalı

DYM-də YANMA PROSESİNİN İNDİKATOR DİAQRAMI ÜZRƏ TƏHLİLİ

Qığılımla alışdırılmalı mühərrikdə yanma prosesinin indikator diaqramı üzrə təhlili

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi silindrin cari həcmnin dəyişməsilə onun daxilindəki təzyiqin dəyişməsinə ifadə edən qrafiki təsvir mühərrikin həqiqi siklinin qapalı indikator diaqramı adlandırılmışdır. Bu diaqram silindr daxilində periodik olaraq baş verən dönməyən və açıq işçi sikl ərzində silindrdə təzyiqin dəyişmə xarakterini ifadə edir. Mühərriklərin işçi prosesləri nəzəriyyəsində isə işçi sikl ərzində baş verən proseslərin, xüsusilə də yanma prosesinin təhlili üçün açıq indikator diaqramından geniş istifadə olunur. Bu diaqram silindrdəki təzyiqin və digər parametrlərin sikl ərzində dirsəkli valın dönmə bucağından asılı olaraq dəyişmə xarakterini ifadə edir. Şək.13.3-də qığılımla alışdırılmalı mühərrikin açıq indikator diaqramı göstərilmişdir. Yanma prosesini bu diaqram üzrə nəzərdən keçirək. Elektrik şamı tərəfindən qığılımlar c' nöqtəsində, yəni



Şəkil 13.3. Qığılımla alışdırılmalı mühərrikin açıq indikator diaqramı

porşenin YÖN vəziyyətinə çatmasına müəyyən qədər qalmış verilir. Dirsəkli valın dönmə bucağı üzrə bu vəziyyət alışdırmanı tezləşdirmə bucağı (θ) adlanan parametrlə ifadə olunur. Lakin indikator diaqramından görüldüyü kimi qığılımların verilməsinə baxmayaraq silindrdəki təzyiq sıxma təzyiqindən fərqlənir. Çoxsaylı eksperimentlər göstərmişdir ki, qığılımların verilməsi hələ görünən alovun yaranmasına səbəb olmur. Yalnız müəyyən müddətdən sonra, yəni f nöqtəsində görünən alov meydana çıxır və bu andan etibarən silindrdəki təzyiq sıxma təzyiqindən fərqlənməyə başlayır. Çünki bu andan etibarən istiliyin ayrılması qarışıqın sıxma nəticəsində ayrılan istilikdən artıq olur. Qığılımlar verilən andan (c') bu anadək (f) keçən zaman intervalına yanmanın **birinci periodu** və ya **induksiya periodu** (φ_1) deyilir. Bəzi hallarda adicəkilən zaman intervalı **yanmanın başlanğıc fazası** və ya **alov cəbhəsinin formalaşması fazası** da adlandırılır. Bu interval ərzində elektrik şamının elektodları arasındakı yüksək temperatur zonasında formalaşan yanma mənbəyi tədricən inkişaf etmiş turbulent alov cəbhəsinə çevrilir. İnduksiya periodu ərzində yanmanın inkişafı əsasən kiçik miqyaslı turbulent yanma qanunauyğunluqları ilə müəyyən edilir. φ_1 periodu ərzində yanan yanacağın miqdarı sikl

ərzində yanan yanacaq miqdarının $2\div3$ %-dən azını təşkil edir. Məhz bu səbəbdən φ_I periodu ərzində indikator təzyiqin sıxma təzyiqinə nəzərən artımını qeydə ala bilmir. Yanmanın induksiya periodunun zaman vahidi ilə uzunluğu (τ_I) yanma kamerindəki turbulent yanmanın qeyri-stasionar fazasının əsas miqdar xarakteristikası sayılır və aşağıdakı düsturun köməyi ilə müəyyən edilir:

$$\tau_I = \frac{cl \left(\frac{U_n \varepsilon_c}{U_\Sigma} \right)^\beta}{U_n \varepsilon_c}, \quad \text{s,}$$

burada U_n – normal yanma sürətidir, m/s ; ε_c – qılgılcım verilən anda yanma məhsullarının genişlənmə dərəcəsidir; l – turbulentliyin integral miqyasıdır, m ; U_Σ – turbulentliyin pulsasiyalı sürətidir, m/s ; c – sabit əmsaldır; $\beta = 0,25$ – yanma mənbəyinin formalaşma müddətinə laminar və turbulent mexanizmlərin nisbi pay miqdarıdır.

Yanmanın induksiya periodu qarışığın tərkibi, qarışığın burulğan hərəkətindən və onun intensivliyindən, sıxma dərəcəsindən, üstəlik üfurmənin olub-olmamasından, dirsəkli valın dövrlər sayından, mühərrikin yük rejimindən, yanacağın xassələrindən, elektrik şamındakı qılgılcımlı boşalmanın xarakteristikasından və s. amillərdən asılıdır.

φ_I periodunun ən qısa uzunluğu yanma sürətinin ən böyük qiymət aldığı $\alpha = 0,8\div0,9$ tərkibli yanıcı qarışığın yanması zamanı alınır. Yanıcı qarışığın kəskin kasıblaşması isə həm φ_I periodunun xeyli uzanmasına səbəb olur, həm də alışmanın stabilliyi kəskin olaraq pisləşir. Hətta bəzi hallarda mühərrikin ayrı-ayrı silindrlərində alışdırmanın pozulması hallarına təsadüf edilir.

Mühərrikin sorma kanalları vintvari və ya tangensial şəkildə olduqda silindrdəki yanıcı qarışığın burulğan hərəkətinin intensivliyi artır. Bu hal kiçik miqyaslı turbulentliyin artmasına səbəb olur və bu φ_I periodunun qısalmasına gətirib çıxarır.

Mühərrikin sıxma dərəcəsi artdıqca işçi qarışığın təzyiq və temperaturu da artdığından normal yanma sürəti də artır, bu isə φ_I periodunun qısalması ilə nəticələnir. Elə bu səbəblərdən alışdırmanın tezləşdirmə bucağının (θ) kiçildilməsi də φ_I periodunu qısaldır.

Üstəlik üfurmənin tətbiqi və üstəlik üfurmə təzyiqinin yüksəldilməsinin φ_I periodunun uzunluğuna təsiri sına dərəcəsinin göstərdiyi təsirə oxşardır. Üstəlik üfurmə zamanı alışdırmanın tezləşdirmə bucağının (θ) kiçildilməsi də φ_I periodunun əlavə olaraq qısalmasına səbəb olur.

Mühərrikin drossel qapağı bağlandıqca silindrdəki qalıq qazların nisbi miqdarı artdığından işçi qarışığın təzyiqi azalır. Bu isə φ_I periodunun uzanması, habelə alışdırma stabilliyinin pisləşməsi ilə nəticələnir.

Elektrik şamının verdiyi qılgılcımın gərginliyi, elektrik boşalmasının stabilliyi və davam etmə müddəti yüksək olduqca φ_I periodu da qısalar. Bu səbəbdən elektron alışdırma sistemlərinin tətbiqi klassik alışdırma sistemləri ilə müqayisədə alışdırma və yanma proseslərini yaxşılaşdırır. Bu yaxşılaşdırma xüsusilə də mühərrikin startgötürmə və xeyli kasıb qarışıqlarla işi zamanı nəzərə çarpır.

Açıq indikator diaqramından göründüyü kimi f nöqtəsindən başlayaraq silindrdəki təzyiqin kəskin artması müşahidə olunur və bu artım z nöqtəsinə qədər davam edir. f nöqtəsindən z nöqtəsinə qədər olan interval yanmanın **ikinci periodu** (φ_{II}) və ya **görünən yanma** periodu adlanır. Bəzi hallarda bu period **yanmanın əsas fazası** kimi də adlandırılır. φ_{II} periodunun uzunluğu iri miqyaslı turbulentliyin qanunauyğunluqları ilə müəyyən edilir. Bu periodda alovun yayılmasının maksimal sürəti $60\div80$ m/s -yə qədər çata bilər. φ_{II} periodunda siklik yanacaq dozasının $80\div85$ % yanır.

Çoxsaylı eksperimentlərin nəticələri göstərir ki, φ_{II} periodunun uzunluğunun işçi qarışığın fiziki-kimyəvi xassələrindən asılılığı çox zəifdir. Yalnız güclü drossellənmə zamanı bu periodun uzunluğu bir qədər arta bilər.

Silindrdəki qarışığın turbulentliyinin intensivliyi mühərrikin dövrlər sayı n ilə mütənasib olduğundan dövrlər sayı artdıqca φ_{II} periodunun zamanla davam etmə müddəti də iş siklinin zamanla dəyişmə müddətinə mütənasib olaraq azalır. Yəni, φ_{II} periodunun dirsəkli valın dönmə bucağı üzrə uzunluğu demək olar ki, dəyişmir.

Alışdırma şamının yanma kamerinin mərkəz hissəsində yerləşdirilməsi, bir silindrdə 2 və ya 3 elektrik şamının qoyulması, qarışıqın turbulentləşdirilməsinin gücləndirilməsi kimi tədbirlər φ_{II} periodunun uzunluğunun azalmasına şərait yaradır.

Təcrübələr göstərir ki, alışdırmanın tezləşdirmə bucağının optimal qiymətində (θ_{opt}) görünən yanma periodunun f nöqtəsindən c'' nöqtəsinə qədər olan hissəsində, yəni görünən alovun yarandığı andan YÖN vəziyyətinə qədər olan yanma müddəti φ_{II} periodunun ümumi uzunluğunun 30÷40 %-ni təşkil edir.

Mühərrikin tam drossel rejimində işi zamanı effektiv f.i.ə-nın maksimal qiyməti yanmanın ikinci periodu YÖN vəziyyətindən 12÷18° keçmiş qurtardıqda alınır. Bu halda φ_{II} periodunun uzunluğu d.v.d.b üzrə 20÷25° təşkil edir.

Yanmanın ikinci periodu sona çatdıqdan sonra da yanma prosesi davam etdiyindən silindrdəki qazların temperaturu hələ artmaqda davam edir və müəyyən müddətdən sonra maksimal T_{max} qiymətini alır.

Yanmanın əsas periodunda təzyiq kəskin sürətdə artarsa mühərrikin işi sərtləşir. Bu *sərt iş* adlanır. Mühərrikin belə işi taqquqlularla müşayiət olunur və bu mühərrikin ömür uzunluğunu azaldır.

Əsas yanma periodunda təzyiq artımının dirsəkli valın dönmə bucağı artımına olan nisbəti mühərrikin işinin sərtliyini xarakterizə edir. Belə ki, $\Delta p/\Delta \varphi$ nisbəti *orta*, $dp/d\varphi$ nisbəti isə *həqiqi sərtlik dərəcəsi* adlanır. Göstərilən nisbət həm də təzyiqin yüksəlmə intensivliyini xarakterizə etdiyindən ona *təzyiqin yüksəlmə sürəti* də deyilir. Təcrübədə həqiqi sərtlik dərəcəsinin maksimal qiymətindən $(dp/d\varphi)_{max}$ və orta sərtlik dərəcəsinə $(\Delta p/\Delta \varphi)_{or}$ istifadə olunur. Sərtliyin müəyyən həddə qədər çatması siklin orta təzyiqinin artması ilə nəticələnir. Siklin maksimal orta təzyiqinə uyğun olan sərtliyin qiyməti müxtəlif mühərriklər üçün fərqli olur və bu qiymətlərə malik sərtliyə yol verilməsi həmişə məqsədəuyğun hesab edilmir. Sərtlik dərəcəsinin qiyməti həm indikator təzyiqinin yüksək olması, həm də mühərrikin uzunömürlüliyünün lazımı qədər olması nəzərə alınaraq müəyyən edilir. Məhz buna görə də mühərrikin uzunömürlüliyünü artırmaq üçün orta indikator təzyiqinin müəyyən qədər az olmasına yol verilir.

Aşağı sıxma dərəcəsinə ($\varepsilon=6\div8$) malik mühərriklərdə təzyiqin yüksəlmə sürəti $dp/d\varphi = 0,1\div0,12$ MPa/°dvdb, yüksək sıxma dərəcəsinə ($\varepsilon=9\div12$) malik mühərriklərdə isə $dp/d\varphi = 0,15\div0,25$ MPa/°dvdb hədlərində olur.

Təzyiqin yüksəlmə sürəti alovun yayılma sürəti ilə sıx əlaqədar parametrdir. Alov normal sürətlə yayıldıqda mühərrik də kifayət qədər “yumşaq” işləyir. Alovun normal yayılma sürəti isə 25÷50 m/s hədlərində olur.

Silindrdəki qarışıqın z nöqtəsindən sonrakı yanması silindrin cari həcmnin get-gedə artması şəraitində getdiyindən oradakı təzyiq də azalmağa başlayır. Təzyiqin azalması şəraitində gedən yanma prosesi yanmanın *III periodu* (φ_{III}) və ya *yanıb qurtarma periodu* adlanır. Bu period ərzində əsasən turbulent pulsasiya miqyaslarının və temperaturun əsas yanma kamerindəkinə nisbətən xeyli az olduğu divaryanı qatlardakı qarışıq yanır. Turbulent yanma zonası dərinliyinin çox olduğu hallarda yanıb qurtarma periodunda alov cəbhəsindən arxada qalmış ayrə-ayrı qarışıq həcmli də yanır. Bu periodda molekulların rekombinasiyası nəticəsində də istiliyin ayrılması baş verir. Lakin bu peroddakı istiliyayırılma sürəti get-gedə aşağı düşür və porşenin AÖN vəziyyətinə doğru hərəkəti üzündən qazların genişlənməsi sürətlənir. Bunların və eyni zamanda divarlara istilikötürmənin artması nəticəsində silindrdəki təzyiqin azalması müşahidə olunur.

φ_{III} periodunun uzunluğuna φ_I periodunun uzunluğuna təsir edən eyni amillər, yəni kiçik miqyaslı turbulent yanma sürətinin asılı olduğu amillər təsir edir. Sıxma dərəcəsi ε artdıqca divaryanı qatlarda və porşenin təpə səthi ilə silindrlər başlığı arasındakı araboşluqlarında yanıb qurtaran qarışıqın payı da artır. Bu isə φ_{III} periodunun uzanmasına gətirib çıxarır. Yanıb qurtarma periodunun sonu istilikayırılmanın sona çatması ilə xarakterizə olunur və xüsusi hesablamalar aparılmadan bu periodun sona çatdığı anı müəyyənləşdirmək mümkünə deyildir.

Məcburi alışdırılmalı mühərriklərdə sikl ərzində yanma periodlarının yerdəyişməsinə həyata

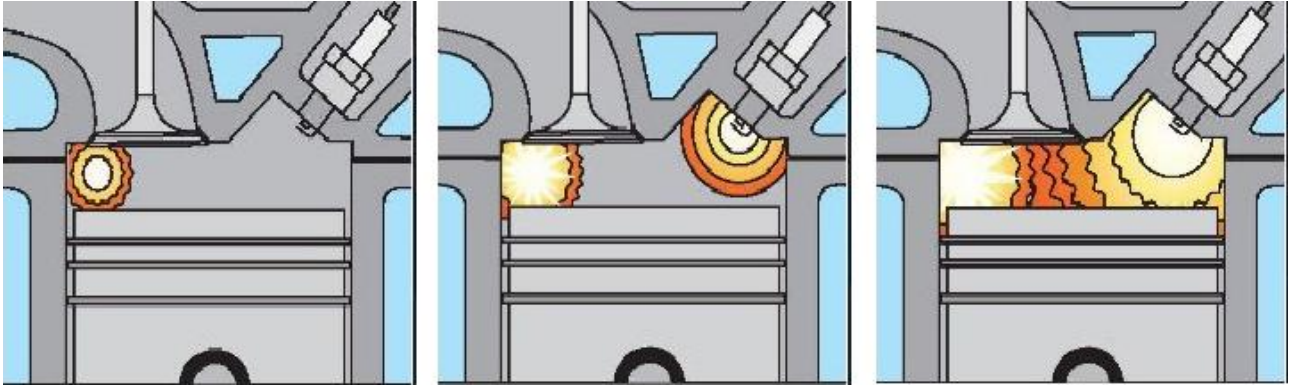
keçirən əsas vasitə alışdırmanın tezləşdirmə bucağının idarə olunmasıdır.

Sikl ərzində verilən yanacaq dozasının zaman üzrə yanib qurtarması *istilikayrılma əmsali* adlanan parametrlə xarakterizə olunur.

Qılgıcım ilə alışdırılmalı mühərriklərdə normal yanma prosesinin pozulması halları

İstismar zamanı bir çox amillərin təsiri ilə yanma prosesi pozula bilər. Bu zaman *vaxtından qabaq alışma*, *vaxtından gec alışma*, *klapan və porşen üzüklərinin hermetikliyinin pozulma halındakı alışma*, *alışdırma sistemi söndürülmüş halda sıxmanın təsirindən alışma* və *detonasiya* hadisələri baş verir.

Vaxtından qabaq alışma. Vaxtından qabaq alışma sıxma zamanı qılgıcım verilməzdən əvvəl baş verən özülalışmaya deyilir. Bu hadisənin baş verməsi zamanı silindrdə baş verən yanma prosesinin gedişi şək.13.4-də verilmişdir.



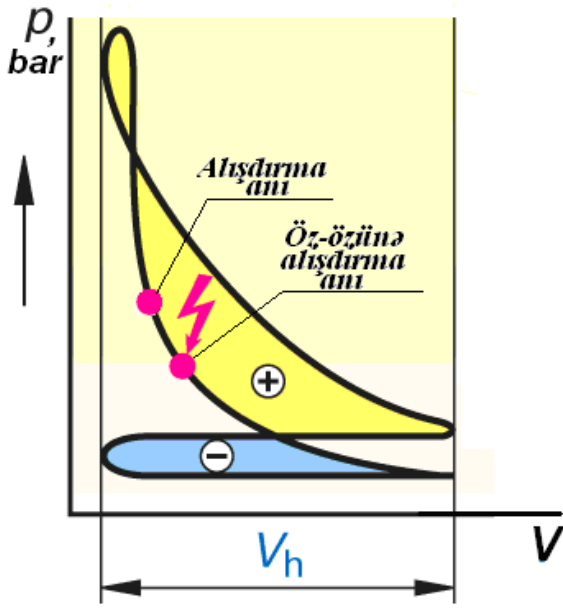
Şəkil 13.4. Məcburi alışdırılmalı mühərrikdə vaxtından qabaq alışma olduqda yanma prosesinin gedişi

Vaxtından qabaq alışma olduqda mühərrikin gücü azalır, o qızır, qeyri-müntəzəm və sərt işləyir.

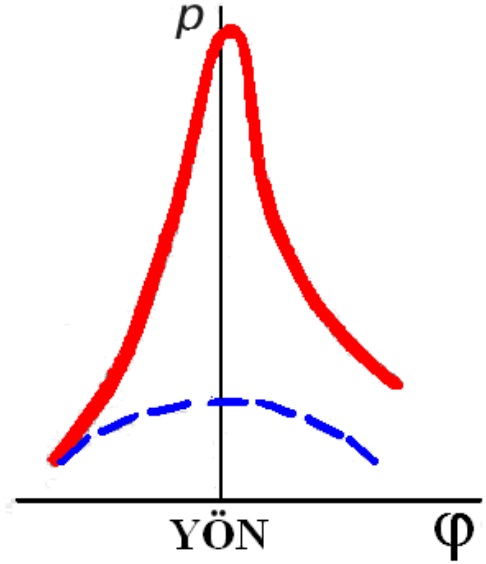
Şək.13.5-də vaxtından qabaq alışmada alınan qapalı (a) və açıq (b) indikator diaqramları göstərilmişdir. Mühərrikin gücünün azalması sıxma prosesinə sərf olunan işin (şək.13.5a) çoxalması ilə izah edilir. Vaxtından qabaq alışma baş verdikdə silindrdəki təzyiq və temperaturun sürətli artımı baş verir və onların maksimal qiyməti porşen hələ YÖN vəziyyətiə çatmamış da alına bilər. Nəticədə soyutma sistemə verilən istilik artdığından, mühərrik qızır, soyutma sistemindəki soyuducu agent qaynayır. Gücün azalması isə mühərrikin vahid gücünə sərf olunan yanacağın artmasına səbəb olur.

Sərt və taqılmalı ilə işləmənin səbəbi şək.13.5b-dən göründüyü kimi təzyiqin vaxtından əvvəl və intensiv artmasıdır. Mühərrikin qeyri-müntəzəm işləməsinin səbəbi isə, silindrlərdə vaxtından qabaq alışma şəraitinin eyni olmamasıdır, yəni bu hadisə bütün silindrdə baş verməyə də bilər.

Vaxtından qabaq alışmanın səbəbi yanma kamerində “qızmış nöqtələrin” yaranmasıdır. “Qızmış nöqtələr” rolunu alışdırma şamının qızmış mərkəzi elektrodu, yanma normal getmədikdə (alışdırma gecikdikdə, yanıcı qarışıq kasıblaşdıqda və s.) çox qızan xaricətmə klapanının nimçəsinin səthi, porşen və silindrlər başlığının qızmış iti tilləri, habelə közərən qurum hissəcikləri oynaya bilər. Qızmış səthlərin temperaturu $800\div 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ –ni keçdikdə baş verən vaxtından qabaq alışmadan sonra qarışıq normal yanma sürəti ilə yanmağa başlayır. Lakin vaxtından qabaq alışma momenti idarə oluna bilmir və bu moment qılgıcımın verilməsindən xeyli əvvələ sürüşməyə başlayır. Zəhəri əlamətlərinə görə vaxtından qabaq alışmanı aşkarlamaq çox çətindir. Belə ki, bu hadisə mühərrikin yüksək dövrlər sayında baş verir və onun yaratdığı səs-küy boğuc olduğundan o qədər də eşidilmir. Benzin püskürməli mühərriklərdə meydana çıxan vaxtından qabaq alışmanın qarşısını almaq üçün alışdırma sistemini söndürmək kifayət edir. Çünki bu halda yanacaq verilişi də avtomatik olaraq kəsildiyindən hər hansı bir alışmanın baş verməsi mümkündür.



a)



b)

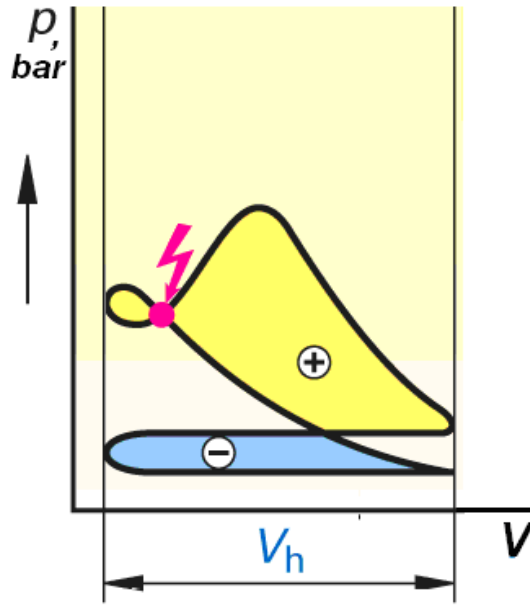
Şəkil 13.5. Vaxtından qabaq alışma ilə işləyən mühərrikin qapalı (a) və açıq (b) indikator diaqramları

Karbüratorlu mühərriklərdə isə bu məqsədlə drossel qapağının mümkün qədər tez bağlanması tələb olunur. Əks halda porşenin yanması üzündən çox qısa müddətdə mühərrikin sıradan çıxması mümkündür.

Vaxtından qabaq alışmanın meydana çıxmasının qarşısını almaq üçün istismar üçün yararlı bilinən yanacaqlardan və yüksək “közərmə” ədədinə malik elektrik şamlarından istifadə olunması vacib şərtidir.

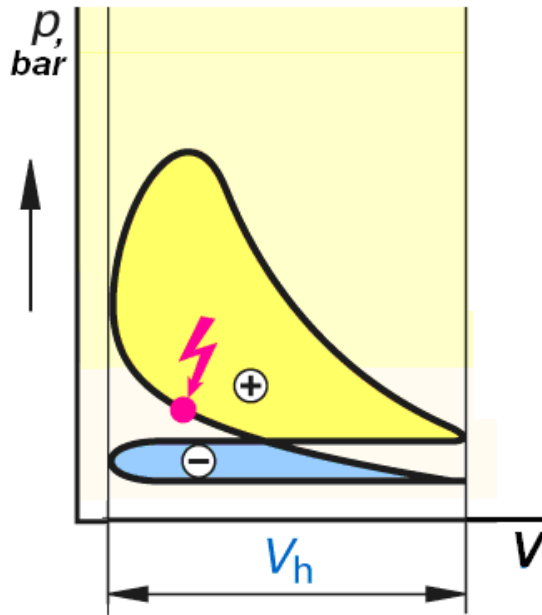
Məcburi alışdırılmalı mühərriklərdə aparılan təcrübələr göstərmişdir ki, normal yanma prosesinin getməsi üçün elektrik şamının işçi qarışıqla əhatə olunan hissələrinin temperaturu $580 \div 850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında olmalıdır. Göstərilən intervaldan aşağı temperaturlarda şamın elektrodları üzərində qurum toplanır, yuxarı temperaturlarda isə elektrik şamı vaxtından qabaq alışmaya səbəb olur ki, bu da izolyatorun parçalanması və elektrodların əriməsi nəticəsində şamın sıradan şıxmasına gətirib çıxarır. Temperaturun göstərilən intervaldan kənara çıxmaması üçün elektrik şamları hər bir mühərrik üçün “közərmə ədədinə” görə seçilir. Bu tələbə əməl olunmadıqda vaxtından qabaq alışma üçün şərait yaranır. Soyutma və qidalanma sistemində yaranan nasazlıqlar (radiatorun soyutma qabiliyyətinin azalması, ventilyatorun işləməməsi və ya pis işləməsi, soyutma köynəklərində ərpən yaranması, hava təmizləyicinin zibillənməsi, mühərrikin ya çox zəngin, ya da çox kasıb qarışıqlarda işləməsi və s.) da vaxtından qabaq alışmanın səbəblərindəndir.

Vaxtından gec alışma zamanı silindrdə baş verən proseslərin xarakterini şəkl.13.6-da verilmiş qapalı indikator diaqramından aydınlaşdırmaq mümkündür. Belə ki, alışmanın gecikməsi nəticəsində



Şəkil 13.6. Vaxtından gec alışma ilə işləyən mühərrikin qapalı indikator diaqramı

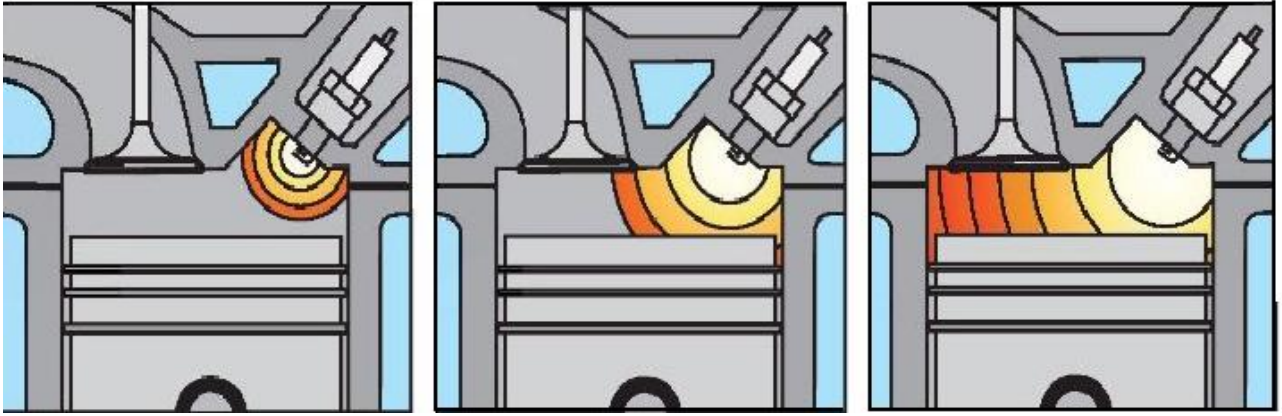
Klapan və porşen üzüklərinin hermetikliyinin pozulma halındakı alışma ilə işləyən mühərrikin silindrində baş verən proseslərin xarakteri şəkl.13.7-də göstərilmiş indikator diaqramına görə aydınlaşdırılır.



Şəkil 13.7. Klapan və porşen üzüklərinin hermetikliyinin pozulması halındakı alışma ilə işləyən mühərrikin qapalı indikator diaqramı

Alışdırma sistemi söndürülmüş halda sıxmanın təsirindən alışma. Bəzi hallarda alışdırma sistemi söndürüldükdən sonra kifayət qədər qızdırılmış vəziyyətdə olan karbüratorlu mühərrikin işi dayanmır və o öz işini boş işləmə rejimində - dirsəkli valın aşağı dövrlər sayında olmaqla davam etdirir. Mühərrikin bu cür işi böyük qeyri-stabilliklə və titrəyişlərlə müşayiət olunur. Bu cür hadisə sıxma dərəcəsi 8,5 vahiddən böyük olan karbüratorlu mühərriklərdə, sıxma prosesinin sonunda və aşağı dövrlər sayında ($n=300\div400 \text{ d} \cdot \text{q}^{-1}$) qarışıqın temperaturu və onun öz-özünə alışması üçün tələb olunan vaxt kifayət qədər olduqda baş verir. Mühərrikin sıxmanın təsirindən alışması ilə işləmək imkanının qarşısını almaq üçün alışdırma sisteminin söndürülməsi ilə eyni zamanda karbüratorun boş işləmə sistemindən yanacaq verilişini avtomatik olaraq kəsə bilən quruluşun tətbiqi tələb olunur.

Detonasiyalı yanma. Mühərrikin silindrində normal yanma prosesinin gedişi şək.13.8-də göstərilmişdir. Göründüyü kimi silindrdəki qarışıq sıxma taktının sonuna yaxın elektrik şamından verilən qığılcımın köməyi ilə alışdırılır. Yanmanın I periodunda yanma prosesinin intensivliyi müşahidə olunmur. Yalnız periodun sonunda görünən alov meydana çıxır və müəyyən qalınlığa malik alov cəbhəsi sferik olaraq silindr daxilində yayılmağa başlayır. Alov cəbhəsinin önündə hələ yanmamış təzə qarışıq, arxasında isə yanma məhsulları olur. Alov cəbhəsi silindrin cari həcmi bütünlüklə əhatə etdikdə yanma prosesi başa çatmış olur.

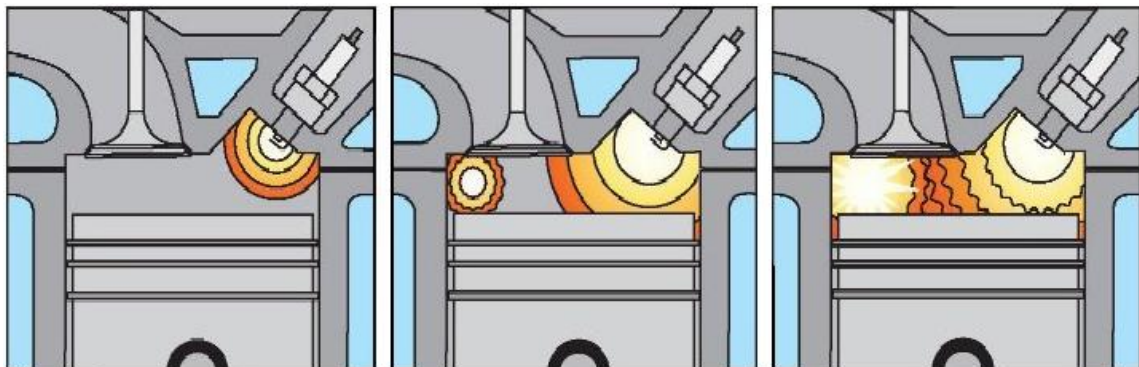


Şəkil 13.8. Normal yanma prosesinin ardıcılığı

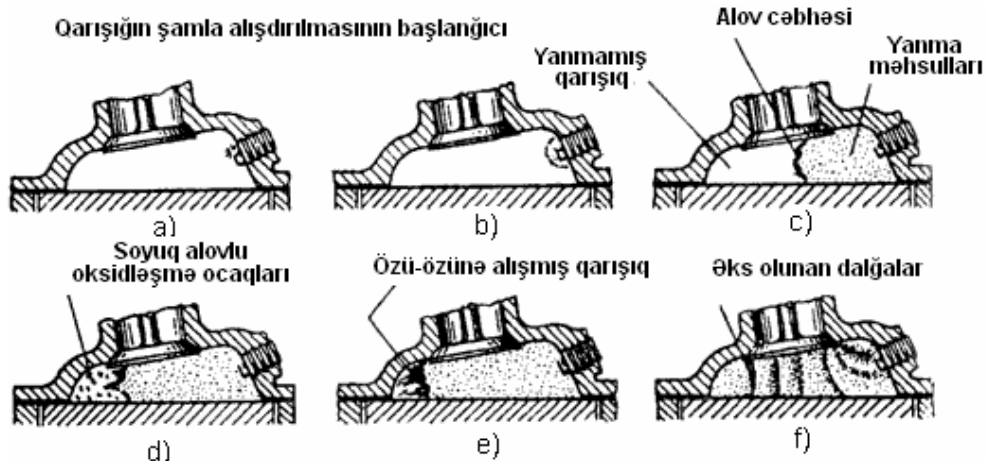
Yanma prosesinin gedişində alov cəbhəsinin ən axırda əhatə edəsi olduğu işçi qarışığın müəyyən hissəsi alov cəbhəsi və yanmanın təzyiqi tərəfindən sıxılır və nəticədə o özülüşmə temperaturundan yüksək olan temperatura qədər qızır. Buna bazmayaraq normal yanma prosesi getdikdə qarışığın hələ yanmamış porsiyasının özülüşməsi baş vermir. Səbəb isə özülüşmə prosesinin inkişafı üçün tələb olunan vaxtın çatışmaması olur. Hələ alışmamış qarışıq porsiyasının özülüşməsinin gecikmə periodu alov cəbhəsinin bu qarışıqə çata bilmə vaxtından çox kiçik olduqda və bu, son yanmamış yanacaq porsiyasında alov cəbhəsi tərəfindən sıxılma nəticəsində alışdırma mənbələrinin yaranmasına gətirib çıxarırsa, belə alışma partlayış xarakteri daşıyır. Bu zaman qarışıq üzrə zərbə dalğalarının yaranması və yayılması imkanı yaranır və bu da öz növbəsində artıq özülüşmə üçün yaxşı hazırlanmış qarışığın özülüşməsinə səbəb olur. Bu hal üçün yanma prosesinin ardıcılığı şək.13.9 və şək.13.10-da göstərilmişdir.

Məcburi alışdırılmalı mühərrikin silindrində son qarışıq porsiyalarının onlarda baş verən həcmi özülüşmədən sonra zərbə dalğalarının yaranması ilə müşayiət olunan yanması *detonasiyalı yanma* adlanır. Zərbə dalğalarının sürəti $1500 \div 3000$ m/s –yə çatır ki, bu da alovun yayılma sürətindən dəfələrlə çoxdur.

Zərbə dalğaları yanma kamerinin divarlarından əks olunduqda cingiltili metallik səslər yaranır ki, bu da detonasiyanın zahiri təzahürüdür. Detonasiya zonasında təzyiq və temperatur çox kəskin

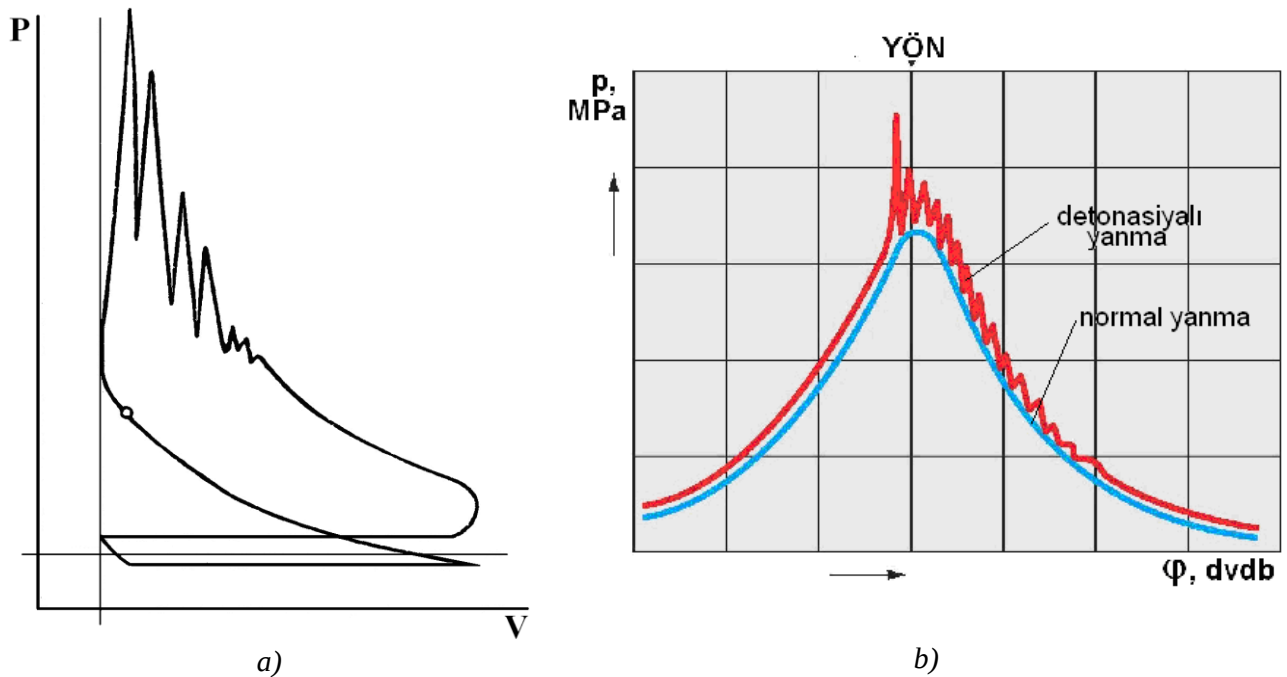


Şəkil 13.9. Detonasiyalı yanma prosesinin ardıcılığı



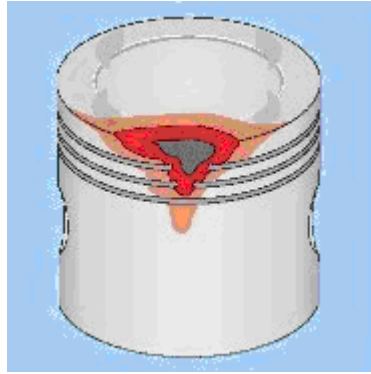
Şəkil 13.9. Detonasiyalı yanma prosesinin ardıcılığı

arta bilir. Şək.13.11-də detonasiya zamanı alınan qapalı və açıq indikator diaqramları göstərilmişdir.



Şəkil 13.11. Detonasiyalı yanma ilə işləyən mühərrikin qapalı (a) və açıq (b) indikator diaqramları

Göründüyü kimi hər iki diaqramda detonasiyalı yanma zamanı təzyiqin titrəyişləri qeydə alınır. Bu titrəyişlərin tezliyi və amplitudu detonasiyanın intensivliyindən asılı olur. Güclü detonasiya zamanı mühərrikin hissələrinin yüksək tezlikli və amplitudlu təzyiq dalğalarının təsiri ilə rəqsinin təzahürü olan kəskin metallik səslər daha ucadan eşidilir. Bu zaman həm də yanma məhsullarının dissosiasiyası artır, mühərrikin gücü azalır, yanma məhsulları qara tüstüyə bürünür. Güclü detonasiya nəticəsində porşenin təpəsinin çatlaması, şatunun əyilməsi, dirsəkli valın sınması kimi hadisələr baş verə bilər. Bundan başqa silindrlər başlığı ilə silindrlər bloku arasındakı araqaatı, habelə elektrik şamının elektrodları da yana bilər. Zərbə dalğaları silindrin üst hissəsinin daxili səthindəki yağ təbəqəsini dağıtdığından detonasiya nəticəsində silindrin bu hissəsi intensiv olaraq yeyilir. Detonasiyanın törətdiyi bəzi fəsadlar şək.13.12-də göstərilmişdir.



Şəkil 13.12. Detonasiyanın törətdiyi fəsadlardan nümunələr

Mühərrikin uzun müddət detonasiyalı yanma ilə işləməsinə yol vermək olmaz. Detonasiya məcburi alışdırma mühərrikin sıxma dərəcəsinin (ϵ) artırılmasında əsas maneədir. O bu tip mühərriklərdə üstəlik üfurmənin tətbiqini də çətinləşdirir.

Detonasiyanın qarşısının alınmasına işçi qarışığın son porsiyalarının özülüşməsinin gecikmə periodunu artıran aşağıdakı amillər köməklik göstərə bilər:

1. *Yüksək oktan ədədli yanacaqlardan istifadə olunması.* Məlumdur ki, benzin yanacağının yüngül fraksiyalarının oktan ədədi orta və ağır fraksiyalarından azdır. Hər hansı avtomobilin sürətlənməsi üçün drossel qapağının tez açılması təmin edildikdə yanacağın ağır fraksiyaları silindrə bir qədər ləngiməklə daxil olur. Bu səbəbdən sürətlənmənin əvvəlində silindrə daxil olan yanacağın oktan ədədi aşağı düşdüyündən detonasiyalı yanma baş verə bilər. Bu halda baş verən detonasiya o qədər də güclü deyilsə və tezliklə aradan qalxırsa, deməli alışdırmanın tezləşdirilməsi düzgün qurulub.

2. *Alışdırmanın tezləşdirmə bucağının kiçildilməsi.* Bu halda siklin maksimal təzyiqi və təzyiqin yüksəlmə sürəti azaldığından alov cəbhəsinin qarşısındakı qarışığın sıxılması azalır. Əgər alışdırmanın tezləşdirmə bucağının qiyməti qırıcı-paylayıcının gövdəsinin döndərilməsi ilə azaldılırsa, θ -nın qiyməti mühərrikin bütün iş rejimləri üçün azalır və bu mühərrikin qənaət göstəricilərini pisləşdirir.

3. *Detonasiya sensoru (vericisi).* Əgər detonasiya aşağı oktanlı benzinlərdən istifadə kimi təsadüfi amillərin təsiri ilə yaranırsa, onda detonasiya yaranan silindrdə qoyulmuş detonasiya sensoru avtomatik olaraq alışdırmanı tezləşdirmə bucağını detonasiya aradan qalxana qədər azaldır. Detonasiyanın yaranmasına səbəb olan amilin təsiri yox olduqda detonasiya sensoru θ -nın qiymətini avtomatik olaraq artırır. Mühərrikin detonasiyasız işlədiyi rejimlərdə detonasiya sensoru θ -nın qiymətini dəyişdirmir.

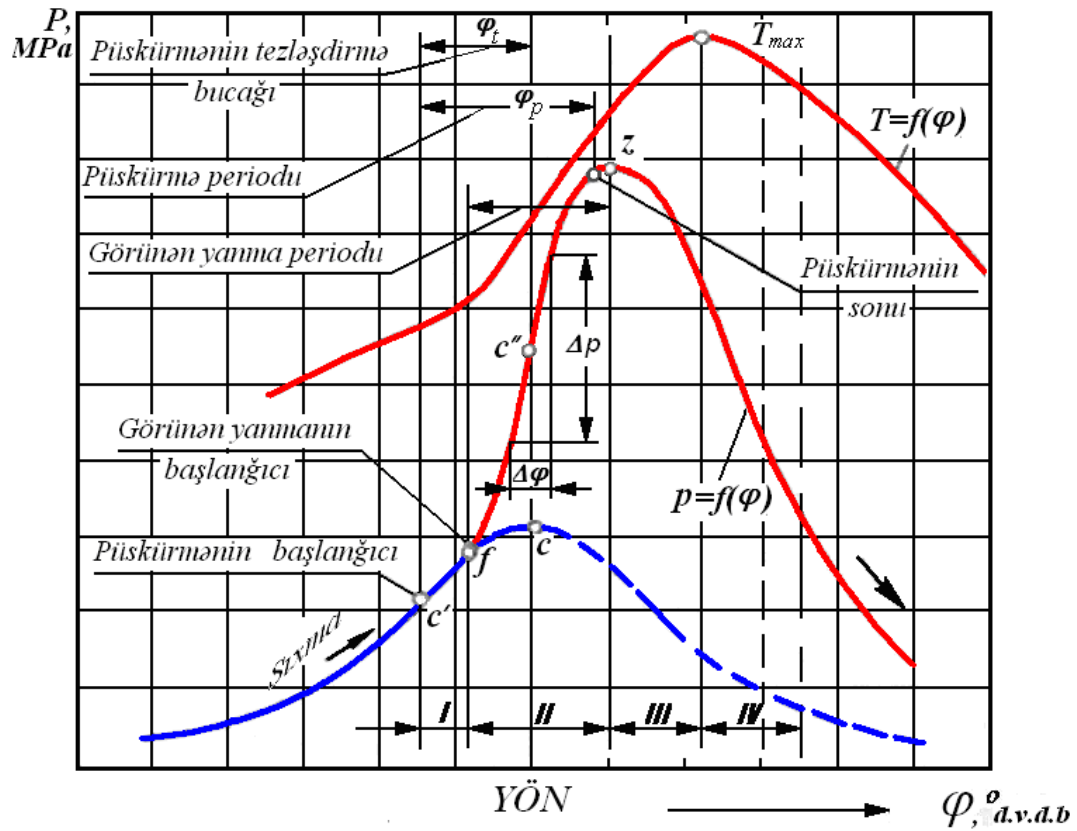
4. *Dövrələr sayının artırılması.* Mühərrikin dirsəkli valının dövrələr sayı artırıldıqda əsas alov cəbhəsinin yayılma sürəti də artdığında alov bütün yanma kamerini kifayət qədər tez əhatə edə bilər. Nəticədə yanmamış qarışıq porsiyalarında özülüşmə prosesinin inkişafı üçün çox az vaxt qalır. Digər tərəfdən də dövrələr sayının artması üzündən işçi qarışıqdakı qalıq qazların konsentrasiyası artdığından özülüşmə prosesinin intensivliyi də azalır. Göstərilən səbəblərə görə dövrələr sayı artdıqda detonasiyanın yaranma ehtimalı azalır.

5. *Mühərrikin yükü.* Drossellənmə yanma prosesi zamanı qarışığın təzyiq və temperaturunun azalması, habelə qalıq qazlar əmsalının (γ_r) artması ilə əlaqədardır. Nəticədə yükün azalması mühərrikin detonasiyaya meyilliliyinin azalmasına səbəb olur.

6. *Konstruktiv tədbirlər.* Sıxma dərəcəsinin (ϵ) azaldılması, silindrin diametrinin (D) kiçildilməsi, qarışığın turbulentliyinin gücləndirilməsi, axırncı yanacaq porsiyalarının soyudulmasının yaxşılaşdırılması, alov cəbhəsinin elektrik şamından yanma kamerinin ən uzaq hissələrinə qədər keçdiyi yolun azaldılması (məs.: hər silindrdə elektrik şamının yanma kamerinin bütün nöqtələrindən

eyni məsafədə yerləşdirilməsi və ya hər silindrdə 2, bəzən də 3 ədəd elektrik şamının qoyulması), forkamer-məşəllə alışdırmanın tətbiqi, təbəqəli qarışdırmadan istifadə olunması və s. kimi konstruktiv tədbirlər detonasiyanın yaranma ehtimalını azaldır.

Dizel mühərriklərdə yanma prosesinin indikator diaqramı üzrə təhlili



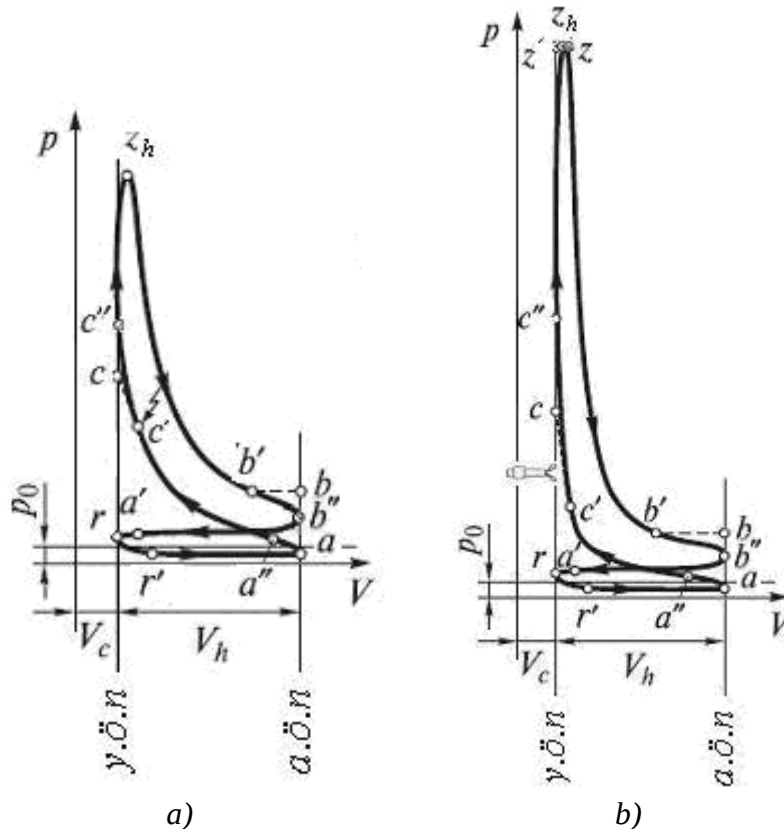
Şəkil 13.13. Dizel mühərrikinin açıq indikator diaqramı

Genişlənmə və xaric prosesləri, onların əsas parametrləri

Genişlənmə prosesi

Genişlənmə prosesi ərzində yanacaqın yanmasından alınan istilik enerjisi mexaniki işə çevrilir.

Mühərrikin silindrində təzyiqin həqiqi dəyişməsi $z_h b' b''$ xətti üzrə (şək.15.1a, b) baş verir. Genişlənmə prosesi mürəkkəb qanunauyğunluğa əsasən baş verir və onun gedişi qazlarla silindrin divarları arasındakı istilik mübadiləsindən, dissosiasiya məhsullarının bərpa olunmasından, ara boşluqlarındakı qaz itkilərindən, proses ərzində yanma məhsullarının istilik tutumunun azalmasından və s. amillərdən asılıdır.



Şəkil 15.1.

Sıxma prosesində olduğu kimi genişlənmə prosesinin hesabında da bəzi sadələşdirmələr aparmaq lazım gəlir.

Genişlənmə prosesi dəyişən n_2 göstəricisinə malik politrop üzrə baş versə də, şərti olaraq onun elə sabit orta qiyməti seçilir ki, bu zaman genişlənmə xətti üzrə görülən işlər bərabər olsun.

Genişlənmənin orta politrop göstəricisi n_2 -nin qiyməti istilikdən istifadə əmsalı ξ_z , S/D nisbəti və soyutma intensivliyi böyüdükcə artır. Silindrin əsas ölçüləri və mühərrikin yükü artdıqca n_2 kiçilir.

Təcrübələrdən məlumdur ki, n_2 bir qayda olaraq adiabat göstəricisi k_2 -dən azca kiçik qiymətlərə malik olur. Buna görə də n_2 -ni k_2 -nin qiymətini müəyyən etməklə tapmaq olar.

Genişlənmənin orta adiabat göstəricisi k_2 karbürətorlu mühərriklər üçün ε , α və T_z -in, dizellər üçün isə δ , α və T_z -in məlum qiymətlərinə görə xüsusi nomoqramlardan (şək. 15.2 və şək. 15.3) tapılır. Bu nomoqramlar:

- məcburi alışdırılmalı mühərriklər üçün:

$$k_2 = 1 + \frac{\lg T_z - \lg T_b}{\lg \varepsilon},$$

- dizellər üçün:

$$k_2 = 1 + \frac{\lg T_z - \lg T_b}{\lg \delta},$$

habelə

$$k_2 = 1 + \frac{8,315}{(mc''_V)_{t_b}^{t_z}}$$

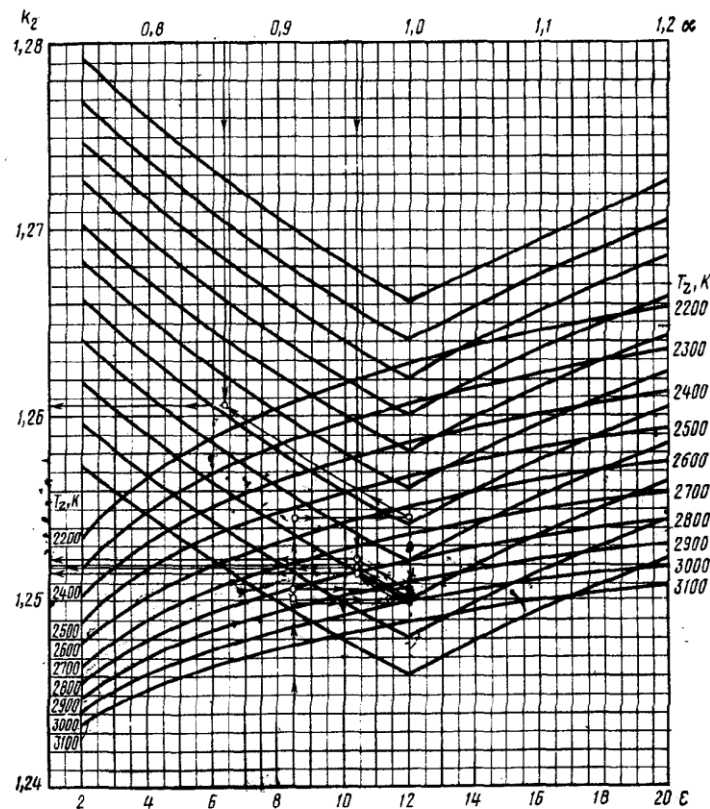
tənliliklərinin kompüterdə birgə həlli yolu ilə qurulmuşdur. Burada

$$(mc''_V)_{t_b}^{t_z} = \frac{(mc''_V)_{t_0}^{t_z} \cdot t_z - (mc''_V)_{t_0}^{t_b} \cdot t_b}{t_z - t_b}.$$

k_2 -nin nomoqramdan seçilməsinin ardıcılığı belədir. ε -nün (dizellərdə δ -nın) və T_z -in məlum qiymətlərinə görə əvvəlcə $\alpha=1$ üçün k_2 -nin qiyməti tapılır. α -nın verilmiş qiymətinə uyğun olan k_2 -ni tapmaqdan ötrü $\alpha=1$ üçün alınmış nöqtə horizontaldan $\alpha=1$ vəziyyətinə müvafiq vertikal oxa köçürülür. Sonra alınmış nöqtə köməkçi əyrilərə paralel olaraq α -nın verilmiş qiymətinə müvafiq vertikal oxa köçürülür. Alınan nöqtə horizontal üzrə k_2 oxu üzərinə köçürülür və tələb olunan k_2 -nin qiyməti götürülür. Şək. 15.2 və şək. 15.3-də k_2 -nin tapılma qaydası göstərilmişdir.

Genişlənmənin sonundakı təzyiq və temperatur politrop tənliliklərinin köməyi ilə təyin olunur:

- məcburi alışdırılmalı mühərriklər üçün:



Şəkil 15.2. Məcburi alışdırılmalı mühərriklərdə genişlənmənin k_2 adiabat göstəricisini təyin etmək üçün nomoqram

$$p_b = \frac{p_z}{\varepsilon^{n_2}}, \quad \text{MPa};$$

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2-1}}, \quad K.$$

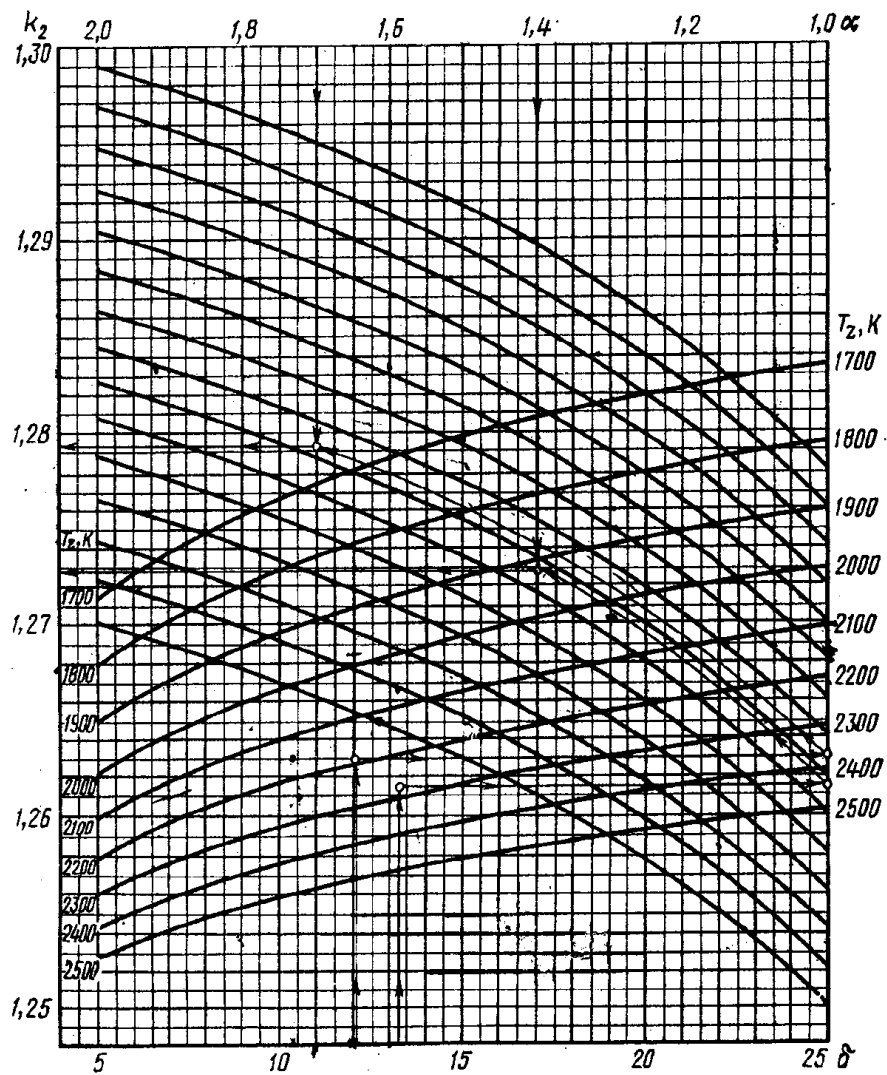
- dizellər üçün:

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}}, \quad MPa$$

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}}, \quad K,$$

burada $\delta = \varepsilon/\rho$ - sonradan genişlənmə dərəcəsidir.

Müxtəlif tip avtotraktor mühərrikləri üçün n_2 , p_b , T_b -nin mümkün qiymətlərinin hədləri xüsusi cədvəllərdə verilir.



Şəkil 15.3. Dizel mühərrikində genişlənmənin k_2 adiabat göstəricisini təyin etmək üçün nomoqram

Xaric prosesi

Xaric prosesi ərzində işlənmiş qazlar silindrdən xaric olunur.

İndikator diaqramında xaric prosesi $b b' a' r r'$ əyrisi üzrə baş verir. Buradakı b' və r' nöqtələri xaric klapanının açılma və bağlanma anlarını göstərir.

Diaqramdan göründüyü kimi xaric klapanı porşen $a.ö.n.$ vəziyyətinə çatmamış açılır. Bu genişlənmənin faydalı işini azaltsa da silindrin işlənmiş qazlardan təmizlənməsini yaxşılaşdırır və onların silindrdən qovulmasına sərf edilən işi azaldır.

Xaric klapanının porşen $y.ö.n.$ vəziyyətinə çatdıqdan sonra bağlanması isə silindrin işlənmiş qazlardan daha yaxşı təmizlənməsini təmin edir. Bu, silindrdən sürətlə çıxan qaz axınının yaratdığı eceksiya effektinin sayəsində baş verir.

Xaric prosesinin hesabı qalıq qazların temperaturunun əvvəlcədən qəbul edilmiş T_r qiymətinin dəqiqləşdirilməsindən ibarətdir

$$T_{r_l} = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}}, \quad K.$$

Alınmış T_{r_l} -lə qəbul edilmiş T_r müqayisə edilir. Buraxılmış xəta

$$\Delta = \frac{T_{r_l} - T_r}{T_r} \cdot 100 \, \%.$$

$\Delta \geq \pm 5\%$ şərtini ödəməlidir. Əks halda T_{r_l} -in qiyməti əsas götürülərək hesablamalar yenidən aparılmalıdır.

DYM-nin işçi tsiklinin indikator parametrləri

Daxili yanma mühərrikinin işçi tsiklinin əsas indikator parametrləri orta indikator təzyiqi (p_i), indikator gücü (N_i), indikator f.ə.i. (η_i) və xüsusi indikator yanacaq sərfidir (g_i).

Mühərrikin silindrində işçi tsikl ərzində təzyiqin dəyişməsinə göstərən qrafikə indikator diaqramı deyilir (şək. 4 və şək. 5). Bu diaqramın yuvarlaqlaşdırılmamış şəkildə tutduğu sahə ($aczba$) müəyyən miqyasla tsikl ərzində qazların gördüyü nəzəri hesabi işi ifadə edir. Bu işin silindrin işçi həcminə olan nisbəti isə tsiklin nəzəri orta təzyiqi p_i' adlanır.

İstiliyi $V=const$ şəraitində verilən Bo de Roşa-Otto sikli üzrə işləyən karbüratorlu və benzin püskürməli mühərriklər üçün nəzəri orta indikator təzyiqi:

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right], \quad MPa.$$

İstiliyi $V=const$ və $p=const$ şəraitində verilən Trinkler sikli ilə (qarışıq sikllə) işləyən dizellər üçün isə:

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) + \lambda(\rho - 1) \right], \quad MPa.$$

İndikator diaqramının c , z , b nöqtələrində aparılan yuvarlaqlaşdırma nəticəsində diaqramın sahəsi kiçildiyindən siklin həqiqi orta indikator təzyiqi p_i nəzəri orta indikator təzyiqi p_i' -dən kiçik alınır. Bu azalma diaqramın tamliq əmsalı ν və nasos itkilərinin orta təzyiqi Δp_i -nin köməyi ilə müəyyənəndirilir. Diaqramın tamliq əmsalı ν məcburi alısdırma mühərriklər üçün $\nu=0,94 \div 0,97$, dizellər üçün $\nu=0,92 \div 0,95$ hədlərində olur.

Sorma və xaric proseslərində nasos itkilərinin orta təzyiqi:

$$\Delta p_i = p_r - p_a, \quad MPa.$$

4-taklı üstəlik üfurməsiz mühərriklərdə Δp_i həmişə müsbət qiymətə malikdir. Üstəlik üfurməli mühərrikdə isə Δp_i həm müsbət, həm də mənfi qiymət ala bilər.

Hesablamalarda qaz mübadiləsi zamanı baş verən itkilər mexaniki itkilərə sərf edilən işin içində nəzərə alınır. Belə ki, mexaniki itkilərə sərf edilən işi adətən təcrübi yolla, yəni mühərrikin dirsəkli valını kənar təsirin köməyi ilə məcburi fırlatmaqla təyin edirlər. Bu zaman mühərrikin dirsəkli valının fırladılmasına sərf edilən işin içində nasos itkiləri də daxil olur. Bunu nəzərə alaraq həqiqi orta indikator təzyiqini belə hesablamaq olar:

$$p_i = \nu p_i', \quad MPa.$$

Yanacağın yanması nəticəsində alınan qazların silindrin daxilində vahid zamanda gördüyü işə mühərrikin indikator gücü deyilir. Avtotraktor mühərrikləri üçün indikator gücü:

$$N_i = \frac{p_i V_h \text{ in}}{30 \tau}, \quad \kappa Vt,$$

burada V_h - silindrin işçi həcmidir, l ; i - silindrlərin sayıdır; τ - taktlılıq əmsalıdır, 4-taklı mühərriklər üçün $\tau=4$, 2-taklı mühərriklər üçün $\tau=2$ götürülür.

İndikator f.ə.i. η_i həqiqi iş tsikli ərzində yanacağın yanmasından alınan istiliyin faydalı işə çevrilməsi üçün istifadə olunma dərəcəsini, indikator işinə ekvivalent olan istiliyin yanacağın aşağı yanma istiliyinə olan nisbətini göstərir, tsiklin bütün istilik itkilərini nəzərə alır və aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\eta_i = \frac{p_i l_0 \alpha}{H_u \rho_k \eta_v},$$

burada H_u - yanacağın aşağı yanma istiliyidir, MC/kq .

İndikator xüsusi yanacaq sərfi g_i mühərrikin vahid zamanda vahid indikator gücünə sərf etdiyi yanacağın miqdarını göstərir:

$$g_i = \frac{3600}{H_u \eta_i}, \quad \frac{q}{\kappa Vt \cdot \text{saat}}.$$

DYM-NIN MEXANİKİ İTKİLƏRİ VƏ EFFEKTİV GÖSTƏRİCİLƏRİ

DYM-nin mexaniki itkiləri

İndikator göstəricilərindən fərqli olaraq mühərrikin işini birbaşa xarakterizə edən parametrlərdə faydalı işin bir hissəsinin müxtəlif mexaniki müqavimətlərin dəf edilməsinə, sorma və xaric prosesinin həyata keçirilməsinə sərf olunması nəzərə alınır. Bu mexaniki itkilər adlanan parametrlərlə xarakterizə olunur. Mexaniki itkilər dedikdə mexaniki sürtünmənin bütün növlərinə, qaz mübadiləsinin həyata keçirilməsinə, köməkçi mexanizmlərin (su, yağ və yanacaq nasoslarının, ventilyatorun, generatorun və s.) hərəkətə gətirilməsinə, mühərrikin hissələrinin hava-yağ emulsiyası və hava mühitində yüksək sürətlə hərəkəti zamanı ventilyasiyaya, habelə mexaniki intiqallı kompressorlara sərf edilən itkilər nəzərdə tutulur. Bölünmüş yanma kamerli dizellərdə qarışıqın bir kamerdən digərinə keçidi zamanı baş verən qazodinamik itkilər də mexaniki itkilərə aid edilir.

İşçi siklin orta indikator təzyiqinə (p_i) analoji olaraq mühərrik nəzəriyyəsində mexaniki itkilərin orta təzyiqi adlı anlayışdan da istifadə olunur və o p_m kimi işarə edilir. Mahiyyət etibarilə mexaniki itkilərin orta təzyiqi silindrin vahid işçi həcminə düşən itkilərin sıxlıq işini xarakterizə edir:

$$p_m = p_{sür} + p_{q.m} + p_{k.m} + p_{vent} + p_{komp},$$

burada $p_{sür}$ – sürtünməyə sərf olunan təzyiq itkiləridir; $p_{q.m}$ – qaz mübadiləsinə sərf olunan təzyiq itkiləridir; $p_{k.m}$ – köməkçi mexanizmlərin hərəkətə gətirilməsinə sərf olunan təzyiq itkiləridir; p_{vent} – ventilyasiyaya sərf olunan təzyiq itkiləridir; p_{komp} – kompressorun intiqalına sərf olunan təzyiq itkiləridir.

Mexaniki itkilərin böyük bir hissəsini – təxminən 80 %-ni sürtünməyə sərf olunan itkilər təşkil edir. Bu itkilərin də 45÷55 %-i porşen-giliz və porşen üzükləri - giliz cütlərinin payına düşür. Yastıqlara sərf olunan itkilər sürtünmə itkilərinin 20 %-ə qədərini təşkil edir.

Sürtünən cütlərə təsir edən qüvvələr ətalət qüvvələrindən, qazların təzyiq qüvvələrindən və üzüklərlə yayların elastiklik qüvvələrindən ibarətdir. Mexaniki itkilərin orta təzyiqini müəyyən etmək üçün hər bir hissəyə təsir edən qüvvənin zamana görə orta qiymətinin təyin edilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Ətalət qüvvələri modulunun zamana görə orta qiyməti adətən qazların təzyiq qüvvəsinin zamana görə orta qiymətindən böyük olur. Bu 4 taktlı mühərriklərdə xüsusilə nəzərə çarpır. Baxmayaraq ki, qazların təzyiq qüvvələrinin maksimal qiyməti ətalət qüvvələrinin maksimal qiymətindən 2÷5 dəfə çox ola bilər.

N.P.Brilingin apardığı təcrübələrin nəticələrinə görə porşenin orta sürətinin $v_p = 8$ m/s qiymətində ətalət qüvvələrinin təsirindən yaranan sürtünmə itkiləri ümumi sürtünmə itkilərinin ($p_{sür}$) 75 %-ni təşkil edir. Porşen üzüklərinin elastiklik qüvvələri də sürtünmə itkilərinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Özü də bu qüvvələrin təsiri mühərrikin iş rejimindən asılı olmur. Yuxarı ölü nöqtə yaxınlığındakı çox qısa zaman intervalı ərzində qazların təzyiq qüvvələri kəskin surətdə artdığından porşen üzükləri, xüsusilə də üst kipləşdirici üzüklər gilzin səthinə sıxılır. Bu zaman porşen üzərindəki üzüyün sürəti də kiçik olduğundan sürtünmə rejimi də dəyişir. Nəticədə gilzin porşenin y.ö.n vəziyyətinə uyğun zonasında yeyilmə artır. Sürtünmənin təzyiq itkilərinə ($p_{sür}$) aşağıdakı amillər əhəmiyyətli təsir göstərir:

- mühərrikin istilik rejimi sürtkü materialının özlülüyünə ciddi təsir etdiyindən mayeli sürtünmə qüvvələrinin qiyməti istilik rejimindən asılı olaraq dəyişir;

- dövrlər sayı. Dövrlər sayının n artması ətalət qüvvələrinin və hissələrin yerdəyişməsinin nisbi sürəti artır. Eyni zamanda sürtkü yağının temperaturu da bir qədər artır, özlülüüyü isə azalır. Mayeli sürtünmə qüvvələri əsasən hissələrin yerdəyişməsinin nisbi sürətinin yüksəlməsi nəticəsində artır. Sərhəd sürtünməsi qüvvələri isə sürtünmə cütlərinə düşən yükün artması ilə dəyişir. Bir sözlə, mühərrikin dövrlər sayı n artdıqca sürtünmə itkiləri də xeyli artır.

Mühərrikin yükünün artması nəticəsində qazların təzyiq qüvvələri və hissələrin temperaturu da artır. Bu halda sürtkü yağının özlülüüyünün azalması nəticəsində mayeli sürtünmə qüvvələri də azalır. Sərhəd sürtünməsi qüvvələri isə qazların təzyiq qüvvələrinin yüksəlməsi səbəbilə artır. Təcrübələr göstərir ki, dizellərdə sürtünmə itkiləri mühərrikin yükündən nisbətən az asılı olur.

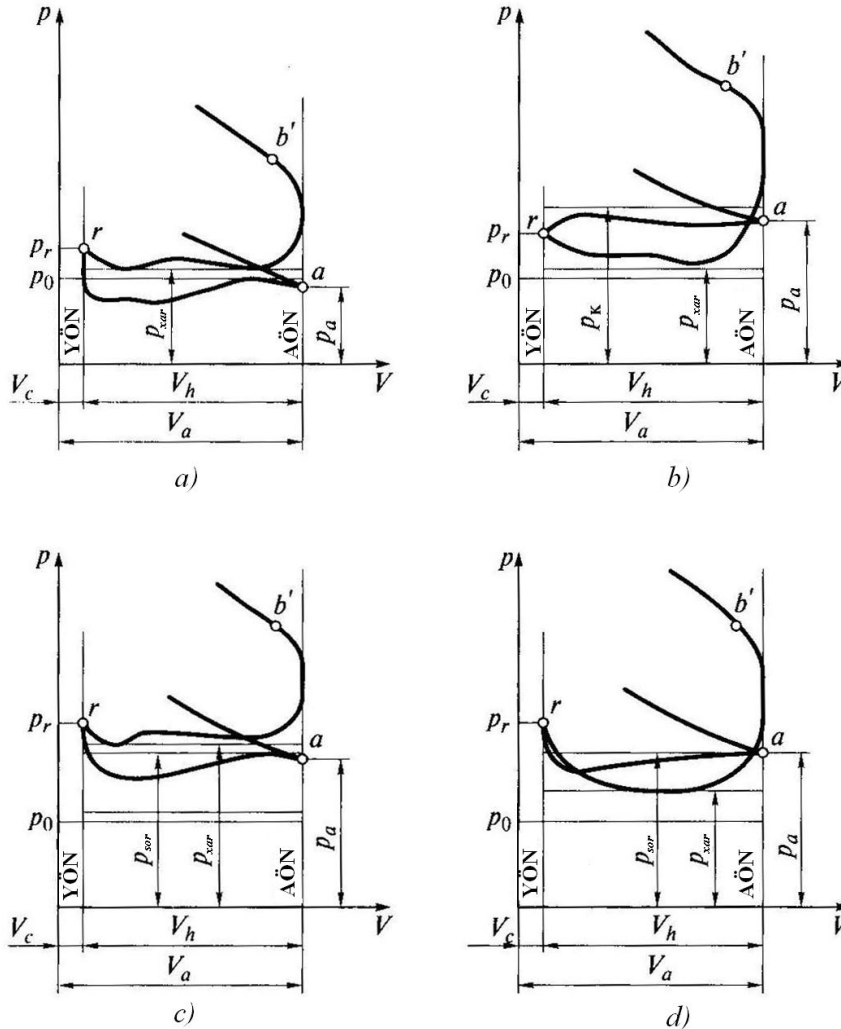
Mühərrikin istismar qaydalarına əməl olunduqda sürtünmə itkiləri əvvəlcə hissələrin uyuşması

nəticəsində azalır, az sonra isə stabilləşir.

Qaz mübadiləsinə sərf olunan təzyiq itkiləri $p_{q.m}$ sorma və xaric prosesi işlərinin qeyri-bərabər olması ilə əlaqədardır (şək.17.1). Müxtəlif amillərin $p_{q.m}$ parametrinə təsirini araşdırmaq üçün aşağıdakı ifadədən istifadə etmək mümkündür:

$$p_{q.m} = p_{xar} - p_{sor} + \Delta p_{sor} + \Delta p_{xar},$$

burada Δp_{sor} və Δp_{xar} müvafiq olaraq qaz mübadiləsi prosesləri zamanı sorma və xaric klapanlarındakı təzyiq düşkünləridir.



Şəkil 17.1. 4 taktlı daxili yanma mühərrikinin qaz mübadiləsi diaqramları:

a – üstəlik üfürməsiz mühərrik; b – mexaniki intiqallı üstəlik üfürməli mühərrik; c – qaz turbinli üstəlik üfürməli mühərrik ($p_{sor} < p_{xar}$ olduqda); d – qaz turbinli üstəlik üfürməli mühərrik ($p_{sor} > p_{xar}$ olduqda)

Qaz mübadiləsinə sərf olunan itkilərin işarəsi daxili itkilərin digər elementlərinə nisbətən əks işarəyə də malik ola bilər. Bu zaman belə itkiləri yalnız şərti olaraq itki adlandırmaq olar. Dörd taktlı mühərrikdə üstəlik üfürmə hərəkəti dirsəkli valdan alan kompressor vasitəsilə həyata keçirildikdə qaz mübadiləsi isə müsbət alınır. Qazturbinli üstəlik üfürməsi olan mühərriklərin ayrı-ayrı iş rejimlərində sorma klapanı qarşısındakı orta təzyiq (p_{sor}) xaric klapanından sonrakı təzyiq-dən (p_{xar}) yüksək olan halda da qaz mübadiləsi işi müsbət olur.

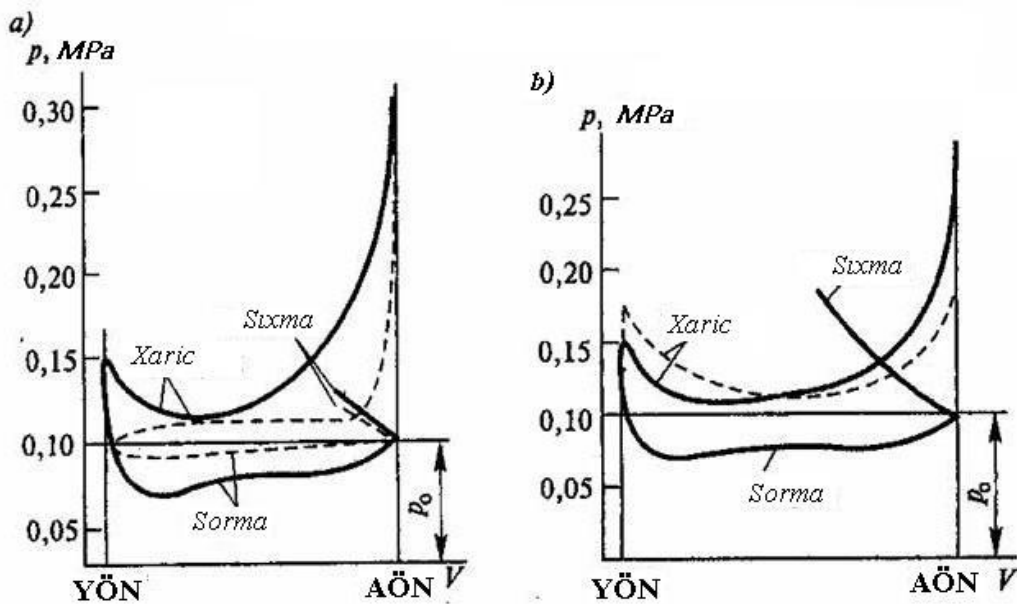
Sorma və xaric sistemlərinin qazodinamik müqaviməti, habelə bu sistemlərdəki qaz axınının sürəti yüksək olduqca qaz mübadiləsi itkiləri də artır. Mühərrikin dövrlər sayı artdıqca bütün tip mühərriklərdə qaz mübadiləsi itkiləri artır. Buna səbəb sorma işinin azalması, xaric işinin artmasıdır. Bu da sorma və xaric sistemlərindəki təzyiq düşkünlərinin yüksəlməsidir. Qaz mübadiləsi itkilərinin orta təzyiqi:

$$p_{q.m} = An^m,$$

burada A – sabit ədəddir, $m=1,7÷2,0$ üst göstəricisidir. Qazturbimli üstəlik üfurməsi olan mühərriklərdə $m>2$ olur. Çünki bu cür mühərriklərdə dövrlər sayı artdıqca silindrə doldurulan qazların və silindrdən xaric edilən işlənmiş qazların təzyiqi xeyli artır.

Məcburi alışdırılmalı mühərriklərdə qaz mübadiləsi itkiləri yük azaldıqca artır. Buna səbəb drossel qapağının getdikcə bağlanmasıdır ki, nəticədə sorma sisteminin qazodinamik müqavimətinin yüksəlməsi üzündən sorma prosesinin müsbət işi azalır.

Dizel mühərriklərində yükün müəyyən həddən aşağı düşməsi nəticəsində qaz mübadiləsi işinin artmasına da təsadüf olunur. Buna səbəb odur ki, mühərrikin aşağı yük rejimində işi zamanı xaric klapanının açılmağa başladığı anda silindrdəki təzyiq az olduğundan işlənmiş qazların özbaşına xaric edilməsi periodu ərzində bu qazların şəkildə silindrdən qovulması effektiv şəkildə alınmır və müvafiq olaraq silindrdəki işlənmiş qazların miqdarı və təzyiqinin azalması yavaşdır. Bu həmçinin xaric prosesinin ejeksiya effektini də azaldır. Nəticədə xaric prosesinin sonunda silindrdəki təzyiq artır – işlənmiş qazların əlavə sıxılması müşahidə olunur (şək.17.2)



Şəkil 17.2. Üstəlik üfurməli dizelin müxtəlif dövrlər sayında (a) və yük rejimində (b) nasos gedişinin diaqramları:

$a - n=2100 \text{ dəq}^{-1}$ (-----), $n=1100 \text{ dəq}^{-1}$ (- - - -);
 $b - \text{böyük yük rejimi}$ (-----), kiçik yük rejimi (- - - -)

Üstəlik üfurməsiz və ya üstəlik üfurməsi mexaniki intiqallı üfurmə aqreqatı ilə həyata keçirilən dizellərdə qaz mübadiləsi itkiləri yük rejimindən asılı olaraq nisbətən az dəyişir. Qazturbimli üstəlik üfurməli dizellərdə isə qaz mübadiləsi itkiləri üfurmə sisteminin tipindən və turbokompressorların xarakteristikasından, qaz mübadiləsi fazalarından asılı olaraq yük rejiminin dəyişməsilə əlaqədar həm arta, həm də azala bilər.

Yüksək dövrlər sayına malik qazturbimli üstəlik üfurməli dizellərdə qaz mübadiləsi itkilərinin orta təzyiqi mexaniki itkilərin orta təzyiqinin təxminən 25 %-nə qədərini təşkil edir. Bu qaz turbininin xaric sistemində qoyulması nəticəsində xaric qazların “qovulma” işinin artması ilə əlaqədardır.

Ventilyasiya itkiləri mexaniki itkilərin digər elementləri ilə müqayisədə kifayət qədər kiçikdir və onlar mühərrikin dövrlər sayından asılıdır. Belə ki, dövrlər sayı artdıqca ventilyasiya itkiləri də artır:

$$p_{vent}=A_1 n^2,$$

burada A_1 – sabit ədəddir.

Köməkçi mexanizmlərin hərəkətə gətirilməsinə sərf olunan təzyiq itkiləri də əsasən mühərrikin dövrlər sayından asılı olur:

$$p_{k.m}=A_2 n^2,$$

burada A_2 – sabit ədəddir. Köməkçi mexanizmlərin hərəkətə gətirilməsinə sərf olunan təzyiq itkiləri mühərrikin yükündən demək olar ki, asılı olmur. Adətən bu təzyiq itkiləri $p_{k.m} = (0,05 \div 0,10)p_m$ hədlərində olur.

p_m –in tərkib elementlərinin hamısı mühərrikin dövrlər sayı və ya onunla mütənasib olan porşenin orta sürəti v_{por} yüksəldikcə böyüyür. Bu səbəbdən də mexaniki itkilərin orta təzyiqi (p_m) nəinki mühərrikin dövrlər sayının, həm də porşenin gedişinin (S) funksiyası kimi ifadə olunur. Habelə $p_{q.m} = f(v_{por})$ funksional asılılığı da məntiqəuyğundur. Belə ki, qazların sorma və xaric traktlarındakı axın sürəti də dövrlər sayından yox, məhz porşenin sürətindən asılı olur. Üstəlik üfurməsiz mühərriklərdə p_m –in yük rejimindən asılılığı çox kiçik olduğundan hesablamalarda nəzərə alınmır. Sürtünmə itkiləri $p_{sür}$ porşenin orta sürətinin birinci tərtibi ilə, qaz mübadiləsi $p_{q.m}$, ventilyasiya itkiləri p_{vent} və köməkçi mexanizmlərin intiqal itkiləri $p_{k.m}$ isə porşenin orta sürətinin ikinci tərtibi ilə mütənasib olaraq dəyişir. Bu səbəbdən üstəlik üfurməsiz (yəni atmosfer) mühərriklərin mexaniki itkilərinin orta təzyiqinin mühərrikin sürət rejimindən asılılığı ümumi şəkildə aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər:

$$p_m = a + bv_{por} + cv_{por}^2.$$

Mexaniki itkilərin əsas hissəsini porşenin orta sürətinin birinci tərtibi ilə mütənasib olan sürtünmə itkiləri təşkil etdiyindən p_m –in empirik asılılığını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$p_m = a + bv_{por}.$$

a və b əmsallarının qiymətləri mühərrikin tipindən, konstruksiyasından, konstruktiv ölçülərindən, silindrlərinin sayından və istilik vəziyyətindən asılıdır. Silindrlərin sayı artdıqda bir silindrin payına düşən yastıqların sayı azaldığından p_{vent} və $p_{k.m}$ də azalır. Bu səbəbdən a və b əmsallarının da qiymətləri kiçildiyindən p_m –in qiymətləri də azalır.

S/D nisbətini dəyişmədən işçi həcmi böyüməsi nəticəsində p_m –in də artımı aşağıdakı səbəblərlə bağlıdır:

- porşen üzükələrinin sayı və hündürlüyü eyni olduqda üzükələri gilizin səthinə sıxan qazların təzyiq qüvvəsi silindrin diametri D -yə, porşenin təpə səthinin sahəsi isə D^2 -na mütənasib olaraq artır. p_m isə porşenin təpə səthinin vahid sahəsinə düşən qazların təzyiq qüvvəsi olduğundan mexaniki itkilərin orta təzyiqi də aşağı düşür;

- xüsusi ətalət qüvvələri (p_j) azalır;
- köməkçi mexanizmlərin hərəkətinə sərf olunan itkilərin orta təzyiqi $p_{k.m}$ azalır.

Mexaniki intiqallı üfurmə aqreqatı (kompresor) olan mühərrikdə sorma klapanı qarşısındakı təzyiqin (p_{sor}) artması ilə qaz mübadiləsinə sərf edilən itkilərin ($p_{q.m}$) azalması sürtünmə itkilərinin ($p_{sür}$) artımının üstələdikdə onların cəmi ($p_{sür} + p_{q.m}$) üfurmə təzyiqi p_k yüksəldikcə azalır. Lakin bu zaman üfurmə aqreqatının intiqalına sərf edilən itkilərin orta təzyiqi p_{komp} artır. Qazturbinli üstəlik üfurmənin tətbiqi zamanı isə sürtünmə ($p_{sür}$) və qaz mübadiləsi ($p_{q.m}$) itkiləri artdığından mexaniki itkilərin orta təzyiqi p_m də artır

Müxtəlif tip və konstruksiyaya malik mühərriklər üçün p_m aşağıdakı empirik empirik tənliklərin köməyi ilə hesablanır:

- $i \leq 6$ və $S/D > 1$ olan benzin mühərrikləri üçün:

$$p_m = 0,049 + 0,0152v_{por}, \text{ MPa}$$

- $i = 8$ və $S/D < 1$ olan benzin mühərrikləri üçün:

$$p_m = 0,039 + 0,0132v_{por}, \text{ MPa}$$

- $i \leq 6$ və $S/D \leq 1$ olan benzin mühərrikləri üçün:

$$p_m = 0,034 + 0,0113v_{por}, \text{ MPa}$$

- birkamerli 4-taktlı dizellər üçün:

$$p_m = 0,089 + 0,0118v_{por}, \text{ MPa}$$

- ön kamerli dizellər üçün:

$$p_m = 0,103 + 0,0153v_{por}, \text{ MPa}$$

- burulğan kamerli dizellər üçün:

$$p_m = 0,089 + 0,0135v_{por}, \text{ MPa}$$

Ən müxtəlif müqavimətlərin (müxtəlif mexanizmlərdə yaranan sürtünmələr, qaz mübadiləsi, köməkçi mexanizm və aqreqlərin hərəkətə gətirilməsi və s.) dəf edilməsinə sərf olunan güc mexaniki itkilərin gücü N_m adlı parametrlə ifadə edilir:

$$N_m = \frac{p_m V_l n}{30\tau}, \text{ kVt},$$

burada V_l – mühərrikin litrajı, l ; n – dövrlər sayı, $d\partial q^{-1}$; τ - taktlılıq əmsalındır.

DYM-nin effektiv göstəriciləri

Mühərrikin dirsəkli valından götürülərək faydalı işə sərf olunan işini xarakterizə edən parametrlərə mühərrikin effektiv göstəriciləri deyilir. Məhz valdan götürülən iş naminə daxili yanma mühərrikləri layihə edilir və yaradılır. Mühərrikin effektiv göstəriciləri sırasına bir sıra parametrlər daxildir. Onlardan ən mühümləri mühərrikin effektiv gücü N_e , effektiv burucu momenti M_e , effektiv orta təzyiqi p_e , xüsusi effektiv yanacaq sərfi g_e və effektiv faydalı iş əmsalındır η_e .

Mühərrikin sikl ərzindəki faydalı və yaxud effektiv işi

$$L_e = L_i - L_m,$$

burada L_i – mühərrikin sikl ərzindəki indikator işidir; L_m – mexaniki itkilərə sərf olunan işdir.

Göstərilən ifadənin hər bir həddini silindrin işçi həcminə böldükdə

$$\frac{L_e}{V_h} = \frac{L_i}{V_h} - \frac{L_m}{V_h},$$

mühərrikin orta effektiv təzyiqi alınır:

$$p_e = p_i - p_m.$$

Deməli, bir işçi sikl ərzində mühərrikin silindrinin vahid işçi həcmindən alınan faydalı iş mühərrikin orta effektiv təzyiqi adlanır.

Mühərrikin dirsəkli valında vahid zamanda alınan faydalı işə effektiv güc deyilir. Effektiv güc N_e aşağıdakı ifadələrdən tapılır:

$$N_e = N_i - N_m$$

və ya

$$N_e = \frac{p_e V_h i n}{30\tau}$$

Effektiv güclə mühərrikin əsas parametrləri arasında aşağıdakı asılılıq da mövcuddur:

$$N_e = \frac{V_h i n}{30\tau} \cdot \frac{H_u}{\alpha l_0} \rho_k \eta_v \eta_i \eta_m, \quad \kappa Vt.$$

Mühərrikin effektiv burucu momenti aşağıdakı kimi tapılır:

$$p_e \cdot \frac{1000 V_h i}{\pi \tau} = p_i \cdot \frac{1000 V_h i}{\pi \tau} - p_m \cdot \frac{1000 V_h i}{\pi \tau},$$

buradan

$$M_e = M_i - M_m,$$

burada M_m – mexaniki itkilərin momentidir.

Siklin effektiv işinin indikator işinə və ya orta effektiv təzyiqin orta indikator təzyiqinə olan nisbəti mühərrikin mexaniki f.i.ə. η_m adlanır və belə hesablanır:

$$\eta_m = L_e / L_i = p_e / p_i \text{ və ya}$$

$$\eta_m = M_e / M_i = N_e / N_i.$$

Buradan

$$\eta_m = p_e / p_i = (p_i - p_m) / p_i = 1 - p_m / p_i.$$

Sürtünməyə və köməkçi mexanizmlərin hərəkətə gətirilməsinə sərf edilən itkilər azaldıqca mexaniki itkilərin f.i.ə. η_m artır.

Mühərrikdə yandırılan yanacağın enerjisindən effektiv güc almaq üçün nə dərəcədə istifadə olunduğunu xarakterizə edən parametr effektiv faydalı iş əmsalı η_e adlanır. η_e aşağıdakı kimi tapılır:

$$\eta_e = \frac{L_e}{V_{sikl} \rho_y H_u} = \frac{p_e V_h}{V_{sikl} \rho_y H_u} = \frac{p_i V_h \eta_m}{V_{sikl} \rho_y H_u} = \frac{L_i \eta_m}{V_{sikl} \rho_y H_u} = \eta_i \eta_m$$

Effektiv f.i.ə. η_e və effektiv xüsusi yanacaq sərfi g_e mühərrikin qənaətli işini xarakterizə edən parametrlərdir.

Effektiv f.i.ə. η_e aşağıdakı düsturla da təyin edilir:

$$\eta_e = \frac{p_e}{\rho_k \eta_v} \cdot \frac{\alpha L_0}{H_u}.$$

Vahid zaman ərzində vahid effektiv gücün alınmasına sərf edilən yanacaq miqdarı effektiv xüsusi yanacaq sərfi adlanır, g_e ilə işarə olunur və aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$g_e = \frac{3600}{H_u \eta_e}.$$

Yuxarıdakı düsturlardan görünür ki, mühərrik yüksək səmərəli və qənaətli işinin təmin olunması üçün p_i və η_i kimi parametrlərin yüksək qiymət alması kifayət deyil. Mühərrikin mexaniki itkilərinin, o cümlədən üstəlik üfurmə aqreqatı olan mexaniki intiqallı kompressorun hərəkətə gətirilməsinə sərf edilən itkilər də kiçik olmalıdır.

1 kq ətraf mühit havasının kompressorda sıxılıb vurulmasına sərf olunan həqiqi iş

$$l_k = (RT_0 / \eta_{ad} [k / (k - 1)] [\pi_k^{(k-1)/k} - 1]),$$

burada $\pi_k = p_k / p_0$ – kompressorda təzyiqin yüksəlmə dərəcəsidir; η_{ad} – kompressorun adiabat f.i.ə-dır, o adiabat sıxılma işinin kompressorda havanın sıxılıb vurulmasına sərf olunan həqiqi işə olan nisbətində bərabər olur. Bu əmsal kompressorda qaz mübadiləsi və itkilərin olmasını nəzərə alır. Kompressor intiqalına sərf edilən güc:

$$N_k = l_k G_{s,h} / \eta_{m,k},$$

burada $G_{s,h}$ – kompressorun saniyəlik hava verişidir; $\eta_{m,k}$ – kompressorun mexaniki f.i.ə -dır.

Beləliklə, yuxarıdakı ifadələri nəzərə alaraq mühərrikin effektiv göstəriciləri üçün aşağıdakıları yazmaq olar:

$$\begin{aligned} N_e &= N_i \eta_m = \frac{p_i V_h i n}{30 \tau} \eta_m = \frac{H_u \eta_i}{l_0 \alpha} \eta_v \rho_{0(k)} \frac{i V_h n}{30 \tau} \eta_m \\ M_e &= M_i \eta_m = \frac{1000}{\pi \tau} V_h i p_i \cdot \eta_m = \frac{1000}{\pi \tau} V_h i \frac{H_u \eta_i}{l_0 \alpha} \eta_v \rho_{0(k)} \eta_m \\ p_e &= p_i \eta_m = (H_u / l_0) (\eta_i / \alpha) \eta_v \rho_{0(k)} \eta_m \\ \eta_e &= \eta_i \cdot \eta_m \end{aligned}$$

Müxtəlif amillərin mühərrikin effektiv göstəricilərinə təsiri

Mühərrikin effektiv göstəricilərindən hər birinin qiyməti müvafiq indikator göstəricilərinə və mexaniki f.i.ə-na görə müəyyən edilir. p_i və η_i kimi göstəricilərin yükləndilməsi yollarına əvvəki mövzuda diqqət yetilmişdir. Mexaniki itkilərin orta təzyiqi p_m –in qiymətini isə aşağıdakıların hesabına azaltmaq olar:

- mühərrikin işinin istilik rejiminin düzgün seçilməsi və istismar prosesində bu rejimə əməl edilməsi;

- mühərrikin və onun aqreqatlarının optimal olaraq konstruksiya edilməsi.

Sorma və xaric sistemlərinin konstruksiyasının və ölçülərinin düzgün olaraq seçilməsi qaz mübadiləsinə sərf olunan itkiləri minimuma endirir. İstismar zamanı da bu sistemlərin müqaviməti dəyişməməlidir. Sürtünən cütlərin səthləri etibarlı mayeli sürtünməni təmin edən səviyyədə olmaqla bərabər sürtünmə itkilərinin minimal həddə olmasını təmin etməlidir. Porşen üzüklərinin sayı da imkan daxilində az olmalıdır. Etibarlı mayeli sürtünmənin və minimal mexaniki itkilərin təmin edilməsi üçün mühərrik hissələrinin forma və sərtliyinin düzgün seçilməsi, onların emalı zamanı texniki şərtlərə əməl olunması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Ventilator, su və yağ nasosları kimi köməkçi aqreqatların kon-

struksiyasının, ölçülərinin və dövrlər sayının optimallaşdırılması da vacib şərtidir;

- sürtünən cütlərin yağlanması yaxşılaşdırın və sürtünmə itkilərini azaldan hissə materallarının və onların rəşional emal texnologiyasının seçilməsi;

- sürtkü yağının düzgün seçilməsi. Bu zaman etibarlı mayeli sürtünməni, mühərrik aqreqatlarının uzunmüddətli istismarını, mümkün qədər uzun dəyişmə müddətini təmin edə bilən, mümkün qədər az özlülüyə malik sürtkü yağının seçilməsinə çalışılmalıdır;

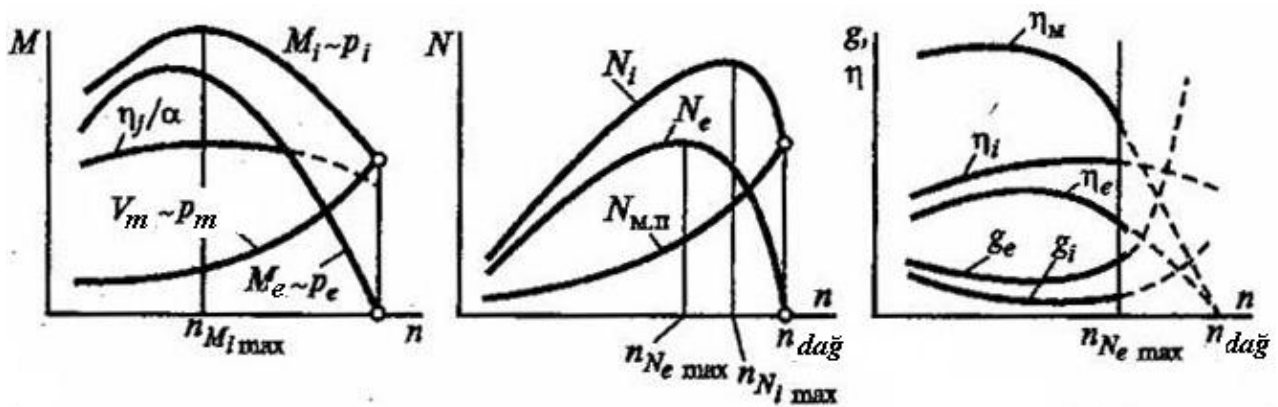
- dizəllərdə bölünmüş yanma kamerlərindən imtina edilib bütöv yanma kamerlərinə keçilməsi. Bu halda qarışıqın kamein bir həcmindən digərinə axını zamanı yaranan itkilər olmadığından mexaniki itkilər azalması təmin olunur.

Mühərrikdə üstəlik üfürmənin, xüsusilə də qazturbini üstəlik üfürmənin tətbiqi nəticəsində mexaniki f.i.ə η_m artır. Buna səbəb isə mexaniki itkilərin orta təzyiqinin (p_m) orta indikator təzyiqinə (p_i) nisbətən daha az artmasıdır. Məhz bu orta effektiv təzyiqin p_i –yə nəzərən daha yüksək artımını təmin edir. Nəticədə η_m –in artımı effektiv f.i.ə-nin yüksəlməsinə səbəb olur. Hətta üstəlik üfürmə zamanı η_i –nin nisbətən azalması da η_e –nin artımına mane olmur.

Qazturbini üstəlik üfürməli mühərriklərdə turbokompresorun f.i.ə artdıqca mühərrikin qaz mübadiləsi itkiləri azalır.

Mühərrikin yükü azaldıqca η_m də azalır. Buna səbəb odur ki, mühərrikin yükü azaldıqca p_m çox kiçik həddə dəyişir, p_i –nin azalması isə təbii ki, daha çox olur. Yük azaldıqca η_m –in azalması daha çox məcburi alışdırılmalı mühərriklərdə baş verir. Səbəb qaz mübadiləsi itkilərinin artmasıdır. Mühərrik boş işlədikdə isə $p_i = p_m$ olduğundan $\eta_m = 0$ olur. Mühərrikin dövrlər sayı artdıqca p_m artdığından η_m də azalır.

Mühərrikin indikator və effektiv göstəricilərinin onun dövrlər sayından asılı olaraq dəyişmə xarakteri şəkl.17.3-də göstərilmişdir. Dövrlər sayı artdıqca η_m azaldığından p_e və η_e –nin maksimal qiymətləri n –nin p_i və η_i –nin maksimal qiymətlər aldığı qiymətlərindən aşağı qiymətlərində alınır.



Şəkil 17.3. Mühərrikin indikator, effektiv göstəricilərinin və mexaniki itkiləri xarakterizə edən parametrlərinin dövrlər sayından asılılığı

İkitaktlı mühərriklərdə nasos itkiləri yoxdur, lakin əvəzində mühərrikin silindrinin üfürülməsi, doldurulması və təmizlənməsini təmin edən kompressorun hərəkə gətirilməsinə sərf edilən itkilər mövcuddur. İkitaktlı mühərriklərdə köməkçi taktlar olmadığından sürtünmə itkiləri dördtaktlı mühərriklərə nisbətən azdır. Lakin eyni zamanda bu mühərriklərdə orta indikator təzyiqi p_i də kiçik olur. Bu mühərriklərdə η_m –in qiymətlərinə ən çox təsir edən də p_i –nin kiçik qiymətləri və kompressor intiqalın sərf olunan itkilərdir.

Bu səbəbdən ikitaktlı mühərriklərdə mexaniki f.i.ə-nin qiymətləri dördtaktlılara nisbətən bir qədər az olur.

Aşağıdakı cədvəldə avtotraktor mühərriklərinin nominal rejimdəki effektiv göstəricilərinin qiymətləri göstərilmişdir.

Mühərrikin tipi	η_m	η_e	g_e , q/(kVt·saat)	p_e , MPa
4 taktlı, məcburi alışdırılmalı mühərriklər:				
- üstəlik üfurməsiz	0,80÷0,85	0,27÷0,38	215÷303	1,1÷1,3
- üstəlik üfurməli	0,80÷0,90	0,25÷0,32	256÷327	1,4÷1,6
4 taktlı dizel mühərrikləri:				
- üstəlik üfurməsiz	0,70÷0,80	0,36÷0,42	202÷235	0,65÷0,8
- üstəlik üfurməli	0,78÷0,88	0,38÷0,45	188÷223	1,8-ə qədər
2 taktlı dizel mühərrikləri	0,70÷0,85	0,33÷0,38	223÷257	0,5÷0,75

MÜHƏRRIKIN ƏSAS KONSTRUKTIV ÖLÇÜLƏRİNİN TƏYİNİ, ONLARIN MÜQAYISƏ PARAMETRLƏRİ

Mühərrikin istilik hesabı

Mühərrikin əsas ölçülərini tapmaq və onun hissələrinə təsir edən qüvvələri müəyyən etmək üçün istilik hesabından istifadə olunur. İstilik hesabında mühərrikin həqiqi (real) siklinin göstəriciləri təyin edilir, onun indikator və effektiv təzyiqi hesablanır.

Yeni layihə edilən mühərrikin istilik hesabı aparılarkən eyni tipli, yəni oxşar mühərriklərdə alınan real parametrlərə istinad etməyin əhəmiyyəti böyükdür. Belə ki, hesablamalarda qəbul edilməsi tələb olunan parametrlərin düzgün seçilməsi alınan nəticələrin həqiqətə daha uyğun olmasını təmin edir.

Mühərrikin əsas ölçülərinin tapılması

Silindrin diametri D və porşenin gedişi S mühərrikin əsas konstruktiv ölçüləri hesab olunur. Bu ölçülər silindrin işçi həcmi və bütövlükdə mühərrikin litrajını müəyyən etməyə imkan verir.

Mühərriki effektiv gücü N_e əvvəlcədən verildikdə və S/D nisbəti seçildikdə mühərrikin əsas konstruktiv ölçüləri olan silindrin diametri D və porşenin gedişi S aşağıdakı ardıcılıqla tapılır.

Mühərrikin litrajı, yəni onun bütün silindrlərinin işçi həcmələrinin cəmi:

$$V_l = \frac{30\tau N_e}{p_e n}, \quad l \quad \text{olur.}$$

Onda silindrin işçi həcmi:

$$V_h = \frac{V_l}{i}, \quad l \quad \text{olar.}$$

Silindrin diametri:

$$D = 100 \sqrt[3]{\frac{4V_h}{\pi \frac{S}{D}}}, \quad \text{mm.}$$

Porşenin gedişi:

$$S = D \cdot S/D, \quad \text{mm.}$$

Silindrin diametrinin və porşenin gedişinin tapılmış qiymətləri tam ədədə və onluq kəsrin vergüldən sonrakı birinci və ya ikinci rəqəminə qədər yuvarlaqlaşdırılır, daha sonra isə S/D nisbəti dəqiqləşdirilir.

Sonra porşenin orta sürətinin əvvəlcədən qəbul edilmiş qiyməti yoxlanılır:

$$v_{por} = \frac{S \cdot n}{3 \cdot 10^4}, \quad \text{m/s.}$$

Tapılmış qiymətlə qəbul edilmiş qiymət arasındakı fərq $\pm 5\%$ -dən çox olmamalıdır.

S və D -nin mm -lə alınmış yuvarlaq qiymətlərinə görə mühərrikin əsas göstəriciləri yenidən dəqiqləşdirilir:

- litraj:

$$V_l = \frac{\pi D^2 S i}{4 \cdot 10^6}, \quad l;$$

- effektiv güc:

$$N_e = \frac{p_e V_h n}{30\tau}, \quad \kappa V_t;$$

- effektiv burucu moment:

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n}, \quad N \cdot m;$$

- saatlıq yanacaq sərfi:

$$G_j = 10^{-3} \cdot N_e g_e, \quad \text{kg / saat}.$$

Mühərrikin ölçülərini hesablayarkən rəhbər tutulan mülahizələr

Mühərrikin tipinin seçilməsi. Yerüstü nəqliyyat vasitələrində, digər hərəkət edən mexanizmlərdə və stasionar qurğularda energetik-güc qurğusu qismində həm məcburi alışdırılmalı, həm də dizel mühərriklərindən istifadə etmək olar. Məcburi alışdırılmalı mühərriklərə karbüratorlu və qaz mühərrikləri, yüngül yanacaq sorma borusuna mərkəzi və fazalar üzrə paylanmış püskürməli mühərriklər, habelə yüngül yanacaq birbaşa silindrə püskürməli mühərriklər aid edilir. Bu tip mühərriklər sırasına həmçinin forkamer-məşəllə alışdırılmalı karbüratorlu və yüngül yanacaq püskürməli mühərriklər də daxildir.

Məcburi alışdırılmalı mühərriklər içərisində konstruktiv cəhətdən ən sadəsi karbüratorlu mühərriklərdir. Onun konstruktiv hissələrinin ümumi sayı digər tip mühərriklərin, xüsusilə yanacaq püskürməli və dizel mühərriklərinə nisbətən 2÷3 dəfə azdır. Bu tip mühərriklərin istehsal, istismar və təmir xərcləri də digər mühərriklərə nisbətən xeyli aşağıdır, uzunömürlülüüyü isə onlarla müqayisə olunan dərəcədədir. Karbüratorlu mühərriklərdən yaxın zamanlara qədər ən müxtəlif yerüstü nəqliyyat vasitələrində və stasionar qurğularda istifadə olunub. Müəyyən zaman intervalında forkamer-məşəllə alışdırılmalı karbüratorlu mühərriklər də mühərriqayırma sənayesində özünəməxsus yerdə qərarlaşırdı. Lakin müasir dövrdə energetik-güc qurğularının texniki-iqtisadi və ekoloji göstəricilərinə göstərilən sərt tələblər ödənilmədiyində bu tip mühərriklər tarixin arxivinə qovuşmaqdadır. Hazırda dünya üzrə belə konstruksiyaya malik mühərriklərin istehsalı demək olar ki, tamamilə dayandırılıb. Onların yerinə müxtəlif tipli benzin püskürməli və dizel mühərriklərindən istifadə çox münasib sayılır. Benzin püskürməli mühərriklərdən əsas etibarilə ən müxtəlif sinifdən olan minik avtomobillərində, habelə kiçik gücə malik stasionar qurğularda istifadə olunur. Dizel mühərriklərinin tətbiq sahəsi isə daha genişdir. Onlardan ən müxtəlif tipli yerüstü nəqliyyat vasitələrində (avtomobil, dəmir yol, su nəqliyyatı vasitələrində), sənaye, yol, kənd və meşə təsərrüfatı qurğu və mexanizmlərində, habelə ən müxtəlif təyinatlı stasionar qurğularda istifadə olunur. Hal-hazırda dizel mühərrikləri güc, qənaət və əksər ekoloji göstəricilər üzrə bütün qalan tip mühərrikləri üstələməkdədir. Onların məcburi alışdırılmalı mühərriklərdən geri qaldığı istiqamətlər yalnız litr gücü və səs-küy səviyyəsi istiqamətləridir.

Qaz mühərriklərindən də xüsusilə avtomobil nəqliyyatında kifayət qədər geniş istifadə olunur.

Taktların sayı. 2 taktlı mühərrikdə iş siklinin baş vermə intensivliyi 4 taktlı mühərrikdəkindən iki dəfə yüksəkdir. Nəzəri olaraq onlarda güc iki dəfə yüksək olmalıdır. Lakin təcrübələr göstərir ki, eyni konstruktiv ölçülərə və sürət rejiminə malik 2 taktlı mühərrikin gücü 4 taktlı mühərrikin gücündən yalnız 1,5÷1,7 dəfə artıq ola bilər. Əsas səbəb isə 2 taktlı mühərrikin işçi həcmindən tam istifadə oluna bilməməsidir. 2 taktlı mühərriklər 4 taktlılara nisbətən daha yığcam və yüngül olur. Lakin xüsusilə 2 taktlı, karbüratorlu mühərriklərdə müəyyən yanacaq itkilərinə yol verildiyindən onların xüsusi yanacaq sərfi eyni tipli 4 taktlı mühərrikdəkindən çox olur. Bu səbəbdən son zamanlara qədər 2 taktlı karbüratorlu mühərriklərdən yalnız bəzi moped, motosikl, motorlu qayıq və kiçik gücə malik stasionar qurğularda istifadə olunurdu. Lakin son zamanlar bu tip mühərriklərdə müxtəlif benzin püskürmə sistemlərinin tətbiqi yuxarıda sadalanan mənfə cəhətlərin aradan qaldırılmasına imkan yaradır və belə mühərriklərdə daha geniş miqyasda istifadəni şərtləndirir.

İki taktlı, üstəlik üfurməli dizellər qabarit ölçülərinə və kürləsinə görə 4 taktlı mühərriklərdən üstündür. Lakin üstəlik üfurmə mexaniki intiqallı üfurmə aqreqatı vasitəsilə olan halda xüsusi yanacaq sərfi 4 taktlı mühərrikə nisbətən çox olur. Qazturbini üstəlik üfurmə halında isə 2 taktlı dizellərin yanacaq sərfi 4 taktlı dizellərin yanacaq sərfinə yaxın olur. Son zamanlarda hər iki tip üstəlik üfurməli 2 taktlı dizellərdə müasir qida sistemlərindən (Common Rail və nasos-forsunkalı qida sistemlərin) istifadə nəticəsində onların yanacaq sərfələri, habelə ömür uzunluğu və etibarlılığı 4 taktlı dizellərinə çox yaxınlaşıb. Bu səbəbdən xüsusilə yerüstü nəqliyyat vasitələrində 2 taktlı dizellərin tətbiqi xeyli genişlənilib. Lakin 4 taktlı dizellərdən istifadə hələ də böyük üstünlük təşkil edir.

Mühərrikin gücü və onun dirsəkli valının dövrlər sayı. Mühərrikin istilik hesabı aparılarkən adətən onun nominal gücü ya əvvəlcədən verilir, ya da o dartı hesabının nəticələrinə əsasən müəyyən edilir. *Nominal güc* müəyyən iş şəraiti üçün istehsalçı zavod tərəfindən qarantiyası verilən effektiv

gücə (N_e) deyilir. Avtomobil və taktorlarda qoyulan dym-də nominal güc mühərrikin dirsəkli valının nominal dövrlər sayında alınan maksimal gücə bərabərdir. İstilik hesabı zamanı nominal gücün qiymətinin seçilməsi və ya verilməsi mühərrikin təyinatına, tipinə, istismar şəraitinə və s. görə müəyyən edilir. Əksər avtotraktor mühərriklərinin nominal gücü $15 \div 500 \text{ kVt}$ hədlərində olsa da, bəzi tip avtomobillərdə qoyulan dym-nin gücü 1000 kVt civarında ola bilər.

Dym-nin tipini və dinamik keyfiyyətlərini xarakterizə edən əsas parametrlərdən biri də dirsəkli valın fırlanma tezliyi və ya dövrlər sayıdır. Mühərriqayırmada uzun illər ərzində dirsəkli valın dövrlər sayının yüksəldilməsi tendensiyası hökm sürür. Lakin dövrlər sayının yüksəldilməsi nəticəsində onun əsas konstruktiv ölçüləri, kütləsi və qabarit ölçüləri kiçilirdi. Eyni zamanda dövrlər sayının artımı ətalət qüvvələrinin yüksəlməsinə, silindrin təzə qarışıqla doldurulmasının pisləşməsinə, işlənmiş qazların zəhərliliyinin artmasına, mühərrikin hissə və düyünlərində yeyilmənin artmasına, onun ömür uzunluğunun azalmasına gətirib çıxarır. Bununla əlaqədar olaraq keçən əsrin 60-80-ci illərində dym-nin dövrlər sayının stabilləşdirilməsi, bəzi hallarda isə aşağı salınması baş verdi. Lakin sonrakı illərdə məcburi alışdırılmalı mühərriklərdə sorma borusuna və birbaşa silindrə benzin püskürülməsinin tətbiqi nəticəsində dirsəkli valın dövrlər sayının xeyli artırılmasına və eyni zamanda işlənmiş qazların zəhərliliyinin azaldılmasına nail olundu.

Hal-hazırda müasir minik avtomobilləri mühərriklərinin dövrlər sayı $4000 \div 6000 \text{ dəq}^{-1}$ hədlərində olur, yalnız bəzi seriyalı avtomobil modellərinin mühərriklərinin dövrlər sayı 7000 dəq^{-1} -dən çox olur.

Yük avtomobilləri və traktorlar üçün nəzərdə tutulan mühərriklərdə isə ətalət yüklərinin azaldılması və motivesursun artırılması naminə dövrlər sayı xeyli aşağı götürülür. Buna baxmayaraq bəzi avtomobil və traktor modellərinin dizel mühərriklərində dirsəkli valın dövrlər sayı $2000 \div 4000 \text{ dəq}^{-1}$ -ə, benzin mühərriklərində isə $4000 \div 6000 \text{ dəq}^{-1}$ -ə çatdırılıb. Müasir traktorların dizel mühərriklərində dirsəkli valın dövrlər sayı $1500 \div 2500 \text{ dəq}^{-1}$ intervalında olur.

Silindrlərin sayı və yerləşməsi. Silindrlərin sayının və yerləşməsinin seçilməsi güc, dinamiki və konstruktiv amillərdən asılıdır. Avropa ölkələrində 4, 6, 8 silindrli, ABŞ-da isə 8, 10 silindrli avtomobil mühərrikləri daha geniş yayılmışdır. Mühərrikin kütlə və qabarit ölçülərinə yüksək tələbat göstərildikdə avtomobil mühərriklərinin silindrlərinin sayı 12 və 16 da ola bilər. Traktorlarda isə adətən daha çox 4, 6, 8 silindrli, nadir hallarda isə 12 silindrli mühərriklərdən istifadə olunur. Silindrlərin sayı artdıqca mühərriklərin dövrlər sayına görə forsiyə edilmə imkanları artır, işəsalma keyfiyyətləri yaxşılaşır və müvazinətləşdirmə məsələləri sadələşir. Lakin silindrlərin sayı artdıqca mühərrikin mexaniki itkiləri artır, qənaət göstəriciləri isə pisləşir.

Silindrlərin sayının seçilməsi həm də mühərrikin litrajından asılı olur. Belə ki, 4 silindrli benzin püskürməli mühərrikin litrajı adətən $0,7 \div 2,2 \text{ l}$ hədlərində olur, ayrı-ayrı hallarda isə $V_l > 2,2 \text{ l}$ olur. 4 silindrli dizel mühərriklərinin litrajı isə xeyli böyük - $4 \div 8 \text{ l}$ arasında olur. 6 silindrli benzin püskürməli mühərriklərin litrajı $V_l \approx 2,0 \div 5,6 \text{ l}$, dizellərinki isə 20 l -ə çatır.

Müasir avtomobil və traktor mühərriklərində silindrlərin sırası, V-, VR-, W-şəkilli və oppozit yerləşməsinə rast gəlinir. Ən çox silindrləri sırayı yerləşmiş mühərrik konstruksiyalarına rast gəlinir. Onların istismarı daha sadə, istehsal xərcləri isə daha ucuzdur. V-şəkilli mühərriklər də avtomobil və traktorqayırma sənayesində son zamanlar geniş yayılmışdır. Sırayı mühərriklərlə müqayisədə V-şəkilli mühərriklərin mexaniki f.i.ə daha yüksək, qabarit ölçüləri kiçik, xüsusi kütlə göstəriciləri daha yaxşı alınır. V-şəkilli mühərriklərin konstruktiv sərtliyi yüksək olduğundan dirsəkli valın dövrlər sayını da artırmaq mümkün olur.

Son zamanlar silindrlərin sırası arasındakı bucaq 15° olan VR-şəkilli mühərriklərdən daha çox istifadə olunmağa başlayıb. Kiçik konstruktiv ölçülərlə daha böyük güc almaq üçün W-şəkilli mühərriklərin tətbiqi də genişlənməkdədir.

Bəzi ölkələrdə, məsələn Yaponiyada, Almaniyada, Fransada silindrləri oppozit yerləşdirilmiş dym istehsal və istismar edilir. Bu tip mühərriklərin istehlak qurğularında yerləşdirilməsi daha rahat başa gəlir.

Silindrin ölçüləri və porşenin sürəti. Silindrin əsas ölçüləri deyildikdə onun diametri D və porşenin gedişi S nəzərdə tutulur. Bu ölçülər həm də mühərrikin əsas konstruktiv parametrləri sayılır. Müasir avtotraktor mühərriklərində silindrin diametri kifayət qədər kiçik intervallarda - $60 \div 150 \text{ mm}$ intervalında dəyişir və əsasən mühərrikin tipindən və təyinatından asılı olur:

Minik avtomobillərinin benzin mühərrikləri üçün

$60 \div 100 \text{ mm}$

Yük avtomobillərinin benzin mühərrikləri üçün	70÷110 mm
Avtomobil dizelləri üçün	80÷130 mm
Traktor dizelləri üçün	70÷150 mm

Porşenin gedişi adətən nisbi kəmiyyət olan S/D nisbəti ilə xarakterizə olunur və bu kəmiyyət porşenin sürəti ilə bilavasitə əlaqədə olan kəmiyyətdir. S/D nisbətinin qiymətinə görə mühərriklər 2 qrupa bölünür:

- $S/D < 1$ olan mühərriklər qısagedişli mühərriklər adlanır;
- $S/D > 1$ olan mühərriklər uzungedişli mühərriklər adlanır.

Layihə edilən mühərrik qısagedişli olduqda onun hündürlüyü və kütləsi azalır, indikator f.i.ə və doldurma əmsalı artır, porşenin sürəti və hissələrin yeyilməsi azalır. Eyni zamanda S/D nisbətinin azalması porşenə təsir edən qazların təzyiq qüvvəsinin yüksəlməsinə, yanıcı qarışıqın hazırlanma şəraitinin pisləşməsinə və mühərrikin qabarit uzunluğunun artmasına gətirib çıxarır.

Müasir məcburi alışdırılmalı mühərriklər layihə edilərkən S/D nisbətinin qiyməti $0,8 \div 1,1$ intervalında həyata keçirilir. Avtomobil dizellərinin layihəsi zamanı da S/D nisbətinin vahidə yaxın qiymətlərinin seçilməsi məqsəduyğun hesab edilir: $S/D = 0,9 \div 1,2$. Dizel mühərriklərinin böyük əksəriyyətində $S/D > 1$ qiymətləri qəbul edilir. Traktor dizellərində isə $S/D = 1,1 \div 1,3$ hədlərində olur.

Porşenin orta sürəti v_{por} isə kriterial parametr olub mühərrikin sürətliliyini xarakterizə edir. v_{por} parametrinin qiymətinə görə də daxili yanma mühərrikləri 2 qrupa bölünür:

- $v_{por} < 6,5$ m/s olan mühərriklər yavaş sürətli mühərriklər adlanır;
- $v_{por} > 6,5$ m/s olan mühərriklər iti sürətli mühərriklər adlanır.

Bütün avtomobil mühərrikləri və traktor mühərriklərinin demək olar ki, böyük əksəriyyəti iti sürətli mühərriklərdir, çünki onlarda $v_{por} > 6,5$ m/s –dir.

Porşenin orta sürəti v_{por} artdıqca mexaniki itkilər də artır, mühərrikin hissələrinin istilik gərginliyi yüksəlir, mühərrikin ömür uzunluğu azalır. Bununla əlaqədar olaraq, mühərrikin porşenin orta sürətinin artırılması onun hissələrinin ömür uzunluğunun artırılması, mühərriqquayırmada daha mükəmməl materiallardan istifadə olunması və tətbiq olunan sürtkü materiallarının keyfiyyətinin yüksəldilməsi məsələləri ilə sıx surətdə əlaqələndirilməlidir.

Müasir avtotraktor mühərriklərində porşenin orta sürəti v_{por} aşağıdakı hədlərdə dəyişir:

Minik avtomobillərinin benzin mühərrikləri üçün	12÷20 m/s
Yük avtomobillərinin benzin mühərrikləri üçün	9÷16 m/s
Avtomobil qaz mühərrikləri üçün	7÷14 m/s
Avtomobil dizelləri üçün	7÷13 m/s
Traktor dizelləri üçün	6÷11 m/s

Sıxma dərəcəsi. Sıxma dərəcəsi ε adlanan kəmiyyət daxili yanma mühərriklərinin ən əsas xarakteristikalarından biridir. Onun qiymətinin seçilməsi ilk növbədə yanıcı qarışıqın hazırlanma üsulundan və yanacağın növündən asılıdır. Bundan əlavə sıxma dərəcəsini seçərkən üstəlik üfurmənin olub-olmamasını, mühərrikin sürətliliyini, soyutma sisteminin tipini və s. amilləri də nəzərə almaq lazım gəlir.

Benzin mühərriklərində sıxma dərəcəsi hər şeydən əvvəl istifadə olunan yanacağın detonasiyaya davamlılığına görə seçilməlidir. Bundan əlavə sıxma dərəcəsini yüksəltmək üçün aşağıdakı amillərdən istifadə etmək olar:

a) yanma kamerinin rəşional formasının və alışdırma şamının yerləşdirilməsinin seçilməsi (alışdırma şamının yanma kameri divarlarından təxminən bərabər uzaqlıqda yerləşdirilməsi ε -nün artırılmasına imkan yaradır). Bundan başqa bir silindrdə 1-dən çox alışdırma şamının yerləşdirilməsi də eyni effekti verə bilər;

b) silindrin ölçülərinin seçilməsi (silindrin diametri kiçildikdə alovun yolunun azalması və nisbi soyutma səthinin artması sıxma dərəcəsini ε artırmağa imkan verir);

c) mühərrikin dirsəkli valının fırlanma tezliyinin seçilməsi (dövrələr sayı artdıqca yanma sürətinin yüksəlməsi sıxma dərəcəsini ε artırmağa imkan verir);

d) porşen və silindrlər başlığının materialının seçilməsi (porşenin alüminium ərintisindən hazırlanması sıxma dərəcəsini ε $0,4 \div 0,7$ vahid, silindrlər başlığının da çuqun ərintisi əvəzinə alüminium ərintisindən hazırlanması isə sıxma dərəcəsini ε əlavə olaraq daha $0,5 \div 0,6$ vahid artırmağa

imkan verir);

e) soyutma sisteminin seçilməsi (mayeli soyutma sisteminin tətbiqi sıxma dərəcəsini hava ilə soyutma sistemindəkinə nisbətən xeyli artırmağa imkan verir);

f) təbəqəli qarışdırmanın tətbiqi.

Müasir dövrdə mövcud məcburi alışdırılmalı mühərriklərin sıxma dərəcəsi $\varepsilon=7\div 12$ hədlərindədir. Yük avtomobillərinin benzin mühərriklərində sıxma dərəcəsi aşağı hədlərdə, minik avtomobili mühərriklərində isə yüksək ($\varepsilon>8,5$) hədlərdə olur. Benzin mühərriklərində sıxma dərəcəsinin $\varepsilon>12$ hədlərinə qədər yüksəldilməsinə isə həm yanacağın özüləşmə, həm də detonasiyalı yanma ehtimalları imkan vermir. Bundan başqa $\varepsilon>12$ halında indikator f.i.ə -nin nəzəçarpan nisbi və mütləü artımı baş vermir. Son zamanlarda təbəqəli qarışdırmanın və birbaşa silindrə benzin püskürmənin tətbiqi, habelə Atkinson və Miller sikllərindən istifadə nəticəsində sıxma dərəcəsinin $\varepsilon>12$ həddini aşmaq tendensiyası yer almaqdadır.

Dizellərdə sıxma dərəcəsinin minimal qiyməti sıxma taktının sonunda püskürülmüş yanacağının özüləşməsinə həyata keçirə biləcək minimal temperaturu təmin etməlidir. Yanacağın sıxma taktının sonuna yaxın püskürülməsi və sıxma temperaturunun yüksək olması nəticəsində özüləşmənin gecikmə periodunun (yəni induksiya periodunun) qisalmasını nəzərə almaqla üstəlik üfurməsiz dizellərdə sıxma dərəcəsinin $\varepsilon<14$ qiymətlərini, üstəlik üfurməli dizellərdə isə $\varepsilon<12$ qiymətlərini götürmək mümkündür.

Müasir avtotraktor dizellərində sıxma dərəcəsi $\varepsilon=14\div 22$ hədlərində götürülür. Aşağı hədlər bütöv kamerli, yuxarı hədlər isə bölünmüş kamerli dizellər üçün məqbul hesab edilir. Sıxma dərəcəsinin $\varepsilon>22$ qiymətləri məqsədəuyğun deyil. Belə ki, bu halda yanma təzyiqi çox yüksəlir və mexaniki f.i.ə çox aşağı düşür, dizel konstruksiyası ağırlaşır.

Dizellərdə sıxma dərəcəsinin seçilməsi hər şeydən əvvəl yanma kamerinin formasından və yanıcı qarışığın hazırlanması üsulundan asılı olur. Bu parametrlərdən asılı olaraq mövcud dizellərdə sıxma dərəcəsi aşağıdakı hədlərdə olur:

Həcmi qarışdırılmalı, bütöv kamerli dizellər üçün	16÷23
Burulğan kamerli dizellər üçün	16÷21
Ön kamerli dizellər üçün	17÷22
Qazturbini üstəlik üfurməli dizellər üçün	20÷25 və daha çox

Mühərrikin müqayisə parametrləri

Mühərriklərin iş şəraitinin gərginliyi, quruluş yığcamlığı və onların istehsalında hansı materiallardan və necə istifadə edildiyinə görə tutuşdurmaq üçün müqayisə parametrlərindən istifadə olunur. Bunlar *xüsusi porşen gücü, litr gücü, litr kütləsi və xüsusi kütlədir*.

Xüsusi porşen gücü (N_p). Mühərrikin xüsusi porşen gücü onun nominal effektiv gücünün bütün porşenlərin alın (təpə) səthləri sahəsinə olan nisbətində deyilir:

$$N_p = \frac{N_e}{iF_p}, \text{ kVt/m}^2 \quad \text{və ya}$$

$$N_p = \frac{500 p_e v_{por}}{\tau}, \text{ kVt/m}^2$$

Sonuncu ifadədən göründüyü kimi xüsusi porşen gücü mühərrikin istilik və dinamik gərginliyini xarakterizə edən orta effektiv təzyiqdən, porşenin orta sürətindən və taktlıq əmsalından asılıdır.

Müasir avtotraktor mühərriklərinin xüsusi porşen gücü aşağıdakı hədlər arasındadır:

Mühərriklər	$N_p, \text{ kVt/dm}^2$
Minik avtomobillərinin məcburi alışdırılmalı mühərrikləri	17÷30
Yük avtomobillərinin məcburi alışdırılmalı mühərrikləri	11÷22
Adi avtomobil dizelləri	13÷17
Adi traktor dizelləri	9÷13
Üstəlik üfurməli traktor dizelləri	14÷24

Litr gücü (N_l). Litr gücü mühərrikin nominal effektiv gücünün onun litrajına olan nisbətində deyilir:

$$N_l = \frac{N_e}{V_l}, \quad kVt/l, \text{ və ya}$$

$$N_l = \frac{p_e \omega}{2\pi\tau}, \quad kVt/l.$$

Litr gücü mühərrikin yığcamlığını və yüngüllüyünü xarakterizə edən parametrdir. Litr gücü yüksək olan mühərrik kiçik qabarit ölçülü və yüngüldür. Lakin litr gücünün artırılması, onun ifadəsindən görüldüyü kimi orta effektiv təzyiqi və mühərrikin sürətini artırmaq, həmçinin iki taktlı iş siklinə keçmək nəticəsində əldə edilə bilər. Ona görə də litr gücü yüksək olan mühərriklər daha gərgin iş şəraitinə malikdir.

Avtotraktor mühərriklərinin litr gücü aşağıdakı hədlərdə olur:

Mühərriklər	$N_p, Kvt/l$
İdman-yürüş avtomobillərinin məcburi alışdırılmalı mühərrikləri	50÷125
Minik avtomobillərinin məcburi alışdırılmalı mühərrikləri	14÷40
Yük avtomobillərinin məcburi alışdırılmalı mühərrikləri	9÷22
Adi avtomobil dizelləri	7÷12
Adi traktor dizelləri	6÷11
Üstəlik üfurməli avtotraktor dizelləri	10÷18

Mühərrikin litr kütləsi (g_l): Mühərrikin quru ağırlığının onun litrajına olan nisbətində litr kütləsi deyilir:

$$g_l = \frac{G_q}{iV_h}, \quad kq/l.$$

Litr kütləsi mühərrikin konstruksiyası və istehsal texnologiyasının təkmilliyi, onun istehsalında hansı materiallardan və necə istifadə olunduğunu göstərən parametrdir. Quru kütlə mühərrikin yağlama, mayeli soyutma və yanacaqda qida sistemləri boş olan vəziyyətdəki ağırlığına deyilir. Bu kütləyə yağ və soyuducu maye radiatorlarının, xaricətmə kollektorunun və əlavə quruluşların kütləsi daxil edilmir.

Ümumiyyətlə dym-nin kütləsinin azaldılması müasir dövrün aktual problemlərindən biridir. Çünki hər hansı bir maşın qurğusunun kütləsinin azaldılması onun faydalı yükünün müvafiq olaraq artırılmasına imkan verir. Kütlənin xeyli azaldılması birinci növbədə ən ağır hissələrin hesabına olmalıdır. Müasir məcburi alışdırılmalı avtomobil mühərriklərində quru kütlənin 50÷70 %-i, avtotraktor dizellərində isə 50÷80 %-i silindrlər bloku, dirsəkli val, nazımçarx, silindrlər başlığı və porşen-şatun qrupu hissələrinin payına düşür. Məcburi alışdırılmalı mühərriklərdə bunun 20÷30 %-ini silindrlər blokunun, 12÷14 %-ini isə dirsəkli valın kütləsi təşkil edir; dizellərdə isə kütlənin 30÷35 %-i silindrlər blokunun, 10÷15 %-i də dirsəkli valın payına düşür. Ona görə də birinci növbədə adı çəkilən hissələrin kütləsinin azaldılmasına çalışılır.

Silindrləri sırası yerləşmiş mühərriklərdən V-, VR- və W-şəkilli mühərriklərə keçmək, silindrlər bloku, silindrlər başlığı və porşenləri alüminium ərintisindən tökülməsi ağır hissələrin kütləsini xeyli azaltmağa imkan verir. V-, VR- və W-şəkilli quruluşa keçilməsi silindrlər bloku və başlığının, dirsəkli valın kütləsini 20÷30 %, silindrlər bloku və başlığının, porşenin alüminium ərintisindən tökülməsi isə həmin hissələrin 10÷20 % təmin edir.

Avtotraktor mühərriklərinin litr kütləsi aşağıdakı hədlərdə olur:

Mühərriklər	$g_l, kq/l$
Məcburi alışdırılmalı avtotraktor mühərrikləri	45÷90
Üstəlik üfurməsiz avtomobil dizəlləri	65÷100
Üstəlik üfurməsiz traktor dizəlləri	100÷230
Üstəlik üfurməli avtotraktor dizəlləri	60÷80

Mühərrikin xüsusi kütləsi (g_N): Mühərrikin quru kütləsinin nominal gücünə olan nisbətində onun xüsusi kütləsi deyilir:

$$g_N = \frac{G_q}{N_e}, kq/kVt$$

Litr gücü ilə xüsusi kütlə arasında aşağıdakı asılılıq vardır

$$g_N = \frac{g_l}{N_l}, kq/kVt.$$

Bu ifadədən göründüyü kimi, xüsusi kütlə konstruksiyanın təkmilliyi (g_l) və litr gücünün (N_l) qiymətindən asılıdır. Ona görə mühərrikin xüsusi kütləsi həm onun konstruktiv təkmilliyini, həm də forsirə dərəcəsini (p_e, n) xarakterizə edən parametrdir.

Müasir avtotraktor mühərriklərinin xüsusi kütləsi aşağıdakı hədlərdədir:

Mühərriklər	$g_N, kq/kVt$
Məcburi alışdırılmalı avtotraktor mühərrikləri	1,6÷4,8
Üstəlik üfurməsiz avtomobil dizəlləri	5,5÷9,5
Üstəlik üfurməsiz traktor dizəlləri	5,5÷26
Üstəlik üfurməli avtotraktor dizəlləri	4,0÷7,0

Mühərriklərin müqayisəsi

Müqayisə parametrlərinin yuxarıda nəzərdən keçirilən qiymətləri göstərir ki, ən yüksək göstəricilər idman-yürüş avtomobili mühərriklərində olur. Sonra minik avtomobili, yük avtomobili və nəhayət traktor mühərrikləri gəlir.

İdman-yürüş avtomobili mühərrikləri layihə edilərkən yüksək sürətlə gedib rekord nəticə əldə olunması tələbi əsas götürülür, mühərrikin ömür uzunluğu isə ikinci dərəcəli hesab olunur. Bu mühərriklərdə üstəlik üfurmə və yüksək sıxma dərəcəsi tətbiq edilir, ən yüksək keyfiyyətli, xüsusi yanacaq və yağlardan istifadə olunur.

Müəyyən edilmişdir ki, minik avtomobili mühərriklərinin orta istismar yükü çox aşağı olur (30÷40%). İstismar yükünün aşağı olması və yüksək oktan ədədinə malik yanacaqlardan istifadə edilməsi, bu mühərriklərdə ömür uzunluğunu lazımi səviyyədə saxlamaqla, dövrlər sayı və sıxma dərəcəsini daha yüksək etməyə imkan verir. Bununla da müqayisə parametrlərinin böyüməsinə zəmin yaranır.

Yük avtomobili mühərriklərinin orta istismar yükü isə xeyli yüksəkdir (60÷80%). İstismar yükünün yüksəkliyi həmçinin ömür uzunluğunun azalmasına gətirib çıxarır. Ona görə də bu mühərriklərin dövrlər sayı və sıxma dərəcəsi nisbətən aşağı götürülür. Nəticədə bu mühərriklərin müqayisə parametrləri də minik avtomobili mühərriklərindəkinə nisbətən aşağı olur.

Dizel mühərriklərində müqayisə parametrlərinin aşağı olması əsasən dövrlər sayının azlığı, hava artıqlıq əmsalının böyüklüyü (silindrə doldurulan havadan yaxşı istifadə olunmaması) və mexaniki itkilərin çoxluğu ilə izah olunur. Bu mühərriklərdə dövrlər sayının artırılması bir tərəfdən irəliləmə hərəkəti edən hissələrin kütləsi böyük olduğundan və yanacaq verilişi pisləşdiyindən çətinləşir, digər tərəfdən isə mühərrikin ömür uzunluğunun lazımi səviyyədə saxlanması nöqtəyi-nəzərindən məqsədəuyğun hesab edilmir.

Avtomobil dizellərinin, xüsusən də yük avtomobili dizellərinin orta istismar yükü ($70\div 90\%$) traktor dizellərinə ($90\div 98\%$) nisbətən aşağı olduğundan, onların dövrlər sayını müəyyən qədər artırmaq mümkündür. Bu, xüsusilə minik avtomobili dizellərində nəzərə çarpır. Odur ki, avtomobil dizellərinin müqayisə parametrləri nisbətən yüksəkdir.

Üstəlik üfurmə tətbiq edilən avtotraktor dizellərinin müqayisə parametrləri demək olar ki, məcburi alısdırmalı. Yük avtomobili mühərriklərinin müqayisə parametrləri səviyyəsində olur. Bunun başlıca səbəbi üstəlik üfurmə nəticəsində mühərrikin litrajından daha yaxşı istifadə olunmasıdır. Lakin qeyd etmək yerinə düşər ki, işəsalma keyfiyyətini adi dizellərin səviyyəsində saxlamaq üçün qazturbanlı üstəlik üfurməli dizellərdə sıxma dərəcəsinin yüksək götürülməsi lazım gəldiyindən, bu tip mühərriklərdə siklin maksimal təzyiqi yüksəlir. Bu isə öz növbəsində dizelin ömür uzunluğuna mənfi təsir göstərir.

DYM-NIN İNDİKATOR DIAQRAMININ QURULMASI USULLARI

Mühərrikin indikator diaqramı istilik hesabının nəticələrinə görə qurulur. Diaqram qurularkən onun miqyaslarını elə seçmək lazımdır ki, diaqramın hündürlüyünün oturacağına olan nisbəti $1,2 \div 1,7$ hədlərində alınsın. Qurmanın əvvəlində (şəkil 19.1 və şəkil 19.12 absis oxu üzərində yanma kamerinin və silindrin işçi həcmələrinə uyğun gələn və qiymətə M_s miqyasında OA və AB parçaları qeyd edilir:

$$AB = \frac{S}{M_s}, \text{ mm},$$

burada M_s - porşen gedisinin miqyasıdır, mm/mm ; $M_s = 0,67; 1,0; 1,5; 2,0 \text{ mm/mm}$ götürülə bilər.

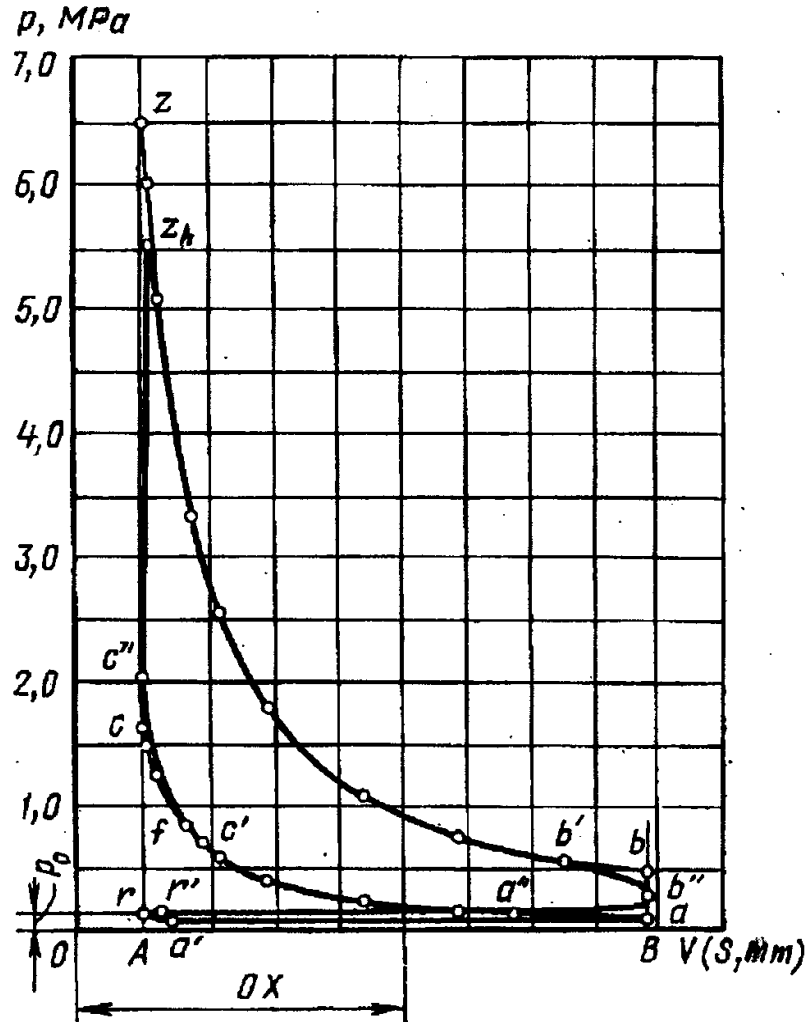
Yanma kamerinin həcminə uyğun olan məsafə

$$OA = AB/(\varepsilon - 1), \text{ mm}.$$

Silindrin tam həcminə uyğun olan məsafə:

$$OB = OA + AB, \text{ mm}.$$

Dizel mühərriklərində qabaqcadan genişlənmə nəticəsində boşaldılan həcmə uyğun olan məsafə:



Şəkil 19.1. İndikator diaqramının analitik yolla qurulması

Genişlənmə politropu üçün:

$$p_x V_x^{n_2} = p_b V_b^{n_2},$$

$$p_x = p_b \left(\frac{V_b}{V_x} \right)^{n_2}, \text{ MPa},$$

$$\frac{p_x}{M_p} = \frac{p_b}{M_p} \left(\frac{OB}{OX} \right)^{n_2}, \text{ mm}.$$

Burada p_x və V_x - genişlənmə prosesinin axtarılan nöqtələrinin təzyiq və həcmidir. Bu zaman V_b/V_x nisbəti karbürətorlu mühərriklərdə $1 \div \varepsilon$, dizellərdə isə $1 \div \delta$ hədlərində dəyişir.

Analitik üsulla qurma zamanı sıxma və genişlənmə politroplarının hesabi nöqtələrinin ordinatlarını cədvəl şəklində vermək məqsədəuyğundur (şəkil 19.3).

Nöqtələrin sıra sayı	OX, mm	OB/OX	Sıxma politropu		Genişlənmə politropu	
			p_x/M_p , mm	p_x , MPa	p_x/M_p , mm	p_x , MPa
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Şəkil 19.3. Sıxma və genişlənmə politroplarının analitik üsulla hesabat cədvəli

Hesablanmış nöqtələri diaqramda yerləşdirib onlardan keçməklə a və c nöqtələrini səlis əyri ilə birləşdirib sıxma politropunu, z və b nöqtələrini eyni qayda ilə birləşdirib genişlənmə politropunu alırıq. c nöqtəsilə z nöqtəsini düz xətt ilə (dizəldə c nöqtəsini z' nöqtəsilə, z' nöqtəsini isə z nöqtəsilə) birləşdirib nasos gedişləri nəzərə alınmayan hesabi indikator diaqramı qurulur. Sorma və xaric proseslərinin $V = \text{const}$ şəraitində baş verdiyi qəbul edilir. c'' nöqtəsinin vəziyyəti $p_{c''} = (1,15 \div 1,25)p_c$, MPa və $p_{c''}/M_p$, mm kimi müəyyənləşdirilir.

İndikator diaqramının grafiki üsulla qurulmasında *Bauer* metodundan istifadə edilir. Bu zaman sıxma və genişlənmə politropları aşağıdakı ardıcılıqla qurulur.

Koordinat başlanğıcından absis oxuna $\alpha = 15^\circ$ bucaq altında OC şüası çəkilir (şək. 19.2). Sonra koordinat başlanğıcından ordinat oxuna β_1 və β_2 bucaqları altında OD və OE şüaları çəkilir. β_1 və β_2 bucaqları aşağıdakı kimi təyin edilir

$$\operatorname{tg} \beta_1 = (1 + \operatorname{tg} \alpha)^{n_1} - 1,$$

$$\operatorname{tg} \beta_2 = (1 + \operatorname{tg} \alpha)^{n_2} - 1.$$

Sıxma politropu OC və OD şüalarından istifadə etməklə qurulur. c nöqtəsindən ordinat oxu ilə kəsişənə qədər horizontal xətt çəkilir, kəsişmə nöqtəsindən şaquli oxa 45° bucaq altında, OD şüasını kəsənə qədər daha bir düz xətt çəkilir. Alınan kəsişmə nöqtəsindən isə absis oxuna paralel olaraq yeni düz xətt çəkilir. Yenidən c nöqtəsindən başlayaraq OC şüasını kəsənə qədər şaquli xətt çəkilir. Kəsişmə

nöqtəsindən şaquli oxla 45° bucaq altında, absis oxunu kəsənə qədər düz xətt çəkilir. Alınan kəsişmə nöqtəsindən ordinat oxuna paralel olan şaquli xətt çəkilir və bu xəttin absis oxuna paralel olan əvvəlki horizontal xətlə kəsişmə nöqtəsi (1) sıxma politropunun aralıq nöqtələrindən birincisi olur. Alınan 1 nöqtəsi başlanğıc qəbul edilməklə növbəti 2 nöqtəsi də eyni ardıcılıqla müəyyən edilir. Bu yolla alınan nöqtələri ardıcıl olaraq səlis əyri ilə birləşdirdikdə sıxma politropu alınır.

Genişlənmə politropu da eyni qayda ilə OC və OE şüalarından istifadə etməklə qurulur. Bu zaman başlanğıc nöqtə olaraq z nöqtəsi götürülür.

Hər iki üsulla qurulan diaqramlar hesabi indikator diaqramlarıdır. Bu diaqramlardan istifadə etməklə nəzəri orta indikator təzyiqi aşağıdakı kimi tapılır:

$$p'_i = \frac{F' M_p}{AB}, \quad MPa,$$

burada F' - diaqramın $ac(z')zba$ hissəsinin sahəsidir, mm^2 .

Qrafiki yolla hesablanmış p'_i -lə nəzəri üsulla təyin edilmiş p'_i -in arasındakı fərq $\pm 5\%$ -dən çox olmamalıdır.

Həqiqi indikator diaqramı $ac'c''z_hbb''ra$ hesabi diaqramdan fərqlənir. Çünki real mühərrikdə qığılcımın verilməsinin (dizəldə yanacağın püskürülməsinin) qabaqlanması üzündən (c' nöqtəsi) silindrdəki işçi qarışıq porşen *y.ö.n.* vəziyyətinə çatmamış alışır (f nöqtəsi). Bu sıxma prosesinin sonundakı təzyiqi artırır (c''). Görünən yanma prosesi dəyişən həcm şəraitində $c''z_h$ xətti üzrə baş verir. Xaric klapanının porşen *a.ö.n.* vəziyyətinə çatmamış açılması (b' nöqtəsi) genişlənmə prosesinin sonundakı təzyiqi azaldır (b'' nöqtəsi təxminən b və a nöqtələrindən bərabər məsafədə yerləşir). Indikator diaqramı üzrə həqiqi orta indikator təzyiqi:

$$p_i = \frac{FM_p}{AB}, \quad MPa,$$

burada F - $ac'c''z_hb'b''ra$ hissəsinin sahəsidir, mm^2 .

p_i -nin qrafiki üsulla hesablanmış qiyməti ilə nəzəri olaraq tapılmış qiyməti arasındakı fərq $\pm 5\%$ -dən çox olmamalıdır. Bu şərtin ödənilməməsi istilik hesabının düzgün aparılmadığını göstərir.

DYM-nin istilik balansı

İstilik balansı mühərrikin silindrində yanacağın yandırılmasından alınan istiliyin hara sərf olunduğunu göstərir.

Mühərrik üçün istilik balansı ümumi şəkildə aşağıdakı kimi yazılır:

$$Q_{üm} = Q_e + Q_s + Q_r + Q_n + Q_m + Q_{qal}, \quad \frac{C}{s}.$$

Silindrdə yanan yanacağın verdiyi istiliyin ümumi miqdarı:

$$Q_{üm} = \frac{H_u G_y}{3,6}, \quad \frac{C}{s}.$$

1 saniyəlik effektiv iş ekvivalent istilik:

$$Q_e = 1000 \cdot N_e, \quad \frac{C}{s}.$$

Soyutma sisteminə verilən istilik:

$$Q_s = ciD^{1+2m}n^m \frac{H_u - \Delta H_u}{\alpha H_u}, \quad \frac{C}{s},$$

burada s - mütənəsiblik əmsalındır, 4-taklı mühərriklər üçün $s = 0,45 \div 0,53$ hədlərində olur; D -

silindrin diametri, sm ; m - üst göstəricisidir, 4-taklı mühərriklər üçün $m=0,6 \div 0,7$ hədlərində olur; H_u , $\Delta H_u - kC / kq$ -la verilir.

Dizel mühərrikində $\Delta H_u = 0$ olduğundan

$$Q_s = ciD^{1+2m}n^m \frac{1}{\alpha}, \quad \frac{C}{s}.$$

İşlənmiş qazlarla itirilən istilik:

$$Q_r = \frac{G_y}{3,6} \left\{ M_2 \left[(mc_V'')_{t_0}^{t_r} + 8,315 \right]_{t_r} - M_1 \left[(mc_V'')_{t_0}^{t_k} + 8,315 \right]_{t_0} \right\}, \quad \frac{C}{s}$$

burada $(mc_V'')_{t_0}^{t_k}$ - təzə qarışığın sabit həcmdəki orta molekulyar istilik tutumudur. Sorğu cədvəlindən istifadə etməklə interpolasiya metodu ilə təyin edilir:

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_k} = (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}} + \left[(mc_V'')_{t_0}^{t_{x_2}} - (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}} \right] \frac{t_k - t_{x_1}}{t_{x_2} - t_{x_1}}, \quad \frac{kC}{kmol \cdot der}$$

burada $t_k = T_k - 273, \text{ } ^\circ C$;

t_{x_2}, t_{x_1} - cədvəl 5-də t_k -ya ən yaxın, ondan böyük və kiçik olan yuvarlaq temperaturlardır, $^\circ C$

$(mc_V'')_{t_0}^{t_r}$ - qalıq qazların sabit həcmdəki orta molekulyar istilik tutumudur, sorğu cədvəllərindən istifadə edilməklə interpolasiya üsulu ilə aşağıdakı kimi müəyyənləşdirilir:

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}} = (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}(\alpha_{x_1})} + \left[(mc_V'')_{t_0}^{t_{x_2}(\alpha_{x_2})} - (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}(\alpha_{x_1})} \right] \cdot \frac{\alpha - \alpha_{x_1}}{\alpha_{x_2} - \alpha_{x_1}},$$

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_{x_2}} = (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_2}(\alpha_{x_2})} + \left[(mc_V'')_{t_0}^{t_{x_2}(\alpha_{x_2})} - (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}(\alpha_{x_1})} \right] \cdot \frac{\alpha - \alpha_{x_1}}{\alpha_{x_2} - \alpha_{x_1}},$$

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_c} = (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}} + \left[(mc_V'')_{t_0}^{t_{x_2}} - (mc_V'')_{t_0}^{t_{x_1}} \right] \frac{t_r - t_{x_1}}{t_{x_2} - t_{x_1}}, \quad \frac{kC}{kmol \cdot der}.$$

burada $t_r = T_r - 273, \text{ } ^\circ C$; t_{x_1}, t_{x_2} - müvafiq olaraq cədvəldən götürülmüş, t_r - ən yaxın kiçik və böyük yuvarlaq temperaturlardır, $^\circ C$; $\alpha_{x_1}, \alpha_{x_2}$ - cədvəldəki hava artıqlıq əmsalının α -ya ən yaxın kiçik və böyük yuvarlaq qiymətləridir.

Kimyəvi natamam yanmadan itirilən istilik:

$$Q_n = \frac{\Delta H_u \cdot G_y}{3,6}, \quad \frac{C}{s}.$$

Dizellərdə $\Delta H_u = 0$ olduğundan $Q_n = 0$ olur.

Mexaniki itkilərə sərf olunan istilik:

$$Q_m = Q_{\text{üm}} \cdot \eta_i - Q_e, \quad \frac{C}{s}.$$

Nəzərə alınmayan istilik itkiləri:

$$Q_{qal} = Q_{\text{rə}} - (Q_e + Q_s + Q_r + Q_n + Q_m), \quad C/s.$$

İstilik balansının ayrı-ayrı komponentlərinin faizlə miqdarı aşağıdakı kimi hesablanır və şəkildə

göstərilmiş cədvəl şəklində verilir:

$$q_e = \frac{Q_e}{Q_{\text{üm}}} \cdot 100\%; \quad q_s = \frac{Q_s}{Q_{\text{üm}}} \cdot 100\%; \quad q_r = \frac{Q_r}{Q_{\text{üm}}} \cdot 100\%;$$

$$q_n = \frac{Q_n}{Q_{\text{üm}}} \cdot 100\%; \quad q_m = \frac{Q_m}{Q_{\text{üm}}} \cdot 100\%; \quad q_{qal} = \frac{Q_{qal}}{Q_{\text{üm}}} \cdot 100\%.$$

Sıra №-si	İstilik balansının komponentləri	$Q, C/s$	$q, \%$
1	2	3	4
1.	Effektiv işə ekvivalent olan istiliyin miqdarı, Q_e		
2.	Soyutma sisteminə verilən istiliyin miqdarı, Q_s		
3.	İşlənmiş qazlarla itirilən istiliyin miqdarı, Q_r		
4.	Kimyəvi natamam yanmadan itirilən istiliyin miqdarı, Q_n		
5.	Mexaniki itkilərə sərf edilən istiliyin miqdarı, Q_m		
6.	Nəzərə alınmayan istilik itkiləri, Q_{qal}		
7.	Mühərrikin silindrində alınan istiliyin ümumi miqdarı, $Q_{\text{üm}}$		

ƏDƏBİYYAT

1. Z.İ Hüseynova, N.Ə.Kərimov, R.İ.Mehdiyev, V.S. Əfəndiyev. Avtomobil və traktor mühərrikləri. – Bakı, Maarif, 1971, 435 s.
2. Z.X.Kərimov. Avtotraktor mühərriklərinin qidalanma sistemləri. Bakı, “Təhsil” NPM, 2012, 414 s.
3. M.N.Fərzəliyev, F.M. Həsənov. Daxili yanma mühərriklərinin ekoloji təhlükəsizliyi. Bakı, “Təhsil” NPM, 2007, 360 s.
4. C.R.Ferguson, A.T.Kirkpatrick. Internal Combustion Engines. New York. John Wiley & Sonc, 2001, 369 pp.
5. Б.Льюис, Г.Эльбе. Горение, пламя и взрывы в газах. Пер.с англ. Изд-е 2-е, Москва, «Мир», 1968, 589 с.
6. А.Войнов. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. Изд-е 2-е, перераб. доп. Москва, «Машиностроение», 1977, 277 с.
7. Ю.Свиридов. Смесеобразование и сгорание в дизелях. Л., Машиностроение, 1972, 224 с.
8. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей. Под ред. А.С.Орлина и М.Г. Круглова. 4-е изд.; -М.: Машиностроение, 1983, 372 с.
9. Н.Патрахальцев, А.Савастенко. Форсирование двигателей внутреннего сгорания наддувом. Москва, «Легион-Автодата», 2007, 176 с.
10. Г.Ханк. Турбодвигатели и компрессоры. Москва, АСТ-Астрель, 2007, 351 с.
11. В.Дьяченко. Теория двигателей внутреннего сгорания. Пер. с укр. Харьков, ХНАДУ, 2009, 500 с.
12. В.Луканин, И.Алексеев, М.Шатров. Двигатели внутреннего сгорания. В 3-х книгах. Книга 1. Теория рабочих процессов. Москва, Высшая школа, 2010, 479 с.
13. В.Махов. Процессы сгорания в двигателях. Москва, МАДИ, 1980, 76 с.
14. Р.Мехтиев, М.Фарзалиев. Методика и программа расчета параметров рабочего процесса автомобильного бензинового двигателя. Метод.пособие. Баку, АзТУ, 2001, 201 с.
15. Дмитриевский А.В. Автомобильные бензиновые двигатели. – М.: Издательство АСТ, 2005. – 127 с.
16. Джеймс Д.Холдерман, Чейз Д.Митчелл-мл. Автомобильные двигатели: теория и техническое обслуживание. Пер. с англ. – Москва, изд.дом «Вильямс», 2006, 644 с.
17. Вахламов В.К., Шатров М.Г., Юрчевский А.А. Автомобили. Учебник. – М.: Издательский цент «Академия», 2008. – 816 с.
18. Шатров М.Г, Морозов К.А., Алексеев И.В. и др. Автомобильные двигатели. Учебник для вузов.– М.: Издательский цент «Академия», 2010.– 464 с.