



Bronius MERKYS

AVIACINIAI STŪMOKLINIAI VIDAUS DEGIMO VARIKLIAI

Projekto kodas

VP1-2.2-ŠMM 07-K-01-023

Studijų programų atnaujinimas
pagal ES reikalavimus, gerinant
studijų kokybę ir taikant
inovatyvius studijų metodus

Vilnius „Technika“ 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Bronius MERKYS

AVIACINIAI STŪMOKLINIAI VIDAUS DEGIMO VARIKLIAI

Mokomoji knyga



Vilnius „Technika“ 2012

B. Merkys. Aviaciniai stūmokliniai vidaus degimo varikliai: moko-
moji knyga. Vilnius: Technika, 2012, 113 p. [3,42 aut. l. 2012 06 26]

Knyga skirta studentams, studijuojantiems aeronautikos mokslo krypties, ae-
ronautikos inžinerijos sritį. Ją kaip mokymo priemonę galima panaudoti visur,
kur nagrinėjami aviacinių stūmoklinių vidaus degimo variklių darbo pagrindai
ir konstrukcijos.

Knyga susideda iš dviejų dalių. Pirmojoje aprašoma variklių klasifikacija,
nagrinėjami teoriniai darbo pagrindai, antra dalis skirta variklių mazgų ir sistemų
konstrukcijoms aptarti.

Leidinį rekomendavo VGTU Antano Gustaičio aviacijos instituto studijų komitetas

Recenzavo: lektorius Laurynas Naujokaitis, AGAI Aviacinės mechanikos
katedra

doc. dr. Domantas Bručas, AGAI Aviacinės mechanikos katedra

Leidiny s parengtas ir išleistas už Europos struktūrinių fondų lėšas, jomis finan-
suojant VGTU Transporto inžinerijos, Biomechanikos ir Aviacinės mechanikos
inžinerijos projektą „Studijų programų atnaujinimas pagal ES reikalavimus,
gerinant studijų kokybę ir taikant inovatyvius studijų metodus“ pagal Lietuvos
2007–2013 m. Žmoniškųjų išteklių veiksmų programos 2 prioriteto „Mokymasis
visą gyvenimą“ VP1-2.2-ŠMM-07-K priemonę „Studijų kokybės gerinimas,
tarptautiškumo didinimas“. Projekto kodas Nr. VP1-2.2-ŠMM 07-K-01-023, fi-
nansavimo ir administravimo sutartis Nr. VP1-2.2-ŠMM-07-K-01-023.

VGTU leidyklos TECHNIKA 1349-S mokomosios
metodinės literatūros knyga

<http://leidykla.vgtu.lt>

Redaktorė *Ramutė Pinkevičienė*
Maketuotoja *Daiva Šepetauskaitė*

eISBN 978-609-457-233-3

doi:10.3846/1349-S

© Bronius Merkys, 2012

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2012

TURINYS

Įvadas	5
1. Aviaciniai stūmokliniai vidaus degimo varikliai. Dvitaktis, dyzelinis ir rotorinis (Wankelio) vidaus degimo varikliai	7
1.1. Keturtaktis benzininis stūmoklinis vidaus degimo variklis	7
1.2. Dvitaktis vidaus degimo variklis	8
1.3. Dyzelis	12
1.4. Rotorinis (Wankelio) variklis	16
2. Keturtakčių vidaus degimo variklių klasifikacija	19
3. Keturtakčio vidaus degimo variklio darbo ciklas	24
4. Keturtakčio vidaus degimo variklio galia ir ekonomiškumas	42
5. Aviacinių keturtakčių vidaus degimo variklių charakteristikos	49
5.1. Išorinė charakteristika	49
5.2. Droselinė charakteristika	51
5.3. Aukščio charakteristikos	54
5.4 Aviacinių stūmoklinių variklių darbo režimai	56
6. Dyzelinų variklių darbo ypatybės	59
6.1. Degiojo mišinio ruošimas	59
6.2. Degimas	61
7. Pagrindinių stūmoklinio vidaus degimo variklio mazgų ir detalių konstrukcija	65
7.1. Cilindrai	65
7.2. Stūmokliai	66
7.3. Švaistikliai	68
7.4. Alkūniniai velenai	70
7.5. Blokai	73
7.6. Vožtuvų mechanizmas	75
8. Stūmoklinių vidaus degimo variklių degalų ir degiojo mišinio paruošimo sistemos	84
8.1. Lėktuvų su stūmokliniais vidaus degimo varikliais degalų sistemos	84

8.2. Degalų ir oro mišinys	87
8.2.1. Mišinio riebumas	87
8.2.2. Mišinio riebumo įtaka variklio darbui	87
8.3. Degiojo mišinio paruošimas	89
8.3.1. Degiojo mišinio paruošimas karbiuratoriuje	89
8.3.2. Karbiuratoriaus instaliavimas variklyje. Karbiuratoriaus apledėjimo įveikimo būdai	93
8.3.3. Degalų įpurškimas	95
8.4. Aviacinių keturtakčių stūmoklinių vidaus degimo variklių degalai	98
9. Uždegimo sistema	101
9.1. Magnetai	102
9.2. Uždegimo jungiklis	103
9.3. Magnetų veikimo patikrinimas	103
10. Tepimo sistema	104
10.1. Tepimo sistemų tipai, veikimas	104
10.2. Svarbiausi tepimo sistemos elementai	106
10.2.1. Alyvos bakas	106
10.2.2. Alyvos siurblys	106
10.2.3. Alyvos filtras	107
10.2.4. Alyvos radiatorius	108
10.2.5. Alyvos temperatūros ir slėgio kontrolės įranga	109
10.3. Aviacinių variklių alyvos	111
Literatūra	113

IVADAS

Stūmokliniai vidaus degimo varikliai iki pat Antrojo pasaulinio karo pabaigos buvo pagrindiniai aviacijoje naudojami varikliai. Tuo metu jų konstrukcija pasiekė savo tobulumo viršūnę. Buvo sukurti ne tik labai didelės galios benzininiai, bet ir patikimi ir taupūs aviaciniai dyzeliniai varikliai. Siekiant skraidyti greičiau ir pervežti didesnės masės krovinius, reikėjo užtikrinti didesnę aviacinių variklių galią. Jau tuo metu paaiškėjo kad, pasiekus keleto tūkstančių kilovatų galią, tolesnis galios augimas įmanomas tik variklio masės augimo sąskaita, o variklio masė didėja greičiau nei jo galia. Be to, stūmokliniai vidaus degimo varikliai priskiriami prie netiesioginės reakcijos variklių grupės. Tai reiškia, kad norint gauti trauką, jiems būtini propeleriai. Smarkiai išaugus skrydžio greičiui, propelerio naudingojo veikimo koeficientas ėmė kristi. Variklio ir propelerio derinys nėra veiksmingas. Atsiradę reaktyviniai varikliai neturėjo visų šių trūkumų, todėl labai greitai užėmė svarbiausias pozicijas karinėje, o šiek tiek vėliau ir civilinėje aviacijoje.

Vis dėlto stūmokliniai vidaus degimo varikliai liko svarbiausi lengvojoje aviacijoje, nepasižyminčioje dideliais skrydžių greičiais ir sunkiais gabenamais krovniais. Būtent čia atsiskleidė svarbiausi stūmoklinių vidaus degimo variklių privalumai: paprastumas, patikimumas ir pigumas.

Deja, tai, kad šio tipo varikliai dabar naudojami daug rečiau ir jų rinka labai susiaurėjo, sulėtino jų techninio tobulinimo tempus. Dėl sudėtingų ir brangių sertifikavimo procedūrų gamintojams tapo nepelninga diegti naujausius vidaus degimo variklių konstrukcinius pasiekimus aviacijoje. Todėl sertifikuotuose aviaciniuose varikliuose gana vėlai atsirado elektroninės uždegimo ir degalų įpurškimo sistemos, kitos naujausios technologijos, seniai taikomos automobilių pramonėje.

Knyga sudaryta iš dviejų dalių. Pirmoje dalyje daugiau dėmesio skiriama variklio darbo teoriniams pagrindams, ciklui. Antroje dalyje plačiau nagrinėjama variklių konstrukcija. Abiejose dalyse pabrėžiamos būtent aviacinių stūmoklinių vidaus degimo variklių darbo ir

konstrukcijos ypatybės. Tai pat pabandyta aptarti aviacinių stūmoklinių vidaus degimo variklių eksploatacijos klausimus.

Šiuolaikinėje aviacijoje, be benzininių stūmoklinių vidaus degimo variklių, naudojami ir dyzeliai bei rotoriniai Wankelio varikliai. Pastarųjų negalima tiesiogiai priskirti prie stūmoklinių variklių, tačiau savo darbo principais jie vis dėlto artimi stūmokliniams varikliams. Todėl, nors ir labai trumpai, išnagrinėti tiek dyzeliai, tiek rotoriniai aviaciniai varikliai.

1. AVIACINIAI STŪMOKLINIAI VIDAUS DEGIMO VARIKLIAI. DVITAKTIS, DYZELINIS IR ROTORINIS (WANKELIO) VIDAUS DEGIMO VARIKLIAI

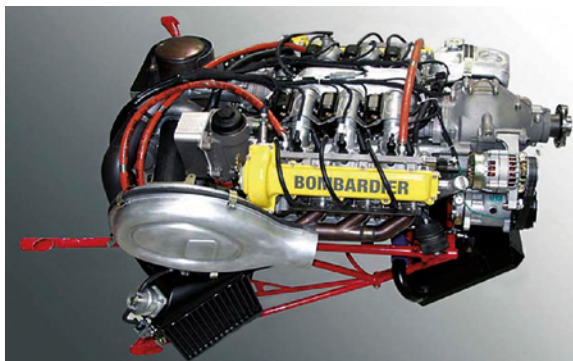
Šio tipo varikliai priskiriami prie netiesioginės reakcijos variklių klasės. Tai seniausiai aviacijoje naudojami varikliai. Pagal veikimo principą jie skirstomi į:

1. Keturtakčius benzininius (dar vadinamus Otto varikliais);
2. Dvitakčius;
3. Dyzelius;

4. Rotorinius (Wankelio). Pastarieji nėra stūmokliniai varikliai, nes juose deginant degalus išsiskyrusi energija mechaniniu darbu paverčiama ne pasitelkiant stūmoklį, bet rotorį. Rotoriniai varikliai kol kas aviacijoje naudojami retai, dažniausiai lengvuose mėgėjiškuose orlaiviuose.

1.1. Keturtaktis benzininis stūmoklinis vidaus degimo variklis

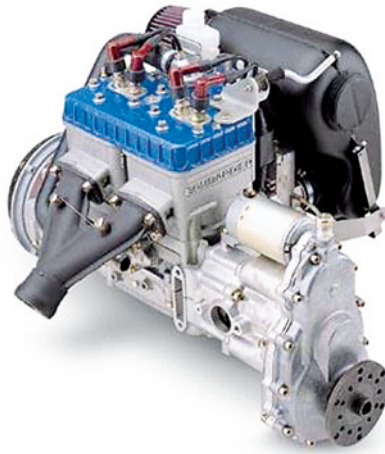
Keturtakčiai benzininiai varikliai gana plačiai naudojami nedidelio kilimo svorio lėtai skrendančiuose orlaiviuose. Juose geriausiai atsiskleidžia tokių variklių privalumai. Dėl to šio variklio darbas bus nagrinėjamas atskirai ir smulkiau. Taip pat bus trumpai apžvelgta atskirų jo dalių konstrukcija.



1.1 pav. Aviacinis šešių cilindrų keturtaktis vidaus degimo variklis ROTAX V300T.

1.2. Dvitaktis vidaus degimo variklis

Dvitakčio vidaus degimo variklio sandara labai panaši į keturtakčio. Skirtumas tik tas, kad dvitaktis variklis neturi vožtuvų mechanizmo. Jo vaidmenį atlieka stūmoklis, atidarantis arba uždarantis įsiurbimo ir išmetimo angas. Dvitaktis variklis įsiurbia karbiuratoriuje jau paruoštą degalų ir oro mišinį.



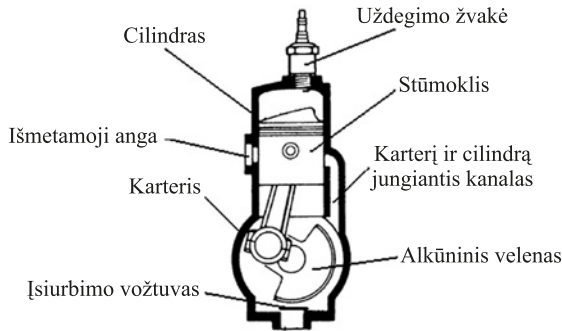
1.2 pav. Dviejų cilindrų aviacinis dvitaktis vidaus degimo variklis ROTAX 582.

Dvitakčio variklio karteryje sukasi alkūninis velenas. Karteryje taip pat yra ir įsiurbimo vožtuvas. Bet jis veikia tik nuo slėgių skirtumo. Karteryje esant žemesniam nei aplinkos slėgiui jis atsidaro ir leidžia įsiurbti eilinę degalų ir oro mišinio porciją. Kai slėgis karteryje pakyla, jis užspaudžia įsiurbimo vožtuvą. Dėl to suslėgtas degusis mišinys negali išsiveržti į lauką.

Cilindre aukštyn ir žemyn juda stūmoklis, švaistikliu sujungtas su alkūniniu velenu. Cilindro sienelėje yra išmetimo anga, per kurią išmetimo metu į aplinką pašalinami degimo produktai. Šią angą uždaro pats stūmoklis savo šoniniu paviršiumi ir atidaro būdamas arti kraštinės apatinės padėties, kai reikia, kad degimo produktai būtų išmesti iš cilindro.

Cilindrą su karteriu jungia kanalas. Juo degusis mišinys iš karterio patenka į cilindro viršutinę ertmę. Kaip ir išmetimo angą, šio kanalo angą uždaro stūmoklis savo šoniniu paviršiumi. Anga atidaroma tik truputį vėliau, nei prasideda išmetimas per išmetimo angą.

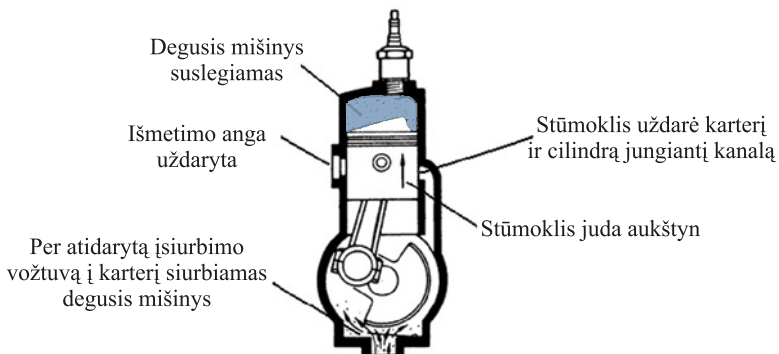
Kaip ir keturtakčiame, dvitakčiame variklyje degusis mišinys uždegamas elektrinės uždegimo žvakės kibirkštimi.



1.3 pav. Dvitakčio vidaus degimo variklio sandara.

Skirtingai nei keturtakčio, dvitakčio vidaus degimo variklio darbo ciklas susideda iš dviejų taktų:

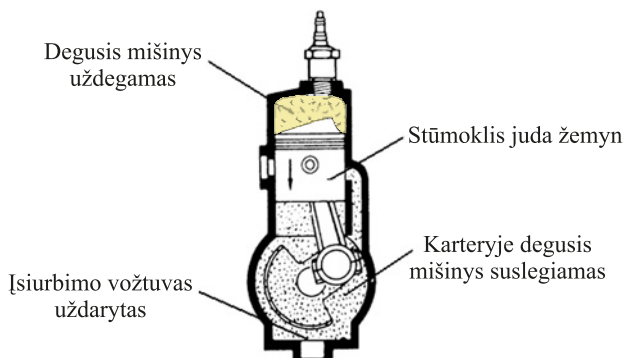
1. Įsiurbimo ir suslėgimo taktas. Jo metu judėdamas nuo apatinio rimties taško (ART) iki viršutinio rimties taško (VRT) aukštyn stūmoklis suslegia oro ir degalų mišinį.



1.4 pav. Dvitakčio vidaus degimo variklio veikimas įsiurbimo suslėgimo takto metu.

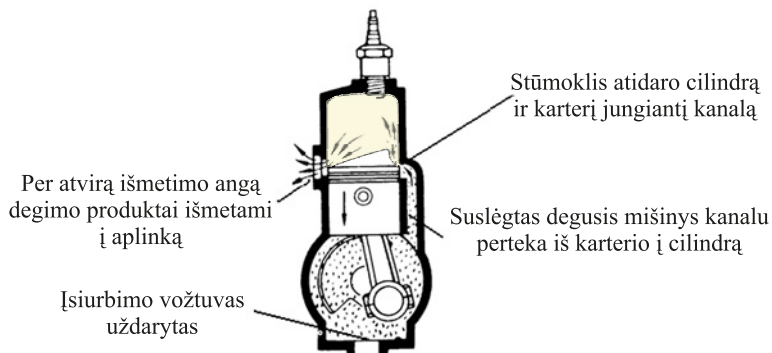
Išmetimo ir karterį su cilindru jungiančio kanalo angos užblokuotos šoniniu stūmoklio paviršiumi. Stūmokliui judant aukštyn, po juo esantis tūris didėja, todėl, sumažėjus slėgiui, atsidaro įsiurbimo vožtuvas ir per jį iš karbiuratoriaus į karterį įsiurbiamas oro ir degalų mišinys.

2. *Darbo eigos ir išmetimo taktas.* Takto pradžioje žvakė uždega virš stūmoklio esantį suslėgtą degujį mišinį. Mišiniui degant susidariusios didelio slėgio karštos dujos stumia stūmoklį žemyn. Švaistiklis su alkūniniu vėlenu slenkamąjį stūmoklio judesį transformuoja į sukamąjį. Pastarasis naudojamas sraigčiai sukti.



1.5 pav. Dvitakčio vidaus degimo variklio veikimas darbo eigos ir išmetimo takto pradžioje.

Stūmokliui judant žemyn, slėgis karteryje padidėja. Dėl to užsidaro įsiurbimo vožtuvas, o karteryje esantis degalų ir oro mišinys paslegiamas. Priartėjęs prie ART, stūmoklis atidengia išmetimo angą ir karštos dujos ima veržtis iš cilindro. Dar po akimirkos stūmoklis atidaro ir karterį su cilindru jungiančio kanalo angą. Cilindras pradeda mas pildyti karteryje suslėgtu degalų ir oro mišiniu. Degusis mišinys padeda išstumti iš cilindro degimo produktus, prapūsdamas jį. Tačiau šis procesas vyksta labai greitai. Niekada nepavyksta visiškai pašalinti sudegusių degalų iš cilindro ir kokybiškai pripildyti jį degalų bei oro mišinio prieš prasidedant naujam taktui.



1.6 pav. Dvitakčio vidaus degimo variklio veikimas išmetimo ir cilindro pripildymo nauja degiojo mišinio porcija metu (darbo eigos ir išmetimo takto pabaigoje).

Dėl cilindrų pripildymo degalų ir oro mišiniu ypatybių sunku sukurti didelės galios dvitaktį vidaus degimo variklį, nes negalima naudoti didelio darbinio tūrio cilindrų. Dvitakčio variklio privalumai:

1. Jis paprastas;
2. Pigus;
3. Geras variklio masės ir galios santykis.

Trūkumai:

1. Nepakankamai sudeginami degalai (nes nepavyksta visiškai pašalinti degimo produktų iš cilindro, išmetimo metu neišvengiamai pašalinama ir dalis degiojo mišinio);

2. Didelės degalų sąnaudos;
3. Nestabilus uždegimas;
4. Sudėtingiau užvesti.

Dvitakčio variklio trūkumai gali būti sušvelninti panaudojus degalų įpurškimą, papildomą įpūtimą ir padidinus alkūninio veleno sukčius. Tačiau šios priemonės blogina privalumus.

Šio tipo varikliai plačiai naudojami motosklandytuvuose, ultralengvuosiuose lėktuvuose.

1.3. Dyzelis

Dyzeliniai varikliai aviacijoje naudoti dar Antrojo pasaulinio karo metu. Iškilus poreikiui padidinti tolimojo veikimo bombonešių skrydžio nuotolį, buvo sukurti aviaciniai dyzeliai. Tačiau jie sudėtingesni ir kaprizingesni nei benzininiai keturtakčiai vidaus degimo varikliai. Todėl pasibaigus karui visas dėmesys sutelktas benzininiams ir turbo-reaktyviniams varikliams tobulinti. Pastaraisiais metais dyzeliai vėl pradėti naudoti lengvuose lėktuvuose.

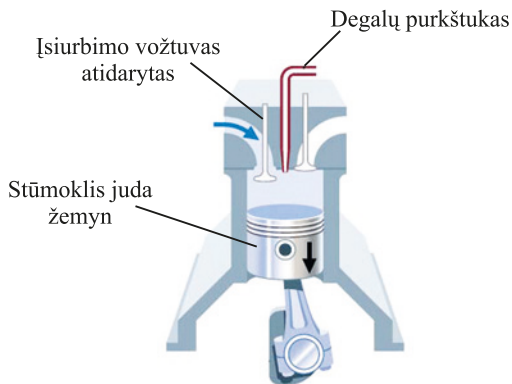


1.7 pav. Naujausios kartos aviacinis dyzelinis variklis „Theilert Centurion 4.0“.

Dyzelinis variklis dirba visiškai taip pat, kaip keturtaktis Otto variklis. Skirtumas tik tas, kad į dyzelio cilindrą degalai patenka ne kaip degalų ir oro mišinys įsiurbimo takto metu, o yra įpurškiami suslėgti labai aukštu slėgiu suslėgimo takto pabaigoje. Be to, dyzelis neturi uždegimo sistemos. Įpurkšti į cilindrą nuo kontakto su karštu suslėgtu oru degalai užsiliepsnoja savaime.

Dyzelio darbo ciklas taip pat susideda iš keturių taktų. Jis veikia taip:

1. *Įsiurbimas.* Šio takto metu stūmoklis juda žemyn nuo VRT iki ART. Įsiurbimo vožtuvas yra atidarytas, o išmetimo – uždarytas.

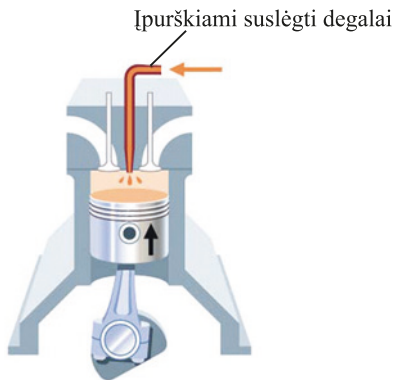


1.8 pav. Dyzelio darbas įsiurbimo takto metu.

Stūmokliui judant žemyn įsiurbiamas oras iš aplinkos (o ne oro ir degalų mišinys, kaip Otto variklyje).

Įsiurbimo taktas baigiasi stūmokliui pasiekus ART ir užsidarius įsiurbimo vožtuvui.

2. *Suslėgimas.* Pasibaigus įsiurbimui, stūmoklis pradeda judėti nuo ART į VRT. Įsiurbimo ir išmetimo vožtuvai lieka uždaryti.



1.9 pav. Dyzelio darbas suslėgimo takto pabaigoje.

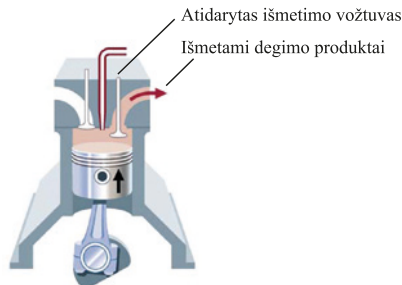
Stūmokliui judant VRT link, virš jo likęs cilindro tūris mažėja. Cilindre esantis oras suslegiamas. Suslėgimo takto pabaigoje, stūmokliui priartėjus prie VRT, į cilindrą per purkštuką įpurškiami suslėgti degalai.

3. *Degimas arba darbo eiga.* Įpurškus degalus į cilindrą, jie savaime užsidega. Abu vožtuvai ir toliau lieka uždaryti. Degant degalams susidariusios aukšto slėgio dujos spaudžia stūmoklį žemyn. Dujų slėgis per švaistiklį panaudojamas alkūniniam velenui sukti. Darbo eigos taktas baigiasi stūmokliui pasiekus ART ir atidarius išmetimo vožtuvą. Dyzelyje, kaip ir Otto variklyje, tik darbo takto metu variklis kuria mechaninę energiją. Kitiems taktams atlikti reikalinga mechaninė energija, sukaupia degimo takto metu.



1.10 pav. Dyzelio darbas darbo eigos takto metu.

4. *Išmetimas.* Tai paskutinis dyzelio ciklo taktas. Stūmokliui pasiekus ART, atidaromas išmetimo vožtuvas.



1.11 pav. Dyzelio darbas išmetimo takto metu.

Stūmokliui judant VRT link, iš cilindro išstumiami degimo produktai. Išmetimo taktas baigiasi stūmokliui pasiekus VRT ir uždarius išmetimo vožtuvą.

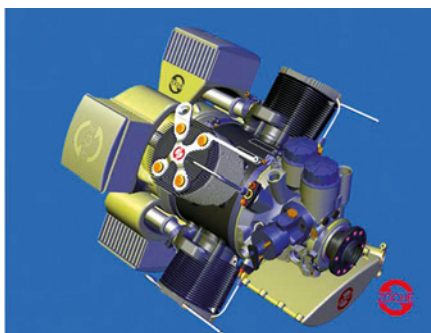
Toliau dyzelinio variklio darbo taktai kartojasi tokia pat tvarka.

Dyzelis ekonomiškesnis už benzinu varomą keturtaktį vidaus degimo variklį. Tačiau jo paties masės ir išvystomos galios santykis blogesnis. Padėtį galima pagerinti panaudojus įpūtimą. Bet tai dar pa-brangina ir šiaip jau sudėtingą bei brangų variklį. Palyginti su ben-zininiais, dyzeliai daug sudėtingesni bei brangesni, nes sudėtinga jų degalų įpurškimo ir dozavimo sistema. Be to, dyzeliai labiau teršia orą (ypač didelė jų tarša suodžiais). Tai svarbus trūkumas atsižvelgiant į griežtėjančius ekologijos reikalavimus.

Tačiau dyzelinis variklis lengvai pritaikomas darbui su reakty-vinių variklių degalais žibalu. Dėl to supaprastėja lėktuvų su dyze-liniais varikliais eksploatacija oro uostuose. Žibalo, skirto aviaci-niams varikliams, kaina žemesnė nei aviacinio benzino. Įvertinus dyzelio ekonomiškumą, gaunama nemaža eksploatacijos sąnaudų ekonomija, palyginti su Otto varikliu. Ypač tai juntama aktyviai eksploatuojant lėktuvą. Dėl šių priežasčių aviacinių dyzelių variklių pardavimas didėja.



A

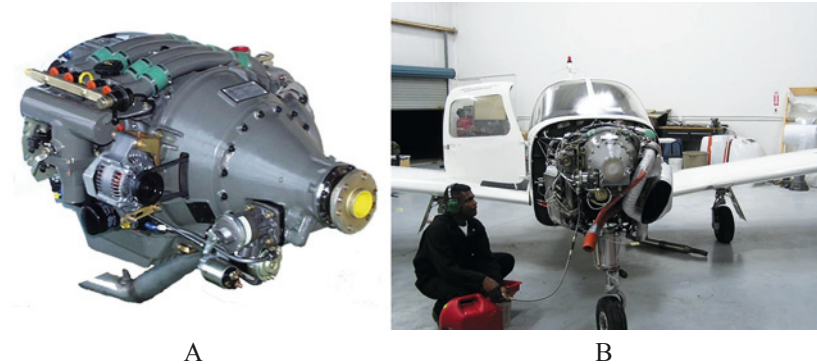


B

1.12 pav. Aviaciniai dyzeliai: A – keturių cilindrų opozicinis SMA variklis;
B – keturių cilindrų žvaigždinis ZOCHE variklis.

1.4. Rotorinis (Wankelio) variklis

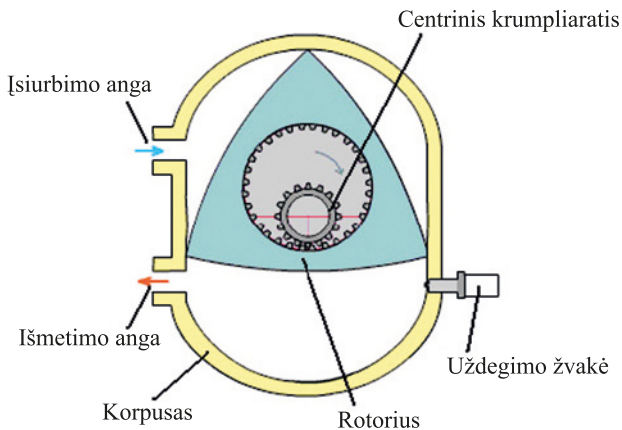
Sertifikuotų aviacinių šio tipo variklių dar nėra. Tačiau mėgėjiškuose orlaiviuose jie naudojami.



1.13 pav. Aviacinis rotorinis variklis „Mistral“ (A) ir lėktuvas su instaliuotu tokio tipo varikliu (B).

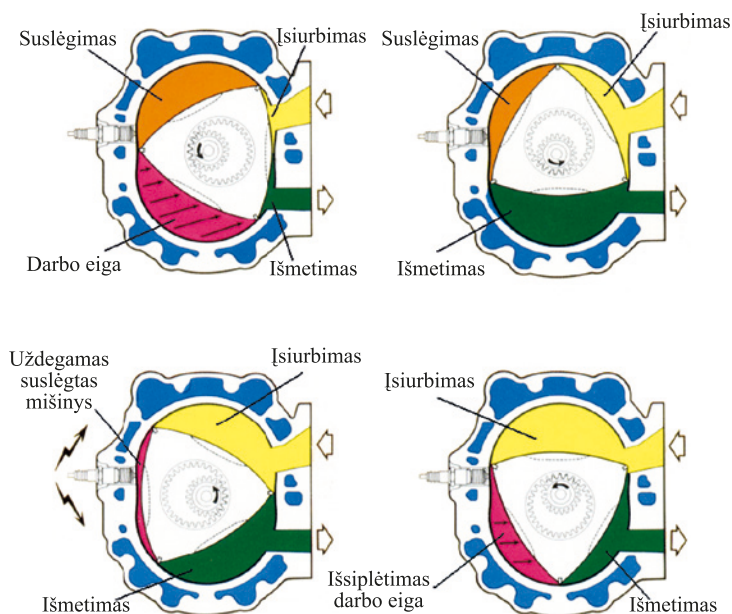
Funkciniu požiūriu rotorinis variklis palyginamas su dvitakčiu stūmokliniu vidaus degimo varikliu. Jis neturi įsiurbimo ir išmetimo vožtuvų (yra tik įsiurbimo ir išmetimo angos).

Wankelio variklio korpuse yra dviejų tarpusavyje sujungtų cilindų pavidalo ertmė, kurioje sukasi rotorius (1.14 pav.).



1.14 pav. Rotorinio Wankelio variklio sandara.

Rotoriaus viduryje padaryta cilindrinė kiaurymė su sienelėse įpjautais krumpliais. Taigi ši kiaurymė atlieka vidinio sukabinimo krumpliaračio vaidmenį. Variklio centre esantis centrinis krumpliaračis sukabinamas su rotoriaus krumpliaračiu. Trikampio rotoriaus kampai tarpusavyje sujungti apskritimo lankais. Tokia rotoriaus geometrija ir jo sukabinimas su centriniu krumpliaračiu bei korpuso vidinės ertmės forma verčia rotorius esant bet kuriai galimai padėčiai kampais remtis į vidinę korpuso ertmę. Rotoriui judant, tarp korpuso ir rotoriaus sienelių susidaro kintami uždari tūriai, į kuriuos įsiurbiamas degalų ir oro mišinys, jis suslegiamas, uždegamas, o išsiplėsdami degimo produktai suka rotorius. Vėliau jie išstumiami per išmetimo angą. Rotoriniame Wankelio variklyje tuo pačiu metu vyksta visi keturi vidaus degimo variklio taktai: įsiurbimas, suslėgimas, darbo eiga ir išmetimas.



1.15 pav. Rotorinio Wankelio variklio darbo schema.

Keturaktis vidaus degimo variklis pusę savo darbo ciklo dirba kaip kompresorius, o rotorinis visus taktus atlieka iškart, todėl to pa-

ties darbo tūrio rotorinio variklio galia daug didesnė. Taigi Wankelio variklis bus kur kas galingesnis nei tokių pat gabaritų bei masės keturtaktis vidaus degimo variklis. Kad rotorinis variklis dirbtų tolygiau, jame montuojama keletas į eilę sustatytų rotorių, sukančių vieną veleną. Rotoriniame variklyje nėra slenkamąjį ir grįžtamąjį judesį atliekančių dalių. Todėl jis mažiau vibruoja, tylesnis. Paprasčiau sumontuoti variklį (žemesnis vibracijų lygis supaprastina jo tvirtinimą), lengviau išbalansuoti sistemą – variklis ir sraigtas.

Tačiau rotorinis Wankelio variklis turi ir trūkumų:

1. Sudėtinga užsandarinti rotoriaus ir cilindro susilietimo taškus, galines rotoriaus plokštumas;
2. Rotorius sukasi dideliais sūkiais, todėl dažniausiai būtinas reduktorius.
3. Neekonomiškas.

2. KETURTAKČIŲ VIDAUS DEGIMO VARIKLIŲ KLASIFIKACIJA

Keturtakčiai stūmokliniai vidaus degimo varikliai skirstomi pagal šiuos požymius:

- cilindrų išdėstymą;
- pavaros tipą;
- sukimosi kryptį;
- aušinimo būdą;
- degiojo mišinio paruošimo būdą;
- įjeinančio oro paslėgimo būvimą.

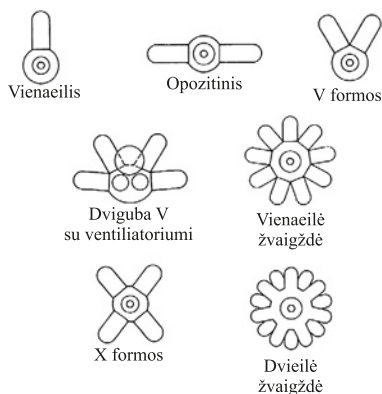
Yra ir daugiau smulkesnių klasifikavimo požymių, tačiau jie svarbūs tik siauros srities specialistams.

Cilindrų išdėstymas

Pagal cilindrų išdėstymą varikliai gali būti:

- opoziciniai;
- žvaigždiniai (žvaigždė gali būti iki keturių eilių);
- išdėstyti tiesiogine arba apversta eile (vienaeiliai);
- V formos (tiesioginės arba apverstos);

Taip pat, nors ir rečiau, pasitaiko ir kitokių variklio cilindrų išdėstymo variantų.



2.1 pav. Aviacinių variklių cilindrų išdėstymas.



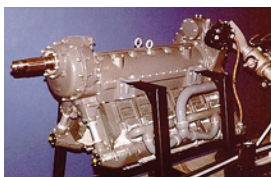
A. Vienaeilis variklis.



B. Šešių cilindrų opozicinis variklis.



C. V formos variklis.



D. Atvirkščios V formos variklis.



E. Vienaeilės žvaigždės tipo variklis

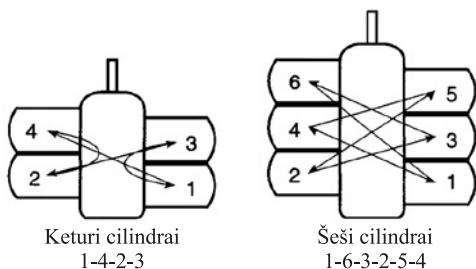


F. Ketureilės žvaigždės tipo variklis.

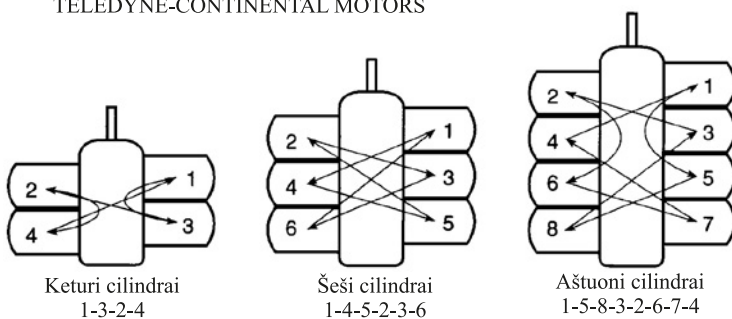
2.2 pav. Aviacinių variklių tipų pagal cilindrų išdėstymą pavyzdžiai.

Ekspluatuojant ir aptarnaujant stūmoklinius vidaus degimo variklius svarbu žinoti cilindrų numeraciją. Pagal ją aprašoma uždegimo cilindruose tvarka.

Skirtingi opozicinių variklių gamintojai gali naudoti skirtingą cilindrų numeracijos ir darbo eiliškumo tvarką. 2.3 pav. parodyta svarbiausių šiuolaikinių opozicinių aviacinių variklių gamintojų „Teledyne-Continental Motors“ ir „Textron-Lycoming“ naudojama cilindrų numeracija ir jų darbo tvarka.



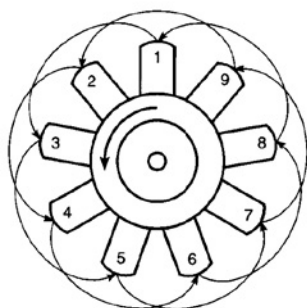
TELEDYNE-CONTINENTAL MOTORS



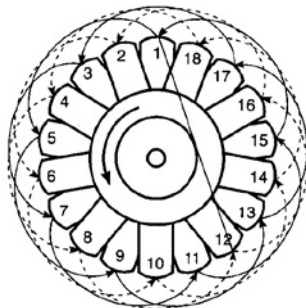
TEXTRON-LYCOMING

2.3 pav. „Teledyne-Continental Motors“ ir „Textron-Lycoming“ naudojama cilindų numeracija ir jų darbo tvarka.

Žvaigždinių variklių cilindų numeracija ir jų darbo tvarka priklauso nuo cilindų ir jų eilių skaičiaus.



Devynių cilindų vienaeilė žvaigždė
1-3-5-7-9-2-4-6-8



Aštuoniolikos cilindų dvieilė žvaigždė
1-12-5-16-9-2-13-6-17-10-3-14-7-18-11-4-15-8

2.4 pav. Žvaigždinių variklių cilindų numeracija ir jų darbo tvarka.

Žvaigždinių variklių cilindrų numeracija pradedama skaičiuoti nuo viršutinio cilindro ir skaičiuojama pagal alkūninio veleno sukimosi kryptį, įskaitant visus cilindrus iš eilės, neatsižvelgiant, kurioje eilėje jie yra.

Pavaros tipas

Pagal tai, kaip alkūninio veleno judesys perduodamas propeleriui, aviaciniai varikliai gali būti bereduktoriai ir reduktoriniai. Bereduktorio variklio alkūninis velenas baigiasi propelerio tvirtinimo mazgu. Tokio variklio alkūninio veleno sukimasis tiesiogiai perduodamas propeleriui.

Jeigu alkūninio veleno sūkiai per aukšti, kad užtikrintų veiksmingą propelerio darbą, tarp alkūninio veleno ir propelerio montuojamas reduktorius (dažniausiai naudojami sūkius pažeminantys reduktoriai). Variklis, turintis sūkius keičiantį reduktorių, vadinamas reduktoriniu.

Sukimosi kryptis

Variklio alkūninis velenas gali sukis tiek pagal, tiek ir prieš laikrodžio rodyklę. Parenkant propelerį, projektuojant lėktuvą ir eksploatuojant variklį svarbu žinoti variklio alkūninio veleno sukimosi kryptį. Pagal tai, į kurią pusę sukasi alkūninis velenas (nustatant sukimosi kryptį reikia žiūrėti iš variklio galo), būna dešiniojo ir kairiojo sukimosi varikliai.

Aušinimo būdas

Pagal tai, koks šilumos nešiklis naudojamas perteklinei šilumai paimiti iš variklio konstrukcijos elementų, aviaciniai varikliai gali būti aušinami:

- oru (dažniausiai paplitęs būdas);
- skysčiu;
- kombinuotai (dalis skysčiu, dalis oru).

Degiojo mišinio paruošimo būdas

Mišinys keturtakčiams stūmokliniams vidaus degimo varikliams gali būti ruošiamas:

- karbiuratoriuje;
- naudojant įpurškimo sistemą.

Varikliai su atitinkamomis degiojo mišinio paruošimo sistemomis vadinami karbiuratoriniais ir varikliais su įpurškimu.

Įeinančio oro paslėgimas:

Kai įsiurbimo takto metu į cilindrus tiesiogiai įsiurbiamas nepaslėgtas oras, variklis vadinamas atmosferiniu. Tačiau kylant aukštynei aplinkos oro slėgis mažėja. Kartu mažėja ir į cilindrus įsiurbiamo oro kiekis. Dėl to kylant aukštynei variklio galia krinta. Specialiame kompresoriuje suslėgus orą dar prieš jam patenkant į cilindrus galima gauti didesnę galią žemės sąlygomis ir sumažinti galios kritimą kylant aukštynei. Tokį kompresorių turintis variklis vadinamas kompresoriniu arba varikliu su įpūtimu.

Paprastai stūmoklinio vidaus degimo variklio žymėjimas nurodo jo klasifikacinius požymius. Pavyzdžiui, „Textron Lycoming AEIO 540 LIB5“ variklių žymėjimas reiškia:

AE – variklis, skirtas akrobatiniams lėktuvams (specialiai pritaikytos degalų ir tepimo sistemos);

I – degalų sistema su įpurškimu;

O – opozicinis cilindų išdėstymas;

540 – cilindro tūris 540 kubinių colių;

L – kairioji sukimo kryptis;

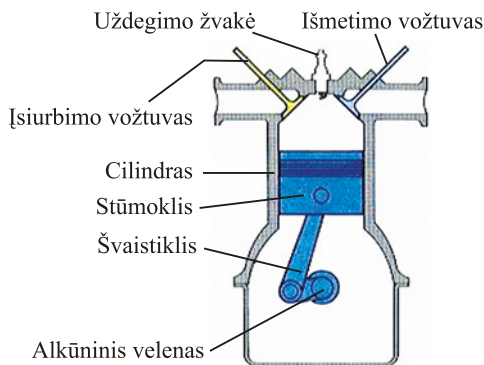
IB5 – variklio pagaminimo variantas.

Jei variklio pagaminimo variante yra raidė „G“, tai reiškia, kad jis turi reduktorių, raidė „S“ rodo, kad variklis yra su įpūtimu.

3. KETURTAKČIO VIDAUS DEGIMO VARIKLIO DARBO CIKLAS

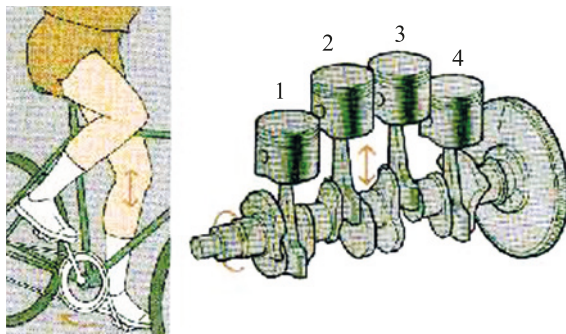
Nedideliuose ir negreituose lėktuvuose net ir šiais laikais dažnai naudojami stūmokliniai vidaus degimo varikliai. Jie negali išvystyti didelės galios. Kadangi tai netiesioginės reakcijos varikliai, tai traukai išgauti naudojamas sraigtas, neleidžiantis pasiekti didelių skridimo greičių. Tačiau visus tokio tipo variklio trūkumus kompensuoja jo santykinis pigumas ir paprastumas.

Stūmoklinio variklio cilindruose deginami degalai. Jų degimo šiluminė energija paverčiama mechanine, kai dujų slėgis verčia judėti stūmoklį. Slenkamasis stūmoklio judesys paverčiamas sukimu švaistikliui sukant alkūninį veleną. Todėl bet kuris stūmoklinis vidaus degimo variklis būtinai sudarytas iš cilindro, stūmoklio, švaistiklio, alkūninio veleno (1 pav.).



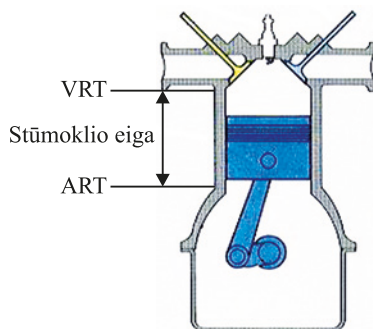
3.1 pav. Keturtakčio vidaus degimo variklio sandara

Laiptuotas alkūninis velenas kartu su švaistikliu slenkamąjį stūmoklio judesį paverčia sukamuoju. Savo veikimu jis labai primena dviračio pedalų mechanizmą.



3.2 pav. Alkūninio veleno judesio transformacijos principas.

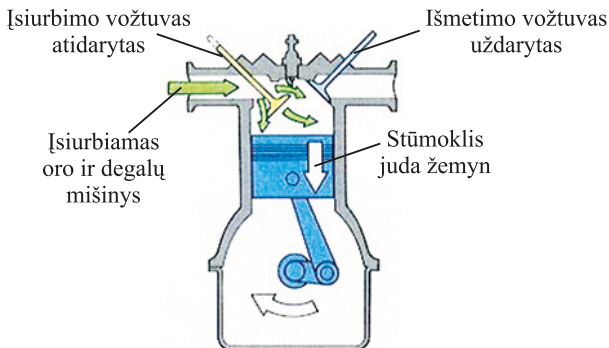
Stūmoklinis variklis šilumą paverčia mechaniniu darbu, kai nepertraukiamai kinta darbinės medžiagos (dujų) būklė nuosekliai keičiantis šiems procesams: degalų ir oro mišinio įsiurbimui į cilindrą, suspaudimui, dujų išsiplėtimui ir panaudotų dujų išmetimui. Šie procesai vadinami darbo taktais (kadangi jie keturi, tai ir variklis vadinamas keturtakčiu). Keturtakčiame variklyje šie procesai įvyksta stūmokliui atliekant keturias eigas (taktus). Visi keturi taktai sudaro variklio darbo ciklą. Ciklo metu alkūninis velenas apsisuka du kartus. Stūmoklio eiga cilindre turi du ypatingus taškus (3.3 pav.). Kraštinę stūmoklio padėtį, artimiausią cilindro viršutinei daliai, vadiname „viršutiniu rimties tašku“ (VRT). Stūmokliui nusileidus arčiausiai alkūninio veleno, jis atsiranda „apatiniame rimties taške“ (ART).



3.3 pav. Charakteringos stūmoklio padėtys.

Šie taškai dar pasižymi tuo, jog juose stūmoklis trumpam sustoja. Keturių taktų visuma vadinama variklio darbo ciklu. Darbo taktai keičia vienas kitą šia tvarka:

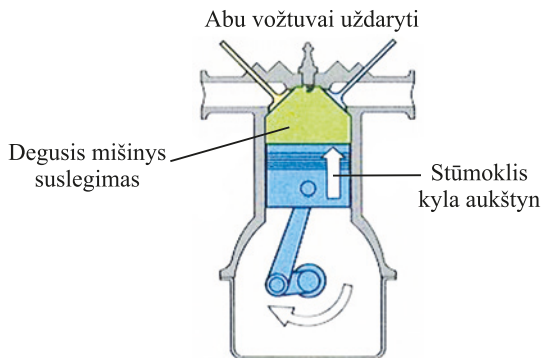
1. *Įsiurbimo taktas*. Jis vyksta stūmokliui judant iš VRT iki ART.



3.4 pav. Įsiurbimo taktas.

Šio takto metu degalų ir oro mišinys per atidarytą įsiurbimo vožtuvą pripildo cilindro ertmę, esančią virš stūmoklio. Įsiurbimo takte išmetimo vožtuvas yra uždarytas.

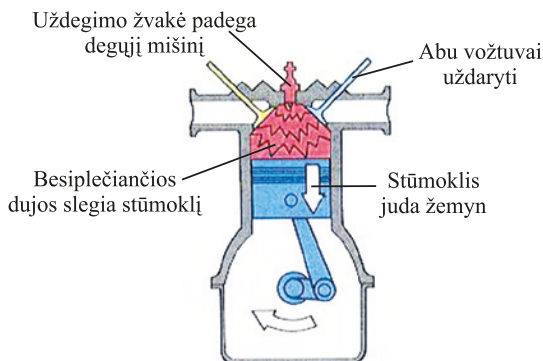
2. *Suslėgimas*. Jis vyksta stūmokliui judant nuo ART iki VRT.



3.5 pav. Suslėgimo taktas.

Abu vožtuvai uždaryti. Mažėjant virš stūmoklio esančiam tūriui, degusis mišinys suslegiamas. Suslėgimo taktui baigiantis, kai stūmoklis yra arti VRT (alkūniniam velenui nepasisukus $20 \div 40$ laipsnių iki VRT padėties), degusis mišinys uždegamas elektrinės uždegimo žvakės kibirkštimi.

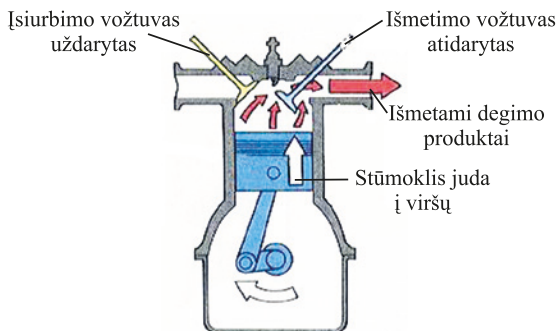
3. Išsiplėtimas arba darbinė eiga.



3.6 pav. Darbinė eiga.

Kaip ir įsiurbimo takto metu, stūmoklis vėl juda žemyn. Tačiau šiame takte visi vožtuvai uždaryti. Degimo produktai, turintys aukštą temperatūrą bei didelį slėgį, plečiasi ir stumia stūmoklį žemyn.

4. Išmetimas. Judėdamas aukštyn stūmoklis išstumia iš cilindro degimo produktus. Šio takto pradžioje išmetimo vožtuvas atsidaro ir lieka atidarytas iki įsiurbimo takto pradžios. Įsiurbimo vožtuvas uždarytas.



3.7 pav. Išmetimo taktas.

Išmetimo taktu varikio darbo ciklas baigiasi ir prasideda naujas ciklas, kurio metu darbo taktai keičia vienas kitą jau išnagrinėta seka.

Išsiurbimo metu cilindras pripildo naujo degalų ir oro mišinio, kuriam sudegus, išsiskiria šiluma. Kuo daugiau degiojo mišinio bus išsiurbama į cilindrą, tuo didesnę galią išvystys variklis sudegindamas šį mišinį. Didėjant aviacinio variklio darbo aukščiui, mažėja išsiurbiamo oro tankis. Todėl mažėja į cilindrą patenkančio oro masė, dėl to, kylant aukšty, stūmoklinio variklio išvystoma galia krinta.

Atstumas, kurį stūmoklis nueina judėdamas nuo VRT iki ART, vadinamas stūmoklio eiga S . Vieną eigą stūmoklis atlieka per pusę alkūninio veleno apsisukimo. Pažymėję alkūninio veleno alkūnės centro atstumą nuo jo sukimosi ašies raide R , gausime:

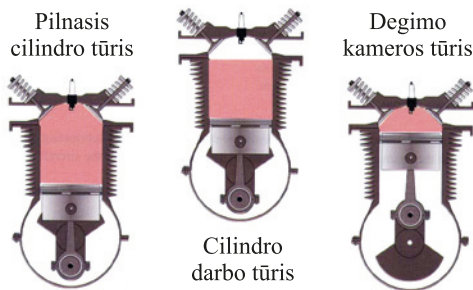
$$S=2 R$$

Cilindro laisvasis tūris, esantis virš stūmoklio, kai šis yra VRT, vadinamas degimo kameros tūriu (kartais vadinama „suslėgimo kameros tūriu“) V_c . Cilindro tūris, apribotas stūmoklio VRT ir ART (viršutine bei apatine stūmoklio padėtimis), vadinamas cilindro darbo tūriu V_h . Žinant cilindro skersmenį D ir stūmoklio eigą S , galima užrašyti:

$$V_h=((\pi D^2)/4) S$$

Daugiacilindrių variklių visų cilindrų darbo tūrių suma vadinama variklio darbo tūriu. Cilindro degimo kameros ir darbinio tūrių suma vadinama pilnuoju cilindro tūriu V_a :

$$V_a=V_c+V_h$$



3.8 pav. Cilindro ir degimo kameros tūriai.

Pilnojo cilindro tūrio santykis su degimo kameros tūriu vadinamas suslėgimo laipsniu ϵ :

$$\epsilon = V_a / V_c = 1 + V_h / V_c$$

Nuo suslėgimo laipsnio labai priklauso variklio galia ir ekonomiškumas. Aviacinių benzininių variklių suslėgimo laipsnis svyruoja $\sigma = 5 \div 9$.

Pagal degiojo mišinio paruošimo būdą stūmokliniai vidaus degimo varikliai skirstomi į karbiuratorinius ir variklius su įpurškimu.

Karbiuratorinio variklio degiojo mišinio paruošimas pradedamas karbiuratoriuje ir baigiamas cilindre.

Degalų įpurškimo sistemų įvairovė didesnė. Degalai gali būti įpurškiami į įsiurbimo kolektorių, o gautas mišinys siurbiamas į cilindrą. Į kolektorių degalai purškiami per vieną, bendrą visiems cilindrams purkštuką (tai vadinama vienataškiu įpurškimu) ar ties kiekvienu cilindru montuojant atskirus purkštukus (daugiataškis įpurškimas). Aviacijoje dažniau naudojamos tiesioginio įpurškimo sistemos, kai degalai įpurškiami tiesiogiai į cilindrą įsiurbimo takto metu. Degalų įpurškimas gali būti valdomas hidromechanine sistema ar elektronikos. Pastaroji kur kas tobulesnė, leidžianti pasiekti didesnę galią ir ekonomiškumą.

Detaliau panagrinėsime variklio darbo ciklo metu vykstančius procesus:

Įsiurbimas

Įsiurbimo metu cilindras pripildomas šviežio degiojo mišinio. Šiam mišiniui sudegus, išsiskyrusi energija bus panaudota naudingam darbui atlikti.

Siekiant labiau pripildyti variklio cilindrą degalų ir oro mišinio, šiuolaikiniuose varikliuose dažnai naudojamas papildomas įpūtimas. Tuomet, prieš orui patenkant į cilindrą, jis paslegiamas specialiame siurblyje (dažniausiai išcentriniam). Varikliai, į kuriuos įpučiamas iš anksto suslėgtas oras, vadinami varikliais su įpūtimu. Jei variklis neturi įpūtimo, jis vadinamas atmosferiniu. Įpūtimas ne tik padidina variklio

galią jam dirbant žemėje, bet ir leidžia ją palaikyti kylant aukšty, kai oras retėja.

Karbiuratoriniuose varikliuose kuro ir oro mišinio sudarymas prasideda karbiuratoriuje, vyksta įsiurbimo kanaluose ir baigiasi cilindre.

Varikliuose su tiesioginiu degalų įpurškimu šis procesas vyksta tiesiogiai cilindruose. Šiuo atveju į cilindrus oras patenka per įsiurbimo vožtuvus, o degalai į cilindrą pradeda purkšti per purkštukus, kai alkūninis velenas įsiurbimo takte jau būna pasisukęs nuo VRT padėties per $30\div 50^\circ$.

Oro ir degalų mišinio kokybė reguliuojama specialia karbiuratoriaus sklende (ji vadinama droselio ar droseline sklende) arba įrenginiu degalų įpurškimo sistemoje.

Kad cilindras geriau prisipildytų degiojo mišinio, stengiamasi pagilinti įsiurbimo proceso laiką. Tam įsiurbimo vožtuvai atidaromi šiek tiek anksčiau, t. y. išmetimo takto pabaigoje, kai stūmoklis neprieina iki VRT per $(20\div 60)^\circ$ pagal alkūninio veleno pasisukimo kampą. Šis kampas vadinamas įsiurbimo vožtuvo atidarymo paankstinimo kampu (7 pav. 1 taškas).

Išmetimo vožtuvas uždaromas suslėgimo takto pradžioje, kai stūmoklis jau pradeda judėti į viršų. Stūmokliui judant nuo ART iki įsiurbimo vožtuvo uždarymo momento, alkūninis velenas prasisuka $(45\div 70)^\circ$. Cilindras pripildomas mišinio, alkūniniam velenui prasisukant $(250\div 280)^\circ$ kampu ir trunka apytiksliai $0,01\div 0,02$ sekundės. Taigi galima teigti, kad cilindras šviežio mišinio prisipildo stūmokliui judant nuo VRT iki ART. Atsidarius įsiurbimo vožtuvui, mišinys dideliu greičiu (mišinio greitis įsiurbimo metu siekia $40\div 60$ m/s) teka į cilindrą. Šis tekėjimas vyksta nes, stūmokliui judant žemyn, cilindro ertmėje, esančioje virš stūmoklio, susidaro išretėjimas. Judant stūmokliui procesas vyksta visą įsiurbimo laiką. Įsiurbimo takto pabaigoje slėgis cilindre sudaro $(0,8\div 0,9) p_0$, čia p_0 – atmosferos slėgis (tai galioja tik varikliams be priverstinio įpūtimo). Įsiurbimo vožtuvo atidarymo momentu slėgis cilindre didesnis nei atmosferinis, nes jame dar yra likusių degimo produktų. Todėl degusis mišinys į cilindrą pradės tekėti tik tuomet, kai slėgis jame taps žemesnis nei aplinkos. Varikliuose

su įpūtimu šis procesas prasideda iškart atidarius įsiurbimo vožtuvą. Cilindro viduje mišinys kontaktuoja su įkaitusiais variklio cilindro bei stūmoklio paviršiais, degimo produktų likučiais. Todėl jo temperatūra įsiurbimo pabaigoje pasiekia iki $340\div 360\text{ }^{\circ}\text{K}$. Jie variklis turi įpūtimą, ši temperatūra būna iki $400\text{ }^{\circ}\text{K}$.

Varikio išvystoma galia priklauso nuo oro ir degalų mišinio kiekio cilindre (cilindro užtaiso). Priimta skirti tikrojo ir teorinio mišinio užtaisų sąvokas. Tikrasis užtaisas q_d – tai degiojo mišinio, kuris buvo įsiurbtas į cilindrą ir liko jame iki įsiurbimo vožtuvo uždarymo momento, kiekis. Degiojo mišinio kiekis, galintis sutilpti cilindro darbo tūryje, jeigu temperatūra ir slėgis cilindre tokie patys, kaip ir išmetimo takto metu, vadinamas teoriniu užtaisu q_t . Teorinis užtaisas:

$$q_t = V_h \rho_s g$$

čia: V_h – cilindro darbo tūris;

ρ_s – mišinio masės tankis įsiurbimo takto metu;

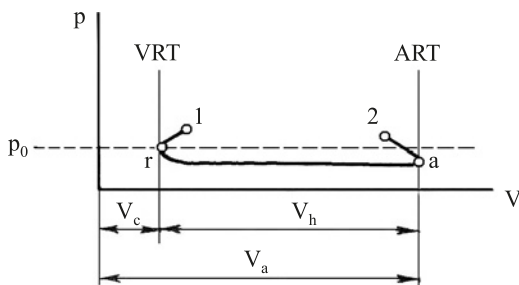
g –laisvojo kritimo pagreitis.

Cilindro pripildymo degiojo oro ir degalų mišinio laipsnis charakterizuojamas pripildymo koeficientu η_v , kuris kartais dar vadinamas volumetriniu koeficientu, parodančiu tikrojo užtaiso q_d santykį su teoriniu:

$$\eta_v = q_d / q_t$$

Kuo didesnis pripildymo koeficientas, tuo didesnę galią išvystys variklis. Variklių su įpūtimu pripildymo koeficientas siekia $1,1\div 1,12$, o be įpūtimu – $0,75\div 0,9$ (šie rodikliai pasiekiami varikliui dirbant skaičiuotinu režimu). Pripildymo koeficientui įtaką daro hidrauliniai įsiurbimo kanalų nuostoliai, šiluminiai mainai tarp cilindro ir stūmoklio grupės detalių bei degiojo mišinio, cilindre išlikusių ir aukštą temperatūrą turinčių degimo produktų, taip pat kitų veiksnių. Cilindro pripildymo koeficientą galima padidinti sumažinus hidraulinius mišinio įsiurbimo nuostolius, variklio cilindro bei stūmoklio temperatūras, pagerinus panaudotų dujų pašalinimą iš cilindro.

Siekiant geriau pripildyti cilindro ertmę degiuoju mišiniu, įsiurbimo vožtuvas uždaromas pavėluotai – jau stūmokliui judant aukštyn nuo ART (t. y. jau prasidėjus suslėgimo taktui). Alkūninio veleno pasisukimo kampas nuo ART iki įsiurbimo vožtuvo uždarymo vadinamas įsiurbimo vožtuvo uždarymo suvėlinimo kampu. Jis būna apie $40\div 65^\circ$. Įsiurbimo metu degusis mišinys teka dideliu greičiu, todėl, nors stūmoklis juda nuo ART link VRT, mišinys tebeįpatenka į cilindrą – cilindras papildomai pripildomas dėl atitekančio srauto inercijos. Kadangi įsiurbimo vožtuvas atidaromas paankstintai ir uždaromas pavėlintai, tai jis būna atidarytas alkūniniam velenui prasisukant $250\div 280^\circ$ kampą.



3.9 pav. Įsiurbimo proceso diagrama.

3.9 pav. parodyta įsiurbimo proceso diagrama koordinatėse p – V . Įsiurbimo linija 1-r-a-2 charakterizuoja slėgio kitimą cilindro viduje įsiurbimo proceso metu. 1 taškas atitinka įsiurbimo vožtuvo atidarymo momentą, o 2 taškas – uždarymą. Variklių, turinčių įpūtimo sistemą, ši linija bus aukščiau nei variklių be įpūtimo. Jei oras iš aplinkos paimamas nesuslėgtas, judėdamas žemyn, stūmoklis turi nugalėti slėgį p_0 , veikiantį iš karterio pusės. Stūmoklio judėjimo kryptimi veikiantis slėgis p_a mažesnis nei p_0 , todėl mišiniui įsiurbti reikia atitinkamo darbo.

Suslėgimas

Suslėgimas reikalingas, norint geriau išnaudoti šilumą ir gauti didesnę darbą dujoms plečiantis. Suslėgus mišinį pagerėja jo sudegiamumas. Suslėgtas mišinys užima mažesnę tūrį, todėl reikia mažiau

laiko liepsnai išplisti. Suslėgus padidėja degimo greitis. Tai taip pat sumažina degalų sudegimo laiką.

Mišinys suslegiamas mažinant jo tūrį, kai stūmoklis juda nuo ART link VRT. Išiurbimo ir išmetimo vožtuvai tuo metu būna uždaryti.

Jei mišinys suslegiamas, esant pastoviai temperatūrai, tai pagal Boilio ir Marioto dėsnį slėgis suslėgimo takto pabaigoje p_c būtų:

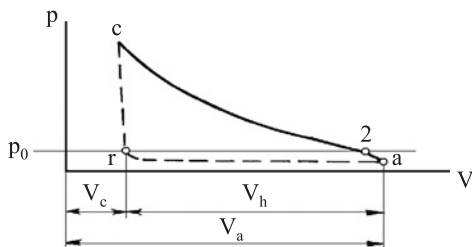
$$p_c = p_a \varepsilon$$

čia: $\varepsilon = V_a/V_c$ – suslėgimo laipsnis.

Reikia pažymėti, kad, padidinus suslėgimo laipsnį, geriau išnaudojama šiluminė energija, padidėja ciklo darbas. Pavyzdžiui, suslėgimo laipsnį σ padidinus nuo 6 iki 7 vienetų, variklio išvystoma galia išaugtų apie 6 %. Tačiau benzininių variklių suslėgimo laipsnį riboja mišinio degimo cilindre virsmas sprogimu (t. y. atsiradusi detonacija).

Realiai suslėgimo metu slėgis kyla ne tik mažėjant mišinio užimamam tūriui, kai stūmoklis juda VRT link, bet ir dėl mišinio temperatūros didėjimo.

Šiuolaikinių variklių, turinčių įpūtimą, mišinys suslėgimo takto pabaigoje yra tokių parametrų: slėgis: $p_c = 1 \div 2$ Mpa (apie $10 \div 20$ kg/cm²), temperatūra $T_c = 650 \div 750$ °K.



3.10 pav. Suslėgimo proceso diagrama.

Suslėgimo procesas pavaizduotas 3.10 pav. ištisine linija c-2-a. Ji parodo mišinio tūrio ir slėgio pokyčius suslėgimo takto metu. Ši kreivė charakterizuoja variklio be įpūtimo suslėgimą. Akivaizdu, kad variklio su įpūtimu suslėgimo linija bus pasislinkusi aukščiau.

Degimas

Benzininiuose varikliuose degimas prasideda uždegimo žvakei kibirkštimi padegus degųjų mišinį. Pirmajame degimo etape, vykstančiame alkūniniam velenui sukantis pirmųjų $8\div 10^\circ$ kampų, vyksta paruošiamieji cheminiai procesai be slėgio padidėjimo. Tai vadinama paslėpto degimo periodu.

Kito periodo metu pastebimas didėjantis slėgis. Šis periodas vadinamas matomu degimu.

Laikotarpis tarp kibirkšties atsiradimo iki didžiausio slėgio pasiekimo sąlyginai vadinamas sudegimo trukme, kuri trunka apie $0,0003\div 0,01$ s. Kitoms sąlygoms esant vienodoms, sudegimo trukmę lemia liepsnos plitimo greitis. Liepsnos fronto plitimo greitis degimo metu kinta gana įvairiai. Esant normaliam degimui, vidutinis liepsnos plitimo greitis yra apie $20\div 30$ m/s. Deginimui baigiantis, slėgis ir temperatūra cilindre pasiekia aukščiausią ribą (slėgis pasiekia $6\div 8$ Mpa, temperatūra – $2600\div 2800^\circ$ K.).

Labai didelę įtaką degimo greičiui turi mišinio sudėtis. Nustatyta, kad kai $\alpha=0,85\div 0,90$, mišinio degimo greitis didžiausias. Esant labai riebiam ar labai liesam mišiniui, variklis gali netgi neveikti, nes tam pa neįmanomas stabilus degimas. Oro perviršio koeficiento reikšmės, kurias pasiekus liepsna nebeplinta, vadinamos išsiliepsnojimo riba. Riebaus benzino ir oro mišinio išsiliepsnojimo riba pasiekiamą, kai $\alpha=0,3\div 0,4$. Lieso mišinio išsiliepsnojimo riba – $\alpha=1,3\div 1,5$.

Degimo trukmę veikia ir kiti veiksniai: mišinio temperatūra, suslėgimo laipsnis, cilindre likusios dujos, dujų turbulencija, alkūninio veleno sukiai, uždegimo žvakių skaičius bei jų vieta, degimo kameros forma ir t. t.

Kuo aukštesnė mišinio temperatūra prieš jam užsidegant, tuo didesnis degimo greitis.

Didėjant suslėgimo laipsniui, didėja ir degimo greitis, nes kyla uždegamo mišinio temperatūra.

Droseliuojant variklį (uždarant droselinę sklendę), cilindre likusių dujų kiekis staigiai padidėja ir degimo greitis krinta. Tačiau reikia

pažymėti, kad degimo produktų likutis cilindre iki 10 % nuo šviežio mišinio beveik neturi įtakos degimo greičiui.

Didinant uždegimo žvakių skaičių, mažėja degimo trukmė. Pavyzdžiui, naudojant dvi, viena priešais kitą esančias uždegimo žvakes, liepsna plinta iš dviejų pusių. Todėl degimo laikas sumažėja beveik perpus. Didelio žvakių skaičiaus naudoti neverta, nes tampa daug sudėtingesnė uždegimo sistema. Praktiškai naudojama ne daugiau kaip dvi uždegimo žvakės viename cilindre.

Nuo degimo kameros formos taip pat priklauso degimo greitis, nes ji lemia atstumą nuo uždegimo žvakės iki toliausiai nutolusio kameros taško. Šiuo atžvilgiu geriausia sferinė ar artima jai forma.

Galima daryti išvadą, kad visi veiksniai, nuo kurių priklauso degimo greitis ir kurie daro įtaką degimo proceso trukmei, užtikrina laiku išskyrusios šilumos ciklą. Tai turi didelę praktinę reikšmę.

Bandant nustatyta, kad variklio darbas vyksta geriausiai, kai didžiausias slėgis cilindre pasiekiamas stūmokliui išsiplėtimo takte esant žemiau VRT (per $10\div 15^\circ$ alkūninio veleno pasisukimo kampo nuo VRT). Kadangi visas degimo procesas užima nedaug alkūninio veleno pasisukimo kampo, tai, norint patenkinti šią sąlygą, degusis mišinys padegamas suslėgimo takto pabaigoje, stūmokliui dar nepasiekus VRT. Tai vadinama degimo paankstinimu. Alkūninio veleno pasisukimo kampas nuo uždegimo momento iki stūmokliui pasiekiant VRT vadinamas degimo paankstinimo kampu. Kai paankstinimo kampas per mažas – mišinio degimas vyks jau išsiplėtimo proceso metu. Tai nėra gerai, nes degimas vyks dideliame tūryje. Dėl to išaugs šilumos nuostoliai per cilindro sienes, sumažės didžiausia temperatūra bei slėgis cilindre. O tai savo ruožtu pablogins variklio ekonomiškumą ir galią. Esant per ankstyvam degimui, jis baigsis dar suslėgimo takto metu. Padidės suslėgimo darbo sąnaudos, kris variklio galia. Todėl degimo paankstinimo kampas parenkamas taip, kad būtų galima geriausiai išnaudoti degant išsiskiriančią šiluminę energiją. Tinkamiausias degimo paankstinimo kampas parenkamas eksperimentiniu būdu. Šis kampas priklauso nuo:

- mišinio sudėties;
- suslėgimo laipsnio;

- uždegimo žvakių skaičiaus;
- variklio sūkių.

Pavyzdžiui, oro pertekliaus koeficientui esant $\alpha=0,85\div0,9$, kitoms sąlygoms esant lygioms, degimo paankstinimo kampas turėtų būti mažiausias, nes tokio mišinio degimo greitis didžiausias. Padidinus suslėgimo laipsnį ar uždegimo žvakių skaičių, reikės sumažinti degimo paankstinimo kampą. Aviaciniams varikliams dirbant nominalia galia, degimo paankstinimo kampas kinta neperžengiant $20\div45^\circ$ ribų. Norint pasiekti tinkamiausią degimo paankstinimo kampą, reikia atsižvelgti į alkūninio veleno sūkių skaičių. Uždegimo kibirkšties suformavimo momentui koreguoti pagal variklio sūkius uždegimo magnetų konstrukcijoje naudojamas specialus mechanizmas. Jis vadinamas degimo paankstinimo mechanizmu.

Viskas, kas pasakyta aukščiau, galioja tik kai vyksta normalus degimo procesas. Tačiau varikliui dirbant gali atsirasti ir nenormalus arba detonacinis degimas. Tai degiojo mišinio degimas labai dideliu greičiu ($1500\div2000$ m/s.). Toks greitis atitinka sprogiųjų medžiagų degimo greitį.

Detonacija gali atsirasti per daug padidinus suslėgimo laipsnį, į cilindrą įtekančio oro temperatūrą, įpūtimo slėgį, per smarkiai įkaitus detalėms, su kuriomis liečiasi degusis mišinys ir t. t. Detonacijos atsiradimas taip pat priklauso nuo naudojamų degalų savybių ir degiojo mišinio sudėties. Detonuoti labiau linkę liesi mišiniai.

Detonacija vyksta nes, esant aukštai degiojo mišinio temperatūrai ir slėgiui degimo kameroje, mišinyje, sudegančiame vėliausiai, iki per jį pereinant liepsnos frontui, susidaro nestabilūs cheminiai junginiai – peroksidai. Liepsnos frontui plintant, peroksidų koncentracija pasiekia tokį laipsnį, kad įvyksta savaiminis užsidegimas (sprogimas), o liepsnos plitimo greitis pasiekia $1500\div2000$ m/s. Prasideda detonacinis degimas. Charakteringi variklio detonacijos požymiai šie:

1. Iš išmetimo vamzdžio išmetami juodų dūmų kamuoliukai. Jų pasirodymo dažnis auga detonacijai stiprėjant.
2. Cilindruose girdėti metalinis skambesys, kurį sukelia smūginės bangos.

3. Pradedą kilti variklio galvučių arba aušinimo skysčio ir tepalo temperatūros.

4. Variklis dreba, dirba nestabiliai.

Detonacinis darbas gali sukelti įvairius variklio detalių pažeidimus. Gali pradegti vožtuvai, pradegti ar suirti stūmokliai, apdegti uždegimo žvakių elektrodai, pradegti ir sulūžti stūmoklio žiedai, suirti švaistiklių įdėklai, atsirasti kitų trūkumų. Dėl detonacijos juntamai sumažėja variklio galia, pablogėja ekonomiškumas.

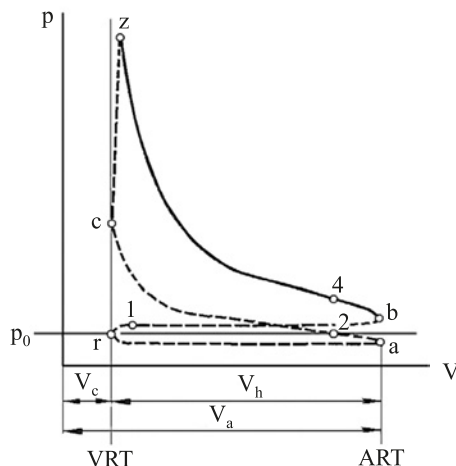
Detonacijos stengiamasi išvengti gerinant antidetonacines degalų savybes (didinamas benzino oktaninis skaičius). Tam į benziną dedamas tetraetilšvino mišinys su chloro ir bromo junginiais. Galimi ir kiti priedai, pagerinantys antidetonacines benzino savybes.

Išsiplėtimas

Vienintelis keturtakčio vidaus degimo variklio procesas, kurio metu sukuria naudingą galia, yra išsiplėtimas arba darbinė eiga. Šio proceso metu šiluma, išsiskyrusi degant degalams, paverčiama darbu. Sąlyginai laikoma, kad procesas prasideda, kai stūmoklis yra VRT. Tačiau kartais išsiplėtimo pradžia laikomas momentas, kai slėgis cilindre pasiekia aukščiausią ribą.

Minėta, kad degimas baigiasi stūmokliui esant žemiau per $10\div15^\circ$ alkūninio veleno pasisukimo kampo nuo VRT išsiplėtimo takte. Ši tašką atitinka didžiausios dujų slėgo ($5\div8$ mPa.) ir temperatūros ($2500\div2600$ °K) reikšmės. Proceso metu aktyviausiai vyksta šilumos mainai tarp dujų ir variklio detalių (labiausiai tarp dujų ir cilindro sienelių). Cilindro sienelėms atiduodama apie $6\div7$ % šilumos kiekio, gauto sudegus degalams. Stūmokliui judant ART link, dujų temperatūra bei slėgis krinta tiek dėl to, kad šiluma paverčiama darbu, tiek dėl to, kad vyksta šilumos atidavimas variklio detalėms ir atsiranda kitokių nuostolių. Išsiplėtimo pabaigoje dujų temperatūra būna $1500\div1900$ °K, o slėgis $-0,4\div1$ mPa. Stūmoklį veikia darbą atliekanti jėga, lygi $100\div150$ kN. Veikdama stūmoklį, ši jėga stumia jį ART link. Savo ruožtu stūmoklis, judėdamas per švaistiklį, suka alkūninį veleną. Alkūninio veleno sukamasis judesys perduodamas sraigtui.

2.11 pav. parodytas išsiplėtimo procesas koordinatėse p-V.



3.11 pav. Išsiplėtimo (darbo eigos) proceso diagrama.

Z taškas atitinka matomojo degimo pabaigą ir išsiplėtimo pradžią, b taškas – išsiplėtimo pabaigą, 4 taškas – išmetimo vožtuvo atidarymo momentą. Reikia pastebėti, kad realiai ir už z taško išsiplėtimo takte dar tęsiasi degimas. Tai vadinama papildomu deginimu.

Išmetimas

Šio proceso metu iš cilindro pašalinami degimo produktai, jis paruošiamas naujam įsiurbimo taktui. Procesas turi vykti taip, kad dujų slėgis išmetimo pabaigoje būtų mažiausias. Taip pat išmetimui turi būti sunaudota kuo mažiau darbo. Kuo mažiau degimo produktų liks cilindre, tuo didesnis bus cilindro užtaisas šviežiu mišiniu, nuo kurio priklauso variklio galia.

Išmetimo procesas prasideda išmetimo vožtuvo atidarymo momentu. Šiuolaikiniuose greitaeigiuose varikliuose išmetimo vožtuvas atidaromas paankstintai, kol stūmoklis išsiplėtimo takte neprieina apie $45\div 75^\circ$ alkūninio veleno pasisukimo kampo iki ART. Tokiu būdu sumažinamas darbas, reikalingas degimo produktams iš cilindro išstumti, pagerėja degimo produktų pašalinimas, nes žymi dalis degimo produktų pasišalina per iš anksto atidarytą išmetimo vožtuvą dėl nemažo slėgių skirtumo tarp cilindro ertmės ir aplinkos.

3.12 pav. linijos atkarpa 4-b-1-5 grafiškai atspindėtas išmetimo procesas. Kadangi išmetimo vožtuvas atidaromas paankstintai, o uždaromas pavėlintai, visas išmetimo etapas sudaro $240 \div 290^\circ$ pagal alkūninio veleno pasisukimo kampą. Taigi varikliui dirbant cikliškai, yra toks periodas, kurio metu abu (išmetimo ir įsiurbimo) vožtuvai atidaryti vienu metu. Šis periodas vadinamas vožtuvų persidengimu. Alkūninio veleno pasisukimo kampas, atitinkantis šį periodą, vadinamas vožtuvų persidengimo kampu (žymimas β_p).

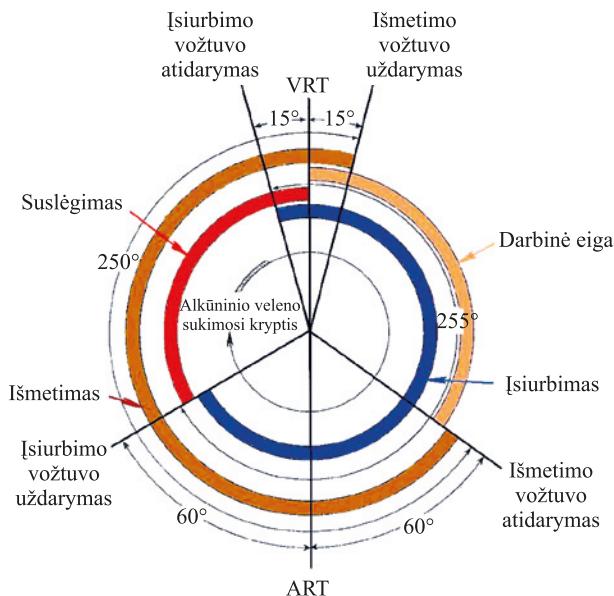
39

vamzdžius ir kyla pavojus, kad užvedant mišinys užsiliepsnos įsiurbimo sistemoje. Siekiant geriau prapūsti cilindą oru, varikliuose su tiesioginiu įpurškimu vožtuvų persidengimo kampas padidinamas. Prapūtimas padeda cilindre geriau išvalyti panaudotų dujų likučius. Dėl to padidėja mišinio užtaisas ir atitinkamai variklio galia išauga apie 10÷15 %.

Išnagrinėję visus variklio darbo taktus matome, kad keturtakčiame vidaus degimo variklyje tikrai išsiplėtimo takte atliekamas naudingas darbas. Kiti taktai – pagalbiniai, jiems atlikti reikia energijos sąnaudų.

Vožtuvų diagrama

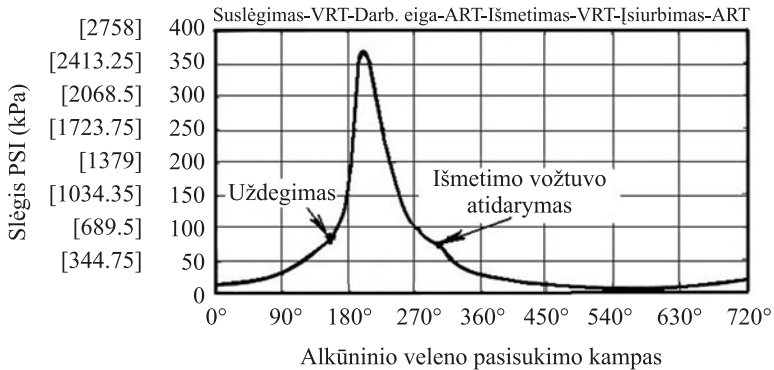
Išnagrinėjus visus darbo ciklo procesus, galima grafiškai pa-
vaizduoti vožtuvų atidarymo ir uždarymo momentus, jų persidengi-
mą, atskirų taktų trukmę pagal alkūninio veleno pasisukimo kampą.
Šis atvaizdas vadinamas vožtuvų diagrama (kartais dar vadinama
dujų paskirstymo diagrama). 3.13 pav. parodyta aviacinių variklių
CONTINENTAL modelių E-165 ir E-185 vožtuvų diagrama.



3.13 pav. Variklių CONTINENTAL modelių E-165 ir E-185 vožtuvų diagrama.

Tokio tipo diagrama patogu naudoti reguliuojant variklių dujų paskirstymo mechanizmą, todėl jos plačiai naudojamos.

Kartais variklio vožtuvų diagrama pateikiama koordinatėse slėgis–alkūninio veleno pasisukimo kampas (3.14 pav.).



3.14 pav. Variklių CONTINENTAL modelių E-165 ir E-185 vožtuvų diagrama koordinatėse slėgis cilindre – alkūninio veleno pasisukimo kampas.

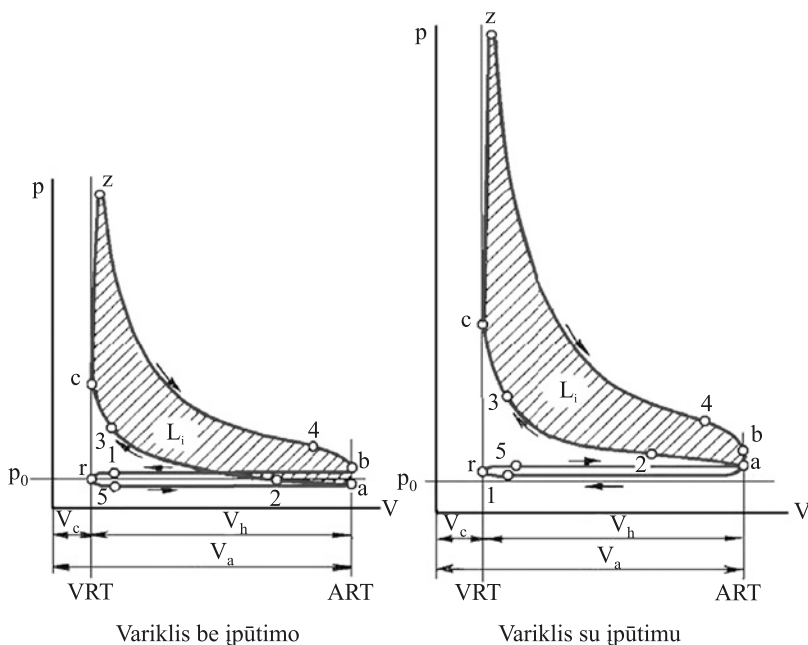
Ši diagrama praverčia diagnozuojant variklio susidėvėjimą, tikrinant jo remonto kokybę.

4. KETURTAKČIO VIDAUS DEGIMO VARIKLIO GALIA IR EKONOMIŠKUMAS

Variklio indikatorinė diagrama

Variklio takto darbo procesas, grafiškai pavaizduotas koordinatėse p - V (slėgis ir tūris), vadinamas indikatorine diagrama. Ši diagrama gali būti gauta veikiančiam varikliui matuojant slėgio pokyčio priklausomybę nuo tūrio specialiu prietaisu – indikatoriumi. Todėl ji ir vadinama indikatorine diagrama. Šią diagramą galima gauti ir skaičiuojant. Indikatorinė diagrama naudojama variklio galiai nustatyti, jame vykstančių procesų, dujų paskirstymo mechanizmo ir uždegimo sistemos darbui nagrinėti.

4.1. pav. parodytas variklių be įpūtimo ir su įpūtimu indikatorinės diagramos.



4.1 pav. Variklių be įpūtimo (kairėje) ir su įpūtimu (dešinėje) indikatorinės diagramos.

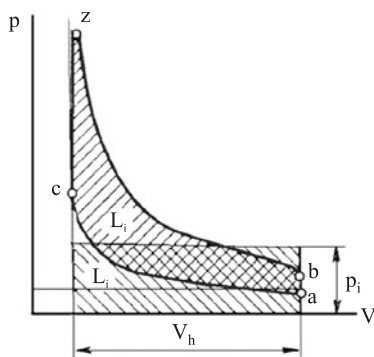
Skaičiais pažymėti charakteringi darbo proceso taškai:

- 1 – įsiurbimo vožtuvo atidarymas;
- 2 – įsiurbimo vožtuvo uždarymas;
- 3 – mišinio uždegimas;
- 4 – išmetimo vožtuvo atidarymas;
- 5 – išmetimo vožtuvo uždarymas.

Palyginę abiejų variklių diagramas, matome, kad variklio su įpūtimu diagrama perslinkta į didesnių slėgių pusę. Absoliučios slėgių reikšmės joje didesnės, o įsiurbimo ir išmetimo linijos yra aukščiau aplinkos slėgio linijos p_0 .

Indikatorinės diagramos plotas parodo dujų atliekamą darbą variklio ciklo metu. Įsiurbimo ir išmetimo taktams atlikti reikalingas darbas (jis dar vadinamas siurblio eigos darbu) sudaro tik $1,5 \div 2$ % viso ciklo darbo. Siurblio eigos darbas priskiriamas prie variklio darbo mechaninių nuostolių. Toks priskyrimas patogus dar ir tuo požiūriu, kad mechaniniai nuostoliai dažniausiai praktiškai nustatomi pagalbinio elektros variklio sukant pašildyto stūmoklinio variklio alkūninį veleną. Taip sukant galia naudojama ne tik trinčiai nugaldėti, bet ir mišinio įsiurbimo bei išmetimo darbui atlikti (arba, kitaip sakant, ir siurblio eigos darbui).

Tikroji ciklo diagrama (tai suslėgimo ir išsiplėtimo taktams nubrėžta indikatorinė diagrama) parodyta 4.2 pav. Išsiplėtimo ir suslėgimo taktuose atliekamų darbų skirtumas bus naudingasis, arba indikatorinis darbas L_i , charakterizuojamas figūros c-z-b-a-c plotu.



4.2 pav. Suslėgimo ir išsiplėtimo taktų indikatorinė diagrama.

Šiluminiuose skaičiavimuose patogų naudoti vidutinio indikatoriaus slėgio p_i sąvoką. Vidutinis indikatorinis – tai toks sąlyginai pastovus slėgis cilindre, kuris, veikdamas išsiplėtimo eigos metu, atliktų darbą, lygų ciklo indikatoriniam darbui L_i . Vidutinis indikatorinis slėgis grafiškai vaizduojamas kaip stačiakampio, plotu lygaus indikatorinės diagramos plotui, aukštis. Šio stačiakampio pagrindas lygus cilindro tūriui V_h .

Jeigu p_i – vidutinis indikatorinis slėgis, o F – stūmoklio plotas, tai dujų slėgio jėga, veikianti stūmoklį, bus lygi stūmoklio plotui, padaugintam iš vidutinio indikatorinio slėgio.

Indikatorinis darbas L_i , kurį dujos atlieka stūmokliui judant nuo VRT iki ART (šis kelias yra stūmoklio eiga S), bus:

$$L_i = p_i F S$$

Stūmoklio ploto F ir jo eigos S sandauga yra cilindro darbo tūris V_m :

$$V_m = F S$$

Tada:

$$L_i = p_i V_h$$

Indikatorinė galia ir degalų sąnaudos

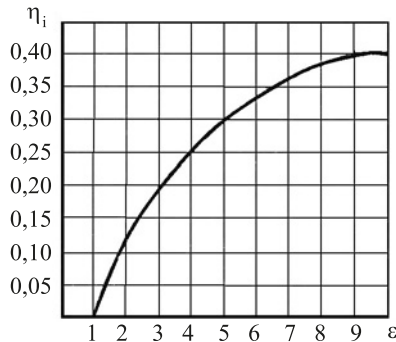
Galia, kurią išvysto cilindre esančios dujos, vadinama indikatorine galia N_i .

Variklio ekonomiškumą nusako lyginamosios degalų sąnaudos. Tai degalų, sunaudojamų per laiko vienetą vienam galios vienetui sukurti, kiekis (matuojamas, pavyzdžiui, kg kW/val.). Jeigu lyginamosios degalų sąnaudos skaičiuojamos naudojantis indikatorine galia, tai jos vadinamos indikatorinėmis lyginamosiomis degalų sąnaudomis $c_{lyg i}$. Kai žinomos valandinės degalų sąnaudos c_h ir indikatorinė galia N_i , tai lyginamosios indikatorinės degalų sąnaudos bus:

$$c_{lyg i} = c_h / N_i$$

Šilumos, ateinančios į variklį su degalais (gaunamos juos deginant), panaudojimo indikatoriniam darbui gauti efektyvumą apibūdina indikatorinis naudingojo veikimo koeficientas (indikatorinis NVK). Jis suprantamas kaip indikatorinio darbo ir degalų suteikiamos

šilumos kiekio santykis. Indikatorinis NVK labiausiai priklauso nuo variklio suslėgimo laipsnio ε ir oro perviršio koeficiento α (t. y. faktiškai nuo mišinio riebumo). Indikatorinio NVK priklausomybė nuo variklio suslėgimo laipsnio pateikta 4.3 pav.



4.3 pav. Keturtakčio vidaus degimo variklio indikatorinio naudingojo veikimo koeficiento η_i priklausomybė nuo suslėgimo laipsnio ε .

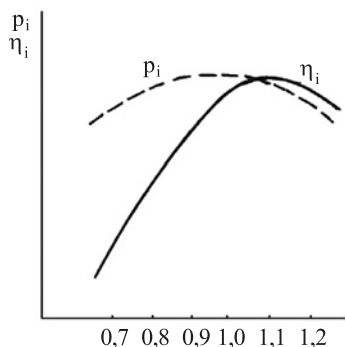
Didinant suslėgimo laipsnį, didėja ir dujų išsiplėtimo laipsnis cikle, todėl auga ir indikatorinis darbas L_i . Bandymais nustatyta, kad variklio, turinčio 160 mm skersmens cilindrą ir dirbančio, esant oro perviršio koeficientui $\alpha=1$, indikatorinis NVK išreiškiamas formule:

$$\eta_{i \alpha=1} = 1 - 1/\varepsilon^{0,23}$$

Naudojantis šia formule, 4.3 pav. nubraižytas grafikas, iš jo matyti, kad indikatorinis NVK, didėjant suslėgimo laipsniui, sparčiai auga, kai suslėgimo laipsniai nedideli. Pasiekus didesnes suslėgimo laipsnio reikšmes, indikatorinis NVK auga tuo lėčiau, kuo didesnis suslėgimo laipsnis variklyje.

Aviacinių variklių, kurių suslėgimo laipsnis $\varepsilon=5\div 8$, indikatorinis NVK yra apie $\eta_i=0,3\div 0,38$ (kai $\alpha=1$). Tai reiškia, kad nuo 30 iki 38 % degalų, patekusių į cilindrą, šilumos paverčiama indikatoriniu darbu.

Vidutinio indikatorinio slėgio p_i ir indikatorinio NVK η_i priklausomybė nuo oro perviršio koeficiento α parodyta 4.4 pav.



4.4 pav. Keturtakčio vidaus degimo variklio vidutinio indikatorinio slėgio p_i ir indikatorinio NVK η_i priklausomybė nuo oro perviršio koeficiento.

„Riebinant“ oro ir degalų mišinį, indikatorinis NVK mažėja, nes tam, kad visiškai galėtų sudegti degalai, ima trūkti deguonies. Liesinant mišinį, indikatorinis NVK pradžioje truputį auga, pasiekdamas aukščiausią ribą, kai $\alpha=1,05 \div 1,15$. Paskui jis staigiai krinta, nes, toliau liesinant mišinį, ima staigiai mažėti liepsnos plitimo greitis. Dėl išaugusių šilumos nuostolių iš cilindro išmetant karštas dujas mažėja indikatorinis darbas.

Vidutinio indikatorinio slėgio p_i priklausomybė nuo oro perviršio koeficiento šiek tiek kitokia (4.4 pav.), nes vidutinis indikatorinis darbas priklauso ne tik nuo šilumos panaudojimo cilindre, bet ir nuo šilumos kiekio, perduodamo į cilindrą. Šis slėgis aukščiausią ribą pasiekia, kai mišinio $\alpha=0,85 \div 0,9$. Tuomet cilindre pasiekiamas didelis degimo greitis ir padidėja indikatorinės diagramos pilnumas (plotas).

Taigi, norint gauti didžiausią galią, reikia riebinėti mišinį (esant kitoms sąlygoms fiksuotoms), o didžiausias ekonomiškumas pasiekiamas mišinį liesinant. Mišinys, kurio $\alpha=0,85 \div 0,90$, vadinamas didžiausios galios, o kurio $\alpha=1,05 \div 1,10$ – didžiausio ekonomiškumo mišiniu.

Kaip pavyzdį pateiksime šilumos sąnaudų pasiskirstymą benzininiame variklyje, turinčiame suslėgimo laipsnį $\epsilon=6$, kai oro perviršio koeficientas $\alpha=0,7$ ir $\alpha=1,0$

Eil. Nr.	Kam sunaudojama šiluma	% nuo viso šilumos kiekio	
		$\alpha=0,7$	$\alpha=1,0$
1.	Šiluma paverčiama indikatoriniu darbu.	23	33
2.	Šilumos nuostoliai dėl nevysiško sudegimo.	38	7
3.	Šiluma, atiduota cilindro sienelėms.	6	10
4.	Šiluma, išmesta su išmetamosiomis dujomis.	33	50

Iš lentelės matome, kad šilumos balanso charakteris labai priklauso nuo oro paviršiaus koeficiento. Liesinant mišinį, auga šilumos pavertimas indikatoriniu darbu, tačiau didėja šilumos nuostoliai išmetant ją su išmetamosiomis dujomis.

Jeigu pateiktame pavyzdyje suslėgimo laipsnį padidinsime nuo 6 iki 7, o oro paviršiaus koeficientą paliksime $\alpha=1,0$, tai šiluma, paversta indikatoriniu darbu, padidės nuo 33 iki 47 %, o šilumos nuostoliai per išmetamąsias dujas sumažės nuo 50 iki 47 %.

Variklio galią labiausiai veikia oro išeiga. Ji gali būti padidinta didinant cilindro tūrį V_h , cilindro skaičių i , variklio sūkių skaičių n ar įpūtimo slėgį p_k . Racionaliausias oro išeigos per variklį (kartu su juo ir variklio galios) padidinimo būdas – panaudoti įpūtimą.

Efektyvioji galia ir ekonomiškumas

Variklio efektyviają galią N_e vadinama sraigtui ar kitam įrenginiui, kurį turi sukti variklis, atiduodama galia.

Efektyvioji galia N_e visada mažesnė nei indikatorinė, nes dalis indikatorinės galios sunaudojama variklio reikmėms (mišiniui išsiurbti, degimo produktams išmesti, trinčiai nugalėti, variklio agregatams sukti). Variklio reikmėms sunaudota galia sąlyginai vadinama trinties galia N_f . Žinant trinties ir indikatorinę galias, galima rasti efektyviają galią:

$$N_e = N_i - N_k$$

Dalis variklio su įpūtimu galios sunaudojama kompresoriui sukti (N_k), todėl tokio variklio efektyvioji galia:

$$N_e = N_i - N_r - N_k$$

Efektyvusis NVK η_e suprantamas kaip efektyviojo darbo L_e ir šilumos kiekio Q , įnešto į variklį degalų, santykis:

$$\eta_e = L_e / Q$$

Efektyvusis NVK įvertina visus variklio energijos nuostolius:

$$\eta_e = \eta_i \eta_m$$

Šiuolaikinių stūmoklinių keturtakčių aviacinių variklių efektyvūs NVK svyruoja neviršijant 0,2÷0,3 ribų.

Analogiškai lyginamosioms indikatorinėms degalų sąnaudoms, efektyviosios lyginamosios sąnaudos $c_{e \text{ lyg}}$ apibrėžiamos kaip degalų sąnaudų per laiko vienetą c_h santykis su efektyviąja galia N_e :

$$c_{e \text{ lyg}} = c_h / N_e$$

5. AVIACINIŲ KETURTAKČIŲ VIDAUS DEGIMO VARIKLIŲ CHARAKTERISTIKOS

Kad būtų galima nustatyti lėktuvo su stūmokliniu vidaus degimo varikliu skrydžio charakteristikas, svarbu žinoti efektyviosios galios, lyginamųjų efektyviųjų degalų sąnaudų priklausomybę nuo variklio sūkių, alkūninio, veleno apkrovimo ir skrydžio aukščio. Šios priklausomybės vadinamos variklio charakteristikomis.

Charakteristikos dažniausiai pateikiamos grafiškai. Ordinačių ašyje pažymima efektyvioji galia, lyginamosios degalų sąnaudos, įpūtimo slėgis, o abscisių ašyje – variklio sūkliai arba skrydžio aukštis. Šios charakteristikos gali būti apskaičiuojamos arba bandant variklį antžeminiame bandymų stende, skraidančiame stende – skraidančioje laboratorijoje. Pačios svarbiausios charakteristikos – išorinė, droselinė ir aukščio.

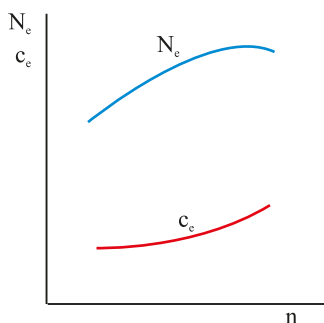
5.1. Išorinė charakteristika

Išorinė charakteristika vadinama efektyviosios galios ir lyginamųjų degalų sąnaudų priklausomybė nuo variklio sūkių, esant didžiausiam leistinam įpūtimo slėgiui (varikliui su įpūtimu) arba iki galo atidarytai droselinei sklendei (varikliui be įpūtimo).

Išorinė charakteristika fiksuojama varikliui dirbant su pastoviu oro perviršio koeficientu $\alpha \approx 0,85$, atitinkančiu didžiausią variklio galią. Degimo paankstinimas sureguliuojamas taip, kad esant visiems sūkiams būtų gaunama didžiausia galia. Taigi išorinę charakteristiką lemia didžiausia galia, variklio išvystoma pagal nustatytas alkūninio veleno sūkių reikšmes. Praktiškai fiksuojant išorinę charakteristiką, alkūninio veleno sūkliai keičiami keičiant alkūninio veleno apkrovimą. Tai galima daryti naudojant keičiamo žingsnio sraigta, specialius orinius ar mechaninius ir hidraulinius stabdžius. Visa tai atliekama specialiaame stende. Išmatavus sukimo momentą ir žinant variklio sūkius, apskaičiuojama jo galia.

Žinant variklio alkūninio veleno sūkius ir juos atitinkančią galią bei degalų sąnaudas, galima pagal priimtą koordinačių sistemą pa-

žymėti pirmuosius išorinės charakteristikos taškus. Kad būtų galima nustatyti kitus taškus, droselio sklendė paliekama iki galo atidaryta (arba ji naudojama didžiausiam įpūtimui palaikyti), o sraigto mentės perstatomos (arba keičiama alkūninio veleno apkrova). Tokiu būdu gaunamos kelios N_e ir c_e reikšmės, pagal kurias brėžiama charakteristika. 5.1 pav. parodyta keturtakčio stūmoklinio variklio išorinė charakteristika.



5.1 pav. Keturtakčio vidaus degimo variklio išorinė charakteristika.

Iš pateiktų kreivių matome, kad didėjant sūkiams efektyvioji galia iš pradžių auga, pasiekdama aukščiausią ribą, esant tam tikriems sūkiams. Paskui ji ima mažėti. Lyginamosios degalų sąnaudos didėjant sūkiams visą laiką auga. Tokių išorinės charakteristikos galios pokytį galima paaiškinti tuo, kad efektyvioji galia priklauso nuo indikatorinės ir trinties galių kitimo:

$$N_e = N_i - N_r$$

Kadangi trinties galia priklauso nuo sūkių kvadrato ($N_r = A n^2$), tai, didėjant sūkiams, trinties galios augimas greitesnis nei indikatorinės. Be to, mažėja ir mechaninis NVK, o tai didina efektyviąsias degalų sąnaudas, nes:

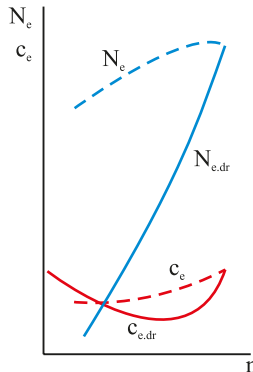
$$c_e = c_i / \eta_m$$

Indikatorinės degalų sąnaudos c_i , esant pastoviam oro perviršio koeficientui, nekinta.

5.2. Droselinė charakteristika

Keturtakčio vidaus degimo variklio droselinė charakteristika vadinama jo efektyviosios galios ir lyginamųjų efektyviųjų degalų sąnaudų priklausomybė nuo sūkių, kai alkūninis velenas apkrautas pastoviu momentu, o droselinės sklendės padėtis kintama.

Droselinė charakteristika braižoma bandant variklį specialiame balansyriniame stende. Užvestas variklis pašildomas iki dardinės temperatūros. Paskui matuojamas jo sukimo momentas, sūkliai ir degalų sąnaudos, esant skirtingoms droselinės sklendės padėtimis, bet pastoviam sraigto menčių pastatymo kampui. Apskaičiavus variklio efektyviąją galią ir lyginamąsias degalų sąnaudas, tai pateikiama grafiškai, kaip parodyta 5.2 pav.



5.2 pav. Keturtakčio vidaus degimo variklio droselinė charakteristika.

Sraigtui sukti reikalinga galia išreiškiama formule:

$$N_s = A n_s^3$$

Čia: A – koeficientas, priklausantis nuo sraigto skersmens, jo menčių pastatymo kampo ir oro tankio.

Kai sraigto mentės užfiksuotos vienos padėties, esant pastoviam aplinkos oro tankiui, sraigto sukimui reikalinga galia keisis propor-

cingai jo sūkių kubui. Todėl droselinė charakteristika (ji dar vadinama sraigto charakteristika) bus kubinė parabolė.

5.2 pav. punktyrine linija parodyta variklio išorinė charakteristika. Atidarant droselio sklendę, variklio galia ir sūkliai auga, pasiekdami didžiausią ribą sklendę visiškai atidarius. Kai sklendę pridaroma, mažiau degalų patenka į cilindrus ir mažėja alkūninio veleno sukimo momentas. Kartu mažėja variklio sūkliai iki tol, kol sraigto pasipriešinimo momentas tampa lygus variklio sukimo momentui. Esant vienodiems sūkliais, variklio galia pagal droselinę charakteristiką mažesnė nei galia pagal išorinę charakteristiką (išskyrus didžiausią galios reikšmę). To priežastis – didesnis mišinio užtaisas pagal išorinę nei pagal droselinę charakteristiką dėl skirtingų droselinės sklendės padėčių matuojant.

Matuojant sraigto charakteristiką, variklio galia labai kinta keičiantis sūkliais. Pavyzdžiui, sūkliais sumažėjus du kartus, galia pakinta aštuonis kartus.

Sūkliais didėjant, lyginamosios degalų sąnaudos $c_{e,dr}$ pagal droselinę charakteristiką mažėja ir, esant tam tikriems sūkliais, pasiekia žemiausią ribą. Sūkliais augant toliau, degalų sąnaudos vėl ima didėti iki pačios aukščiausios sūkių ribos. Taip atsitinka dėl variklio eksploatacinių ypatybių ir pasiekama atitinkamai reguliuojant degalų pateikimą.

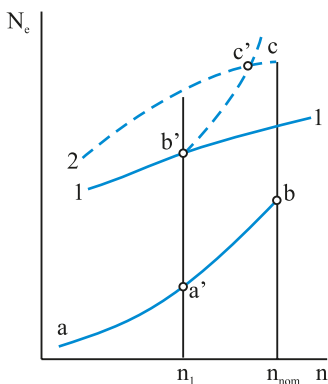
Kai yra maži sūkliai, siekiant stabilizuoti variklio darbą, mišinys turi būti riebus ($\alpha=0,65\div0,70$), nes dirbant šiuo režimu yra blogos mišinio susimaišymo sąlygos, cilindruose išlieka padidėjęs sudegusių dujų kiekis (nes variklis droseliuojamas).

Vidutiniais sūkliais variklis dirba didžiąją savo naudojimo laiko dalį. Siekiant gerų orlaivio skrydžio nuotolio ir buvimo ore charakteristikų, šiame režime oro perviršio koeficientas – $\alpha=0,9\div1,0$.

Sūkius ir galią didinant toliau, kad variklis neperkaistų ir nekiltų detonacija, mišinys riebinamas. Forsuotiems varikliams dirbant didžiausios galios režimu, mišinys riebinamas iki $\alpha=0,65\div0,75$. Todėl efektyviosios degalų sąnaudos auga.

Išnagrinėta sraigto charakteristika atitinka vieną, specialiai šiam varikliui parinktą sraigą. Kiekvienam varikliui braižoma sraigto charakteristikų šeima (atskiriems sraigtams – atskiros kreivės).

Aviacijoje plačiai naudojami keičiamo žingsnio sraigčiai. Visoms skrydžio sąlygoms jie leidžia pasiekti tokį galios bei sūkių santykį, kuris atitiktų didžiausią variklio darbo ekonomiškumą ir aukštą sraigto NVK reikšmę. Tokiu būdu pasiekiamos geros kreiserinės ir kilimo režimų sraigto charakteristikos. 5.3 pav. parodytos variklio su keičiamo žingsnio sraigto (sraigas su sūkių reguliavimo automatu) sraigto charakteristikos.



5.3 pav. Variklio su keičiamo žingsnio sraigto sraigto charakteristika.

Punktyrinė kreivė 2-c atspindi variklio su įpūtimu išorinę charakteristiką, kai įpūtimas didžiausias, o kreivė 1-1 – išorinę charakteristiką, kai įpūtimas nominalus. Jei sraigto mentės buvo išdėstytos mažiausiu kampu, o žingsnio keitimo automatas nureguliuotas palaikyti nominalius sūkius, tai, atidarant droselinę sklendę, variklio galia augs pagal kubinės parabolės dėsnį (kreivė a-b), lygiai taip, kaip varikliui dirbant su fiksuoto žingsnio sraigto. Pasiekus nominalius sūkius n_{nom} , toliau atidarant droselinę sklendę, automatas pastatys mentes didesniu kampu. Todėl augs sraigto sukty reikalinga galia, o sūčiai liks pastovūs (tiesė b-c).

Jei sūkių automatas nureguliuotas palaikyti sūkius n_1 , mažesnius nei n_{nom} , tai variklio galios kitimą atspindės kreivė $a-a'-b'$. Šiuo atveju sraigto sūkiiai nekis iki tol, kol mentės užims automato nustatytą padėtį. Tolesnis variklio galios didinimas sukels ir sūkių didėjimą lygiai taip, kaip ir fiksuoto žingsnio sraigtui (kreivė $b'-c'$).

5.3. Aukščio charakteristikos

Variklio be įpūtimo aukščio charakteristika vadinama jo efektyviosios galios ir efektyviųjų lyginamųjų degalų sąnaudų priklausomybė nuo skridimo aukščio, esant visiškai atidarytai droselio sklendei, nekintantiems sūkiams bei mišinio kokybei.

Varikliai be įpūtimo vadinami neaukštutiniais. Jų galia greitai mažėja kylant aukšty. Pavyzdžiui, 5000 m aukštyje tokio variklio galia du kartus mažesnė, nei jam dirbant žemėje tais pačiais sūkiiais.

Variklio, su visiškai atidaryta droselio sklende ir dirbančio pastoviais sūkiiais su pastoviu oro perviršio koeficientu, galia apskaičiuojama pagal formulę:

$$N_{eH} = N_{e0} A$$

Čia:

N_{eH} – variklio galia aukštyje H , kai droselio sklendė visiškai atidaryta;

N_{e0} – variklio galia jūros lygyje pagal droselinę charakteristiką;

A – variklio galios kritimo kylant aukšty koeficientas.

Koeficientas A priklauso nuo aplinkos oro slėgio ir temperatūros. Jis apskaičiuojamas pagal apytikslių formulę:

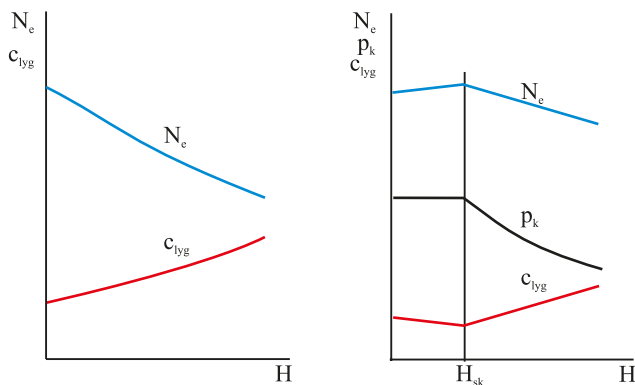
$$A = 1,11 \, p_H/p_0 \, (T_0/T_H)^{1/2}$$

Čia:

p_H ir T_H – atitinkamai slėgis ir temperatūra aukštyje H ;

p_0 ir T_0 – slėgis ir temperatūra jūros lygyje (pagal standartinę atmosferą).

5.4 pav. (A) pateikta variklio be įpūtimo aukščio charakteristika.



5.4 pav. Keturtakčio variklio aukščio charakteristikos:

A – variklis be įpūtimo;

B – variklis su vieno greičio įpūtimu (H_{sk} – skaičiuotas aukštis).

Aukštuminiais vadinami tie keturtakčiai varikliai, kurie iki tam tikro aukščio išlaiko nepakitusią galią. Šis aukštis vadinamas skaičiuotu (H_{sk}).

Variklio galiai dideliuose aukščiuose palaikyti dažniausiai naudojami išcentriniai kompresoriai. Keturtakčiai vidaus degimo varikliai su kompresoriais vadinami varikliais su įpūtimu. Kompresorius gali būti tiesiogiai arba per pavarą sukamas alkūninio veleno. Kompresoriui sukti gali būti panaudojama išmetamųjų dujų energija. Tokio tipo kompresorius turintys varikliai vadinami varikliais su turboįpūtimu. Jei kompresorių alkūninis velenas suka per keletą greičių pavarą, tai, pagal jos greičių skaičių kompresorius būna vieno greičio, dviejų greičių ir daugelio greičių.

Variklio su įpūtimu aukščio charakteristika vadinama jo efektyviosios galios ir lyginamųjų degalų sąnaudų priklausomybė nuo skrydžio aukščio, esant nekintantiems sūkiams, degiojo mišinio kokybei ir įpūtimo slėgiui iki skaičiuotino aukščio.

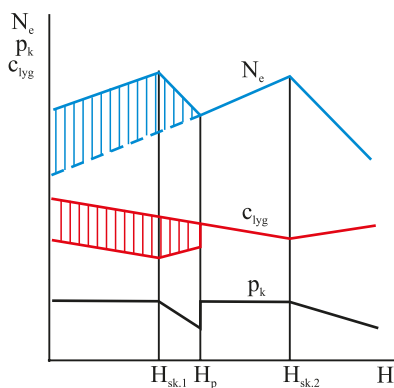
5.4 pav. (A) parodyta variklio su vieno greičio išcentrinio kompresoriumi aukščio charakteristika. Matome, kad įpūtimo slėgis p_k iki pasiekiant skaičiuotiną aukštį H_{sk} išlieka pastovus. Tam gali būti panaudoti įvairūs techniniai sprendimai. Variklio efektyvioji galia N_e iki skaičiuotinojo aukščio šiek tiek didėja, o lyginamosios degalų są-

naudos c_{lyg} – mažėja. Esant pastoviam įpūtimo slėgiui, efektyviosios galios didėjimas iki pasiekiant skaičiuotiną aukštį paaiškinamas šiomis priežastimis:

1. Krintant aplinkos oro temperatūrai ir didėjant oro, ištekančio iš kompresorius tankiui, didėja cilindro užtaisas šviežiu mišiniu.

2. Mažėjant aplinkos atmosferos slėgiui, mažėja pasipriešinimas dujų išmetimui iš cilindro. Dėl to iš cilindro geriau pašalinami degimo produktų likučiai, taigi auga jo pripildymo koeficientas. Sumažėjęs siurblio eigos darbas išmetimo takte taip pat mažina variklio darbo nuostolius.

Variklio su dviejų greičių išcentrinio kompresoriumi aukščio charakteristika parodyta 5.5 pav.



5.5 pav. Keturtakčio vidaus degimo variklio su dviejų greičių išcentrinio kompresoriumi aukščio charakteristika.

Iš jos matome, kad dviejų greičių kompresoriaus panaudojimas, palyginti su vieno greičio kompresoriumi, leidžia gauti galios bei ekonomiško priaugį iki kompresoriaus greičio perjungimo aukščio H_p . Šis priaugis parodytas kaip užbrūkšniuotas plotas.

5.4 Aviacinių stūmoklinių variklių darbo režimai

Kad būtų galima palengvinti tinkamą variklio eksploatavimą, pasiekti reikiamą jo patikimumo lygį, yra priimtose bendrosios sąvokos

apie įvairius variklio darbo (galios) režimus. Jos labai svarbios tiek sertifikuojant variklį, tiek jo eksploatacijos metu. Kiekvienam režimui gali būti apibrėžtas garantinis nepertraukiamo darbo laikas ir bendras darbo laikas šiuo režimu per visą variklio tarnavimo laiką.

Varikliams su įpūtimu priimti šie darbo režimai: maksimalus, nominalus, eksploatacinis ir kreiserinis.

Dirbdamas *maksimaliu* režimu, variklis išvysto didžiausią galimą galią. Dažnai ribojamas darbo šiuo režimu laikas (pavyzdžiui – 5 min.).

Nominalų režimą atitinkanti galia imama kaip variklio šiluminių ir stiprumo skaičiavimų pagrindas. Pagal šio režimo charakteristikas taip pat skaičiuojamos lėktuvo, kuriame naudojamas variklis, charakteristikos.

Eksploatacinis režimas. Variklis išvysto apie 90 % nominaliojo režimo galios, o jo sūkliai apie 4 % mažesni nei dirbant nominaliu režimu (visa tai galioja varikliams be įpūtimo). Darbo laikas šiuo režimu negali būti ribojamas.

Esant *kreiseriniam* režimui, variklis išvysto (30÷75) % nominaliosios galios. Varikliui dirbant kreiseriniu režimu, orlaivis pasiekia didžiausią skrydžio nuotolį, ilgiausiai išbūna ore.

Statistiškai variklio darbo įvairiais režimais trukmė per visą eksploatacijos laiką apytiksliai pasiskirsto taip:

Didžiausia galia – (1÷2) %;

Mažiausia galia – 10 %;

Eksploatacinė ir kreiserinė galios – 88 %.

Varikliams su įpūtimu priimti šie režimai: nominalus, kilimo, kovinis (varikliams, naudojamiems kariniuose lėktuvuose), ypatingasis ir kreiserinis.

Nominaliu vadinamas pagrindinis skaičiuotinas variklio darbo režimas. Manoma, kad variklis šiuo režimu išvysto 100 % galios. Skiriamos nominali žemės ir nominalioji aukščio galios.

Variklio išvystoma galia jam dirbant žemėje ar skrendant pažeme, kai sūkliai ir įpūtimas nominalūs, vadinama žemės nominaliąja galia.

Aukštumine nominaliąja vadinama variklio galia, išvystoma skaičiuotiname aukštyje, esant nominaliems sūkliais ir įpūtimui.

Kilimo vadinamas toks forsutas variklio darbo režimas, kuriuo jis dirba kylant, kai reikia sumažinti kilimo distanciją. Galios padidinimas (forsavimas) pasiekiamas didinant sūkius ir įpūtimo slėgį. Variklio galia esant kilimo režimui pasiekia $(110 \div 120)$ % nuo nominaliosios. Dažniausiai darbo laikas kilimo režimu ribojamas (pavyzdžiui, ne daugiau kaip 5 % viso variklio darbo laiko ne ilgesniais kaip 5 min. periodais).

Koviniu vadinamas forsutas variklio darbo režimas, naudojamas galiai padidinti kovinėmis sąlygomis. Dirbant šiuo režimu gaunama didesnė nei nominalioji galia, tačiau ji mažesnė nei kilimo. Koviniu režimu variklis gali dirbti apie $(15 \div 25)$ % viso savo darbo laiko. Kovinio režimo laikas gali būti ribojamas 15÷20 min. trukmės laikotarpiais. Šis režimas taikytas kariniuose orlaiviuose įmontuotiems varikliams.

Ypatinguoju vadinamas maksimalus forsutas variklio darbo režimas, naudojamas tik ypatingos būtinybės atveju. Šiuo režimu variklis išvysto apie $(130 \div 160)$ % nominaliosios galios. Ypatinguoju režimu variklis gali dirbti apie 3 % naudojimo laiko, ne ilgesniais kaip $(2 \div 3)$ min. laikotarpiais. Panaudojus ypatingąjį režimą, būtina atlikti nuodugnią variklio apžiūrą. Kaip ir kovinis, šis režimas dažniausiai naudojamas kariniams lėktuvams skirtuose varikliuose.

Kreiseriniais vadinami tokie variklio darbo režimai, kuriais dirbant jo galia siekia nuo 30 iki 75 % nuo nominaliosios. Priimta skirti tris pagrindinius kreiserinius režimus: maksimalų, naudingiausią ir ekonominį.

Veikdamas maksimaliu kreiseriniu režimu variklis išvysto 75 % nominaliosios galios. Naudingiausio režimo metu prireikia mažiausių degalų sąnaudų kilometrui nuskristo kelio. Tai $(50 \div 60)$ % galios nuo nominaliosios darbo režimas. Kai variklis dirba ekonominiu kreiseriniu režimu, prireikia mažiausių valandinių degalų sąnaudų (taigi ir maksimalaus skrydžio laiko). Šiuo režimu variklis dirba $(30 \div 40)$ % galios nuo nominaliosios.

Svarbu pažymėti, kad to paties tipo variklių, sumontuotų skirtinguose lėktuvuose, darbo režimai gali būti skirtingi.

6. DYZELINIŲ VARIKLIŲ DARBO YPATYBĖS

Dyzelinų variklių darbo procesas nuo benzininių iš esmės skiriasi dviem ypatybėmis. Pirmiausia dyzeliniuose varikliuose degusis mišinys ruošiamas tik cilindre tiesiogiai įpurškiant degalus į suslėgimo takto metu suslėgtą orą, esantį virš stūmoklio (ši erdvė dyzeliniuose varikliuose vadinama degimo kamera). Antra, dyzeliniuose varikliuose degusis mišinys ne uždegamas naudojant išorinį įrenginį, bet užsiliepsnoja savaime. Todėl smulkiau panagrinėsime degiojo mišinio paruošimo ir jo užsiliepsnojimo ypatybes.

6.1. Degiojo mišinio ruošimas

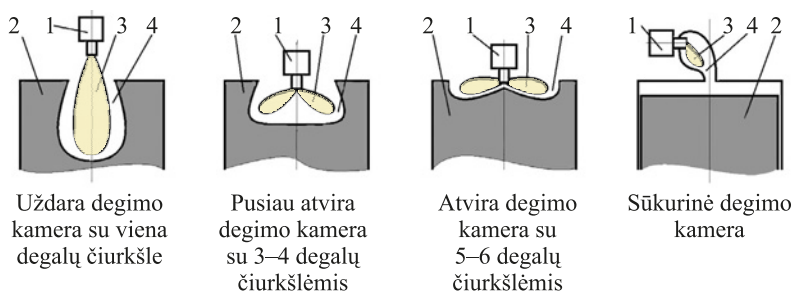
Ruošiant degų mišinį dyzeliniame variklyje sudėtingiausia, kad tai reikia atlikti per daug trumpesnę laiką nei benzininiame variklyje. Benzininio variklio degusis mišinys pradedamas ruošti karbiuratoriuje arba įsiurbimo kolektoriuje (kai variklis ne karbiuratorinis, o su įpurškimu). Paskui degalų ir oro mišinys įsiurbiamas. Visą tą laiką iki pat suslėgimo takto pabaigos galima formuoti degalų ir oro mišinį. Dyzeliniam variklyje degalai įpurškiami suslėgimo takto pabaigoje (apie 15–20° iki stūmokliui pasiekiant VRT). Todėl varikliui sukantis 2000 aps./min. greičiu degalams susimaišyti su oru ir išgaruoti reikia tik 0,0025 s. Tai labai trumpas laiko tarpas. Benzininiam vidaus degimo varikliui šis periodas yra apie penkis kartus ilgesnis. Tačiau didelis dyzelinio variklio privalumas yra aukšta suslėgto oro temperatūra. Tai paspartina degalus išgaruoti, o susidarę garai geriau susimaišo su oru.

Dėl trumpo degiojo mišinio formavimo periodo viena ypatybė mišinio sudarymas dyzeliniam varikliui yra nemenka problema. Degiojo mišinio sudarymas dyzelyje yra dviejų etapų: degalų susmulkinimo ir jų išgarinimo. Abu procesai susiję tarpusavyje. Kuo smulkesniais lašeliais išpurškiami degalai, tuo greičiau jie išgaruoja. Be to, garavimo greitis priklauso nuo aplinkos temperatūros. Esant aukštesnei temperatūrai, degalai garuoja geriau. Tuo paaiškinamas tas faktas, kad nepakankamai išilęs dyzelinis variklis dirba neekonomiškai, girdisi trankus garsas. Išpurškiamų degalų lašelių dydis priklauso nuo pačių degalų

klampumo, išpurškimo slėgio ir purkštuko konstrukcijos. Purkštuko konstrukcija optimizuojama, atsižvelgiant į tam tikrą degalų tipą ir išpurškimo slėgį. Didinant į purkštuką tiekiamų degalų slėgį, mažėja išpurškiant susidarančių lašelių dydis. Smulkesniais lašeliais išpurkšti degalai lengviau išgaruoja. Tačiau, kita vertus, smulkesni degalų lašeliai ne taip giliai įsiskverbia į orą. Todėl jie nepakankamai tolygiai susimaišo su oru. Degimo kameroje susidaro lokalios zonos su didesne ir mažesne degalų koncentracija. Sumažinus išpurškimo slėgį, lašeliai stambėja. Būdami didesnės masės (kartu didėja kiekvieno lašelio energija) lašeliai prasiskverbia į orą toliau nuo purkštuko, drauge sudarydami tolygesnį degųjų mišinį. To galima išvengti trimis būdais:

1. Optimizuojant išpurškimo slėgį;
2. Optimizuojant purkštukų išpurškimo tūtų konfigūraciją;
3. Parenkant tinkamiausią degimo kameros formą.

Kad degalai tolygiau pasklistų degimo kameroje ir suspėtų išgaruoti, degalų čiurkšlės ir pačios degimo kameros formos tarpusavyje suderinamos. 6.1 pav. parodytos plačiausiai šiuolaikiniuose dyzeliniuose varikliuose naudojamos degimo kameros ir prie jų priderintos čiurkšlės.



6.1 pav. Degimo kamerų ir degalų čiurkšlių formos.

1– degalų purkštukas; 2 – stūmoklis; 3 – degalų čiurkšlė; 4 – degimo kamera.

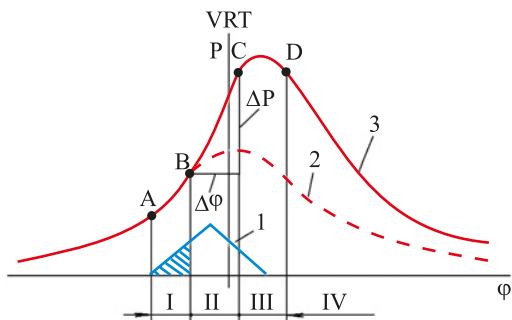
Parenkant čiurkšlės ir degimo kameros formą, stengiamasi, kad degimo kameroje susidarytų sūkurinis oro tekėjimas. Tinkamai parinkus degimo kameros formą, purkštukų srautų skaičių bei formą ir prie to priderinus purškimo slėgį, oras teka sūkuriniu būdu, degalai gerai susimaišo su oru ir išgaruoja.

Be to, tam, kad gerai susidarytų mišinys, daug įtakos turi degalų klampa, sudėtis, tankis. Didesnės klampos degalai išpurškiami stambesniais lašeliais, geriau išsiskverbiančiais į orą, esantį degimo kameroje. Tačiau didesni lašeliai sunkiau išgaruoja. Neišgaravę degalai nesudega. Dyzelinių degalų tinkamiausia klampa yra nuo 1,5 iki 6 mm²/s, esant +20 °C temperatūrai. Kuo degalai tankesni, tuo sunkesni jų lašeliai. Tuo lengviau ir giliau išpurkšti jie išsiskverbia į orą. Tačiau sunkesniuose degaluose daugiau sunkesnių frakcijų naftos produktų. Sunkesnių frakcijų degalai blogiau filtruojasi, todėl tai sunkiau padaryti, pablogėja jų takumas esant žemoms temperatūroms.

Taigi degalų klampa itin svarbi, esant pirmajam degiojo mišinio ruošimo etapui – jų išpurškimui. Kitas etapas – degalų išgarinimas. Jam didžiausią įtaką turi frakcinė degalų sudėtis. Degalai išpurškiami į suslėgtą ir dėl to įkaitusį orą. Todėl jie lengviau garuoja. Kuo lengvesni degalai, tuo lengviau jie garuoja. Dėl to degimo kameroje susidaro geresnis degusis mišinys. Aviaciniams dyzeliniams varikliams būdingi santykinai aukšti sūkliai. Tokie varikliai vadinami greitaeigiais. Tačiau esant dideliame sūkių skaičiui, degiojo mišinio išgaravimui skiriamas laikas sutrumpėja. Todėl šiuo atveju aviacijoje geriau naudoti lengvesnių frakcijų degalus, pasižyminčius geresniu garingumu. Esant žemai aplinkos temperatūrai, sunkesnių frakcijų degalus sudėtinga išgarinti. Dėl to žiemą daug sunkiau užvesti dyzelinį variklį nei benzininį.

6.2. Degimas

Įpurkšti į suslėgtą orą cilindro degimo kameroje dyzeliniai degalai užsiliepsnoja. Tam nereikia jokio papildomo įrenginio. Degimas prasideda dėl suslėgto įkaitusio oro šilumos. Vienu metu degimas prasideda daugelyje oro ir degalų mišinio vietų, todėl liepsnos plitimo greitis degimo kameroje siekia iki 1000 m/s. Degimo procesas dyzeliniame variklyje skirstomas į keturias fazes, žymimas romėniškais skaitmenimis : indukcinio degimo (I); intensyviojo degimo (II); lėtojo (III) ir baigiamojo (IV) degimų.



6.2 pav. Slėgio kitimas dyzelinio variklio cilindre.

1 – degalų tiekimo dėsnis; 2 – slėgio kitimas, kai cilindre nevyksta degimas; 3 – slėgis cilindre vykstant degimui; A – degalų įpurškimo pradžia; B – degalų užsiliepsnojimo pradžios taškas; C – aktyvaus degimo pabaigos taškas; D – degimo pabaiga; VRT – viršutinis rimties taškas; P – slėgis cilindre; ΔP – slėgio cilindre prieaugis aktyviojo degimo fazės metu; φ – alkūninio veleno pasisukimo kampas; $\Delta\varphi$ – alkūninio veleno pasisukimo kampas vykstant aktyviajam degimui; I – indukcijos fazė; II – aktyviojo degimo fazė; III – lėtojo degimo fazė; IV – baigiamojo degimo fazė.

6.2 pav. parodytas slėgio P kitimo priklausomybė nuo alkūninio veleno pasisukimo kampo φ . Indukcijos fazė I prasideda įpurškus degalus (grafike įpurškimo pradžią atitinka A taškas). Indukcinis degimas tęsiasi iki B taško. Šios fazės metu įpurškiami degalai garuoja, maišosi su oru, oksiduojasi. Dėl oksidavimosi kaupiasi nepatvarūs oksidai ir peroksidai, skiriasi šiluma (fazės metu išsiskiria apie 10 % visos deginant degalus išskiriamos šilumos). Skiriantis šilumai, kyla temperatūra. Dėl to pagreitinėja cheminės reakcijos ir degalai užsiliepsnoja. Indukcijos fazės trukmė priklauso nuo degalų savybių ir temperatūros cilindre. Varikliui dirbant su didesne apkrova, padidėja jo suslėgimo laipsnis. Dėl to temperatūra degimo kameroje tampa aukštesnė ir degalai lengviau užsiliepsnoja. Taip pat degalai lengviau užsiliepsnoja, kai jie į cilindrą įpurškiami kuo vėliau suslėgimo takto pabaigoje. Tačiau vėlinimą riboja kiti veiksniai.

Pasibaigus indukciniam degimui, prasideda aktyviojo degimo fazė. Alkūninio veleno pasisukimo kampo koordinatėje ši fazė pažymėta skaičiumi II, o slėgio kitimo grafike ji atitinka kreivę apribotą B

ir C taškais. Fazė baigiasi C taške, kuriame slėgis cilindre labai artimas didžiausiam. Aktyviojo degimo metu išsiskiria apie 70 % šiluminės degalų energijos. Kuo ilgiau trunka indukcinio degimo fazė, tuo daugiau degalų suspėjama įpurkšti į cilindrą iki prasidedant aktyviajam degimui (įpurkštų degalų kiekis proporcingas užbrūkšniuotam mėlynosios kreivės, parodančios degalų įpurškimo dėsnį, plotui). Į cilindrą įpurškus daugiau degalų, pakyla slėgio jame didėjimo greitis (slėgio kreivė tampa statesnė) ir didžiausias pasiekiamas slėgis (aukščiausias 3 kreivės taškas). Tačiau kuo daugiau degalų iškart užsiliepsnoja, tuo greičiau kyla slėgis cilindre. Dėl to dyzelinis variklis dirba trankiau, sparčiau dyla. Kai slėgio augimo greitis yra iki 0,5 MPa vienam alkūninio veleno pasisukimo laipsniui (MPa/1°), toks variklis dirba gana tyliai. Slėgio kitimo greičiui esant 0,5–1,0 MPa/1°, dirba gana trankiai, o kitimo greičiui pasiekus 1,0 MPa/1° ir daugiau – variklio darbas tampa ypač trankus. Norint sumažinti skleidžiamą garsą, stengiamasi, kad pradžioje užsiliepsnotų nedidelis degalų kiekis. Paskui tęsiant degalų įpurškimą, slėgis didėja ne taip sparčiai. Variklio triukšmingumui sumažinti degalai gali būti įpurškiami ne pagal 6.2 pav. parodytą ir 2 skaičiumi pažymėtą, bet pagal kitokį dėsnį. 6.3 pav. parodyti trys degalų išpurškimo dėsniai. Vertikaliai pažymėtas įpurškiamų degalų slėgis.



6.3 pav. Degalų išpurškimo dėsniai.

Laiptuotas arba dvigubas degalų įpurškimo dėsniai naudojami, siekiant sumažinti indukcinio degimo fazės metu įpurkštų degalų kiekį.

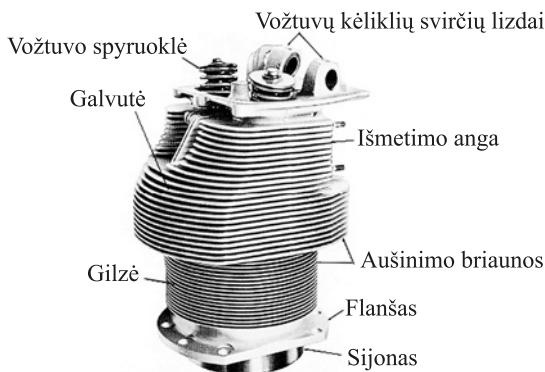
Trečioji fazė – lėtasis degimas. Šios fazės metu užbaigiamas degalų įpurškimas. Nors stūmoklis fazės metu juda žemyn ir degimo kameros tūris auga, slėgis cilindre (slėgio kreivės atkarpa C–D) nemažėja, nes degant degalams išsiskiria šiluma (apie 20 % degimo metu išskiriamos šilumos) (III fazė).

Baigiamojo degimo fazėje sudeginami lėtojo degimo fazėje nesusdegę degalai. Degimas šioje fazėje nepageidaujamas, nes jo metu stūmokliui slenkant žemyn degimo kameros tūris didėja, todėl slėgis cilindre nedidėja. Variklis kaista, dūmija, netaupiai naudoja degalus, išvysto nedidelę galią. Degimas šioje fazėje vyksta, kai degalai išpurškiami per stambiais lašeliais arba juose daug sunkiųjų frakcijų. Todėl degalai nespėja laiku išgaruoti.

7. PAGRINDINIŲ STŪMOKLINIO VIDAUS DEGIMO VARIKLIO MAŽGŲ IR DETALIŲ KONSTRUKCIJA

7.1. Cilindrai

7.1 pav. parodyta oru aušinamas variklio cilindras. Jis susideda iš plieninės briaunuotos gilzės ir taip pat briaunuotos aliuminio lydinio galvutės. Cilindro gilzėje slankioja stūmoklis. Galvutėje sumontuota dalis vožtuvų mechanizmo, padaryti lizdai žvakėms įsukti.



7.1 pav. Oru aušinamo aviacinio variklio cilindras.

Vidinis gilzės paviršius glotniai apdorotas ir azotuotas. Jis vadinamas cilindro veidrodžiu. Gilzė su galvute dažniausiai jungiama specialaus profilio sriegiu. Kad sujungimas būtų sandarus, jungiama su didele įvarža. Esant šaltam varikliui, ši įvarža sudaro $0,45 \div 0,55$ mm, varikliui įkaitus iki darbo temperatūros, įvarža truputį sumažėja, nes aliuminio šiluminio plėtimosi koeficientas didesnis nei plieno. Cilindrą surenkant, galvutė įkaitinama iki $(280 \div 300) ^\circ\text{C}$ ir sukama ant šaltos gilzės.

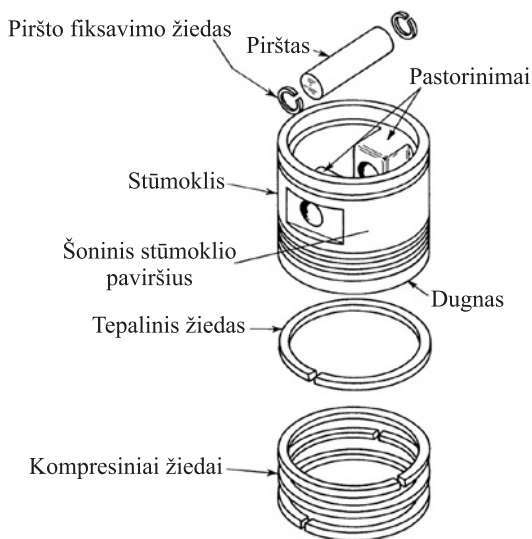
Gilzės apačioje yra flanšas, kuriuo ji tvirtinama prie variklio karterio, ir centruojantis sijonas. Gilzės išorinis paviršius briaunuotas keliomis dešimtimis aušinimo briaunų. Aušinimo briaunų kiekis bei aukštis (o kartu ir jų plotas) parenkami taip, kad patikimai aušintų

gilžę. Labai svarbu, kad ji ne tik pakankamai gerai atauštų, bet ir neperauštų. Paprastai gilžės aušinimo briaunos būna vienodo aukščio ir išdėstomos tolygiai.

Galvutę aušinančių briaunų kryptis, aukštis ir forma diferencijuojami. Daugiausia briaunų turi arčiausiai išmetimo vožtuvo esanti galvutės dalis, nes ji veikiama stipriausio šilumos srauto. Galvutės briaunų plotas daug didesnis nei gilžės (jis gali būti didesnis nei tris kartus). Galvutės viduje yra degimo kamera. Ji dažniausiai sferos formos. Degimo kameroje padarytos kiaurymės įsiurbimo ir išmetimo vožtuvams. Paprastai vožtuvai stovi kampu vienas kito atžvilgiu.

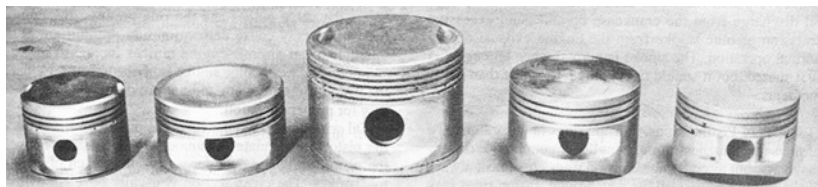
7.2. Stūmokliai

Vidaus degimo variklio stūmoklis dujų slėgį perduoda švaistikliui. 7.2 pav. parodyta oru aušinamo variklio stūmoklio sandara.



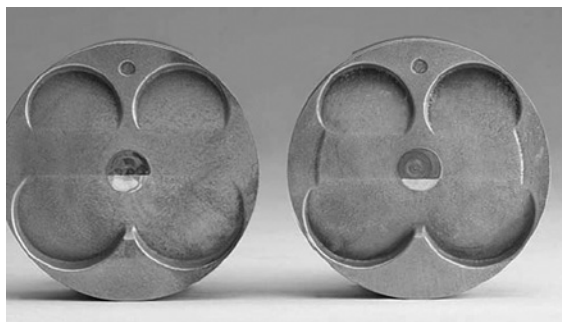
7.2 pav. Stūmoklio sandara.

Jis sudarytas iš šių pagrindinių dalių: dugno, šoninio paviršiaus ir pastorinimų. Stūmoklis šampuojamas iš aliuminio lydinio.



7.3 pav. Įvairūs aviacinių variklių stūmokliai.

Vidinis stūmoklio paviršius briaunuotas. Briaunos pagerina jo aušinimą. Išorinėje dugno pusėje dažnai daromi įgilinimai, kad visiškai atidaryti vožtuvai neliestų stūmoklio, jam esant VRT.



7.4 pav. Įgilinimai, apsaugantys nuo kontakto su atidarytais vožtuvais, viršutiniame stūmoklio paviršiuje.

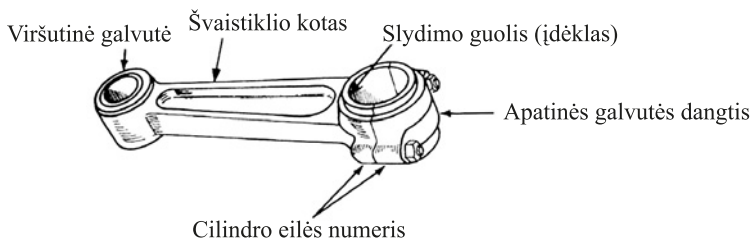
Stūmoklio šoninio paviršiaus viršuje ištekinama nuo dviejų iki keturių griovelių, o apačioje – vienas. Viršutiniuose grioveliuose įstatomi sandarinimo žiedai (jie dar vadinami kompresiniais žiedais). Paskutiniame iš viršutinių griovelių įstatomi du tepaliniai žiedai, nuvalantys nuo cilindro veidrodžio tepalo perteklių. Apatiniame griovelyje taip pat statomas tepalinis žiedas. Taip tarpusavyje išdėsčius tepalinius žiedus galima tarp žiedų suformuoti tepalo plėvelę, sumažinančią šoninio stūmoklio paviršiaus trintį su cilindro veidrodžiu.

Plieninis pirštas stūmoklį jungia su švaistikliu. Paprastai tiek su stūmokliu, tiek su švaistikliu pirštas jungiamas jungtimi su garantuotu tarpu (t. y. jis laisvai „plaukiojantis“). Kad pirštas nejudėtų išilgai savo ašies, į pirštui skirtų stūmoklio kiaurymių galus įdedamos specialios

aklės arba jis fiksuojamas spyruokliniais žiedais, įstatomais į pastorinimuose išpjautus griovelius.

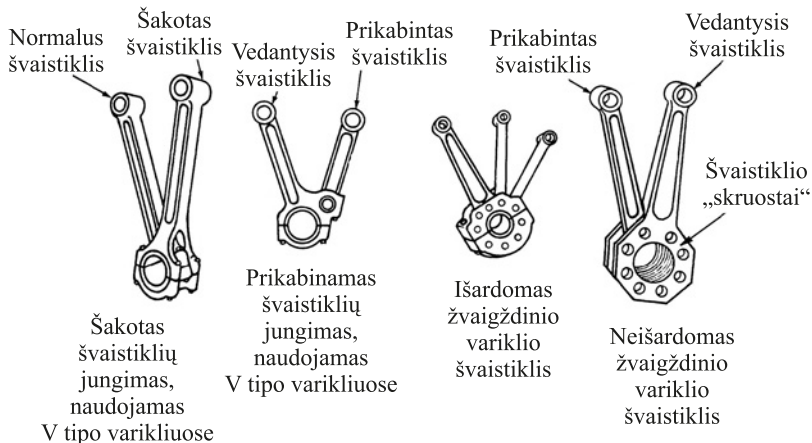
7.3. Švaistikliai

Švaistiklis jungia stūmoklį su alkūniniu velenu. Jis priima ir perduoda alkūniniam velenui visus krūvius, kylančius stūmokliui judant.



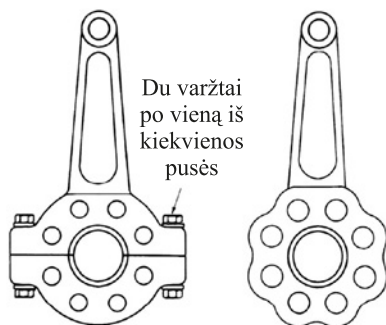
7.5 pav. Švaistiklio sandara.

Žvaigždinio variklio švaistikliai smarkiai skiriasi nuo opozicinio. 7.6 pav. parodyti žvaigždinio variklio švaistikliai (vedantysis ir prikabinantieji). Prikabinantieji švaistikliai su vedančiuoju sujungti pirštais. Pirštai įstatyti vedančiojo švaistiklio skruostuose. Prikabintųjų švaistiklių pirštai išdėstyti simetriškai vedančiojo švaistiklio alkūninio veleno kiaurymės atžvilgiu.



7.6 pav. Įvairių tipų variklių švaistikliai.

Vedantysis žvaigždinių variklių švaistiklis apkraunamas prikabinųjų švaistiklių apkrovomis, kurios yra pakankamai didelės. Todėl jį stengiamasi daryti neišardomą, o alkūninį veleną – išardomą. Tačiau tais atvejais, kai dėl stiprumo ar technologinių sumetimų alkūninis velenas turi būti monolitinis, švaistiklio apatinė galvutė, kuria jis jungiamas su alkūniniu vėlenu, daroma iš dviejų dalių.



7.7 pav. Išardomas (kairėje) ir neišardomas (dešinėje) žvaigždinių variklių vedantieji švaistikliai.

Alkūninio veleno kaklelio guolis dažniausiai būna slydimo (nors kartais naudojami ir kitokie, pavyzdžiui, adatiniai). Slydimo guolis – tai plieninė įvorė, kurios vidus pripildytas bronzos ir švino lydinio. Įvorė įpresuojama į švaistiklio apatinės galvutės kiaurymę. Kad neprasisuktų, įvorė apsaugota specialia spyna, uždėta ant jos gale išpjautų išdrožių. Pati spyna varžtais tvirtinama prie prikabinamųjų švaistiklių pirštų.

Vedančiojo švaistiklio kotas dažniausiai daromas dvitėjinio skerspūvio, kurio lentynėlės lygiagrečios švaistiklio svyravimo plokštumai. Dėl to ne tik padidėja koto standumas pavojingiausioje plokštumoje, bet ir supaprastėja jo gamybos technologija. Švaistiklis šampuojamas iš aukštos kokybės plieno. Jo pirštai plieniniai, azotuoti.

Į viršutinę vedančiojo švaistiklio galvutę ir visas prikabinamųjų švaistiklių galvutes įpresuotos plonasienės įvorės. Jos dažniausiai būna pagamintos iš lakštais valcuotos bronzos.

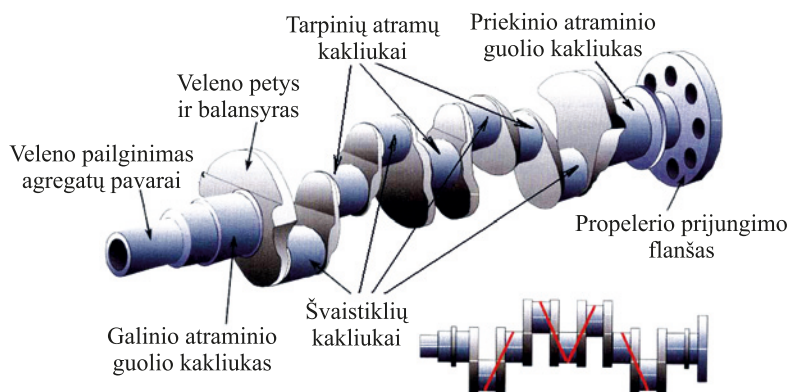


7.8 pav. Stūmoklinio vidaus degimo variklio stūmoklis su švaistikliu.

7.4. Alkūniniai velenai

Kartu su švaistikliu alkūninis velenas stūmoklio slenkamąjį judesį paverčia sukamuoju ir perduoda jį vartotojui (pavyzdžiui, sraigtui) sukti.

Vidinės veleno ertmės naudojamos kaip tepalo kanalai, kuriais tepalas tiekiamas besitrinantiems paviršiams tepti, propelerio žingsnio keitimo mechanizmui (kai naudojama hidraulinė propelerio žingsnio keitimo pavara). Velenai gaminami iš šlifuotų ar kaltų aukštos kokybės plieno ruošinių.



Alkūninio veleno tepimo kiaurymių išdėstymo schema: raudonai pažymėtais kanalais tepalas iš tarpinių atramų kakliukų tiekiamas švaistiklių kakliukams tepti

7.9 pav. Aviacinio keturių cilindų opozicinio variklio alkūninis velenas, jo svarbiausios sudėtinės dalys ir tepimo schema.

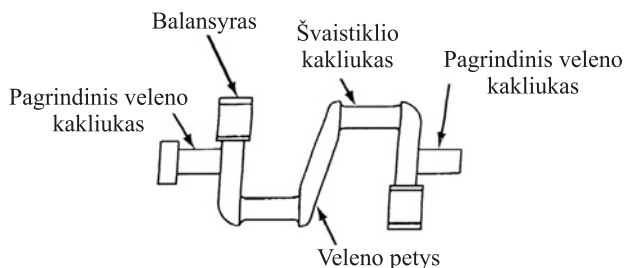
Alkūninis velenas sudarytas iš kakliukų, sujungtų pečiais. Kakliukai, kuriais švaistikliai jungiasi su alkūniniu velenu, vadinami švaistiklių kakliukais. Jie visada nesutampa su veleno sukimosi ašimi ir su veleno atramų kakliukais jungiami pečiais. Prie tų pačių pečių dažniausiai tvirtinami balansyrai, mažinantys variklio vibraciją ir trukdantys kilti rezonansiniams alkūninio veleno virpesiams. Tačiau šio reiškinio ne visada pavyksta išvengti. Todėl kai kuriems varikliams įvedami ilgalaikių sūkių apribojimai (sūkiai, kuriais ilgas variklio darbas nerekomenduojamas). Šie apribojimai turi būti pažymėti raudonu lanku tachometro skaleje.

Abiejuose alkūninio veleno galuose yra atraminių guolių kakliukai. Per šiuos guolius alkūninis velenas remiasi į variklio korpusą. Atraminiai guoliai priima ne tik radialines, bet ir ašines alkūninį veleną veikiančias jėgas. Jei alkūninis velenas ilgas (kai variklio cilindrai išdėstyti ne žvaigžde), jam paremti naudojamos tarpinės atramos, kurių guoliuose guli tarpiniai kakliukai. Šios atramos dažniausiai priima tik radialines, statmenai veleno ašiai veikiančias jėgas.

Tam, kad sukamasis judesys būtų panaudotas variklio agregatams sukti, prie alkūninio veleno galo tvirtinami krumpliaračiai. Atsižvelgiant į sukamų agregatų kiekį, jų gali būti vienas ar keli. Alkūninio veleno sukamasis judesys perduodamas arba tiesiogiai propeleriui, arba per žeminantį reduktorių. Pastaruoju atveju pasiekiamas aukštesnis propelerio naudingojo veikimo koeficientas. Tačiau reduktorius padidina variklio svorį ir kainą. Tokio variklio eksploatacija sudėtingesnė nei bereduktorio. Kai propeleris sukamas tiesiogiai, prie alkūninio veleno galo tvirtinamas propelerio prijungimo flanšas su kiaurymėmis propelerio prijungimo varžtams. Labai dažnai šis flanšas gaminamas monolitinis kartu su velenu, todėl nereikia atskiros flanšo ir veleno jungties. Alkūninis velenas gali baigtis ir kitokio tipo jungtimi propeleriui (pavyzdžiui, šlicais).

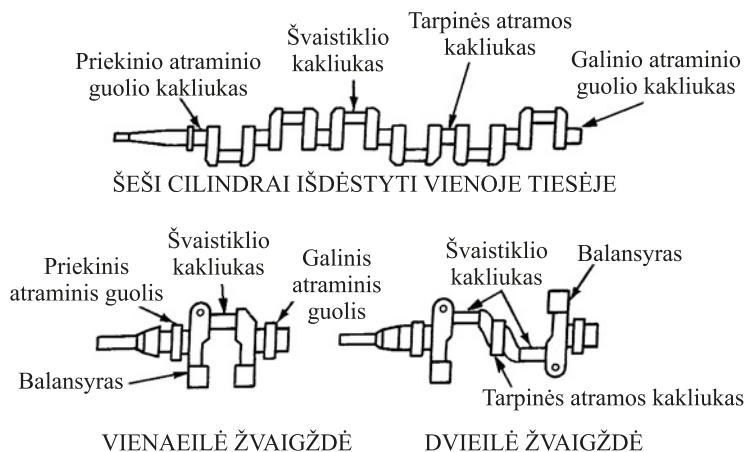
Žvaigždinių variklių alkūniniai velenai trumpesni. Jų sandara analogiška kitų cilindrų išdėstymų variklių alkūninių velenų sandarai. 7.10 pav. parodytas žvaigždinio variklio alkūninis velenas. Jis turi dvi alkūnes ir yra sudarytas iš dviejų pagrindinių (priekinio ir galinio)

kakliukų, kuriais remiasi į karterio guolius. Švaistikliai tarpusavyje ir prie pagrindinių kakliukų jungiami pečiais. Prie priekinio ir galinio pečių tvirtinami balansyrai.



7.10 pav. Monolitinis dvieilio žvaigždinio variklio dviejų alkūnių alkūninio veleno schema.

Pats alkūninis velenas gali būti monolitinis ir išardomas. Monolitinio veleno gamyba ir remontas sudėtingesni, tačiau jis patikimesnis, nes nėra jungčių. Išardomo alkūninio veleno vidurinės alkūnės turi kiaurymes, kurių skersmuo lygus kaklelių skersmeniui. Alkūnės iki kiaurymių įpjautos ir veržiamos sutraukimo varžtais. Montuojant varžtų užveržimas kontroliuojamas pagal varžto ištraukimą. 7.11 pav. parodyti išardomi žvaigždinių variklių alkūniniai velenai.



7.11 pav. Įvairių tipų (pagal cilindų išdėstymą) variklių alkūniniai velenai.



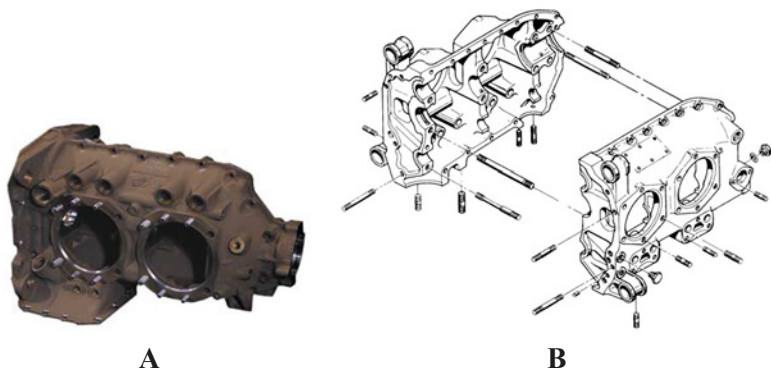
7.12 pav. Vienaeilio variklio alkūninis velenas. Kairėje viršuje matyti agregatų pavaros krumpliaratis. Veleno kakliukuose išgręžtos tepimo kiaurymės.

Alkūninio veleno pasisukimo kampas, per kurį cilindre įvyksta uždegimas, vadinamas uždegimo intervalu. Viencilindrio keturtakčio vidaus degimo variklio šis intervalas yra 720° . Jeigu variklis yra keturių cilindrų, jo uždegimo intervalas bus 180° . Šešių cilindrų variklio uždegimo intervalas – 120° .

Nuo alkūninio veleno konstrukcijos priklauso cilindrų veikimo tvarka. Ji dar vadinama uždegimo tvarka. Uždegimo tvarka parodo uždegimo eiliškumą variklio cilindruose.

7.5. Blokai

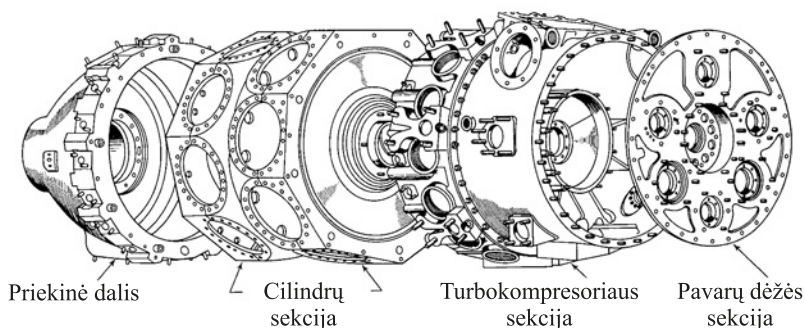
Cilindrų blokas – tai svarbiausias jėginis variklio korpusas. Prie bloko tvirtinami cilindrai, jame yra alkūninio veleno atraminiai guoliai. Be to, ant bloko yra mazgai, kuriais variklis tvirtinamas prie motorėmo. Prie bloko taip pat tvirtinami pagalbiniai variklio mazgai ir agregatai. Žvaigždinio variklio blokas kartu yra ir karteris. Prie kitų cilindrų išdėstymo tipų variklių (opozicinio, neapverstos eilės, neapverstos V formos) apatinės bloko dalies tvirtinamas tepalo karteris, į kurį suteka tepant panaudotas tepalas.



7.13 pav. Keturių cilindrų opozicinio variklio blokas (A) ir jo sandara (B).

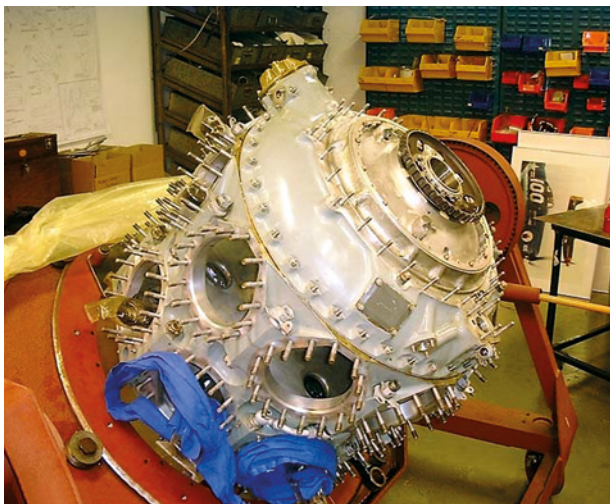
Blokai liejami, kalami arba šampuojami iš lengvų aliuminio lydinų. Kai bloką veikia dideli krūviai, jis gaminamas iš plieno.

Variklio blokas dažniausiai gaminamas sudedamas iš kelių dalių, kurios viena kitos atžvilgiu išstatomos centravimo borteliais ar kaiščiais.



7.14 pav. Dvieilio žvaigždinio variklio bloko sandara. Šio tipo variklių blokai kartu atlieka ir karterio funkcijas.

Jeigu žvaigždinis variklis turi propelerio sukįs mažinantį reduktorių, jo mechanizmas dažniausiai montuojamas priekinėje bloko dalyje.



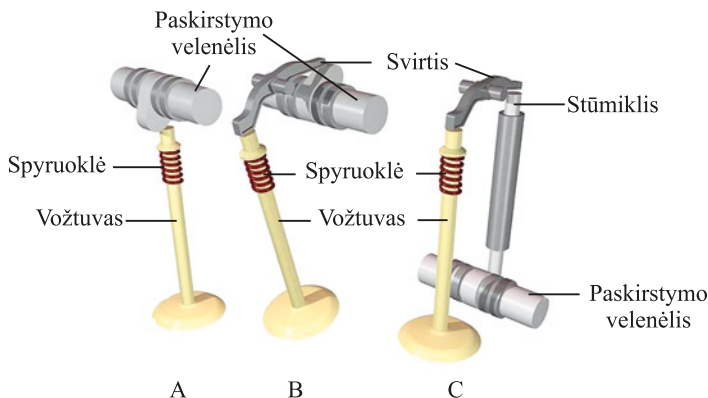
7.15 pav. Dvieilio žvaigždinio variklio karterio cilindų sekcija. Iš jos kyšo smeigės, kuriomis tvirtinami cilindrai ir reduktorius.

7.6. Vožtuvų mechanizmas

Šis mechanizmas turi tiksliai nustatytu laiku, atsižvelgiant į stūmoklio padėtį, atidaryti ir uždaryti vožtuvus, priversti juos judėti pagal tam tikrą, iš anksto nustatytą, dėsnį.

Vožtuvų mechanizme vožtuvus judėti verčia paskirstymo velenėlio kumšteliai arba kumštelinis diskas (žvaigždiniais varikliams). Paskirstymo velenėlį ar kumštelinį diską per specialią pavarą suka alkūninis velenas.

Tipiškas keturtakčio opozicinio vidaus degimo variklio vožtuvų mechanizmas parodytas 7.16 pav. Vožtuvas, kurio cilindrinis kotas įstatytas į kreipiančiąją, gali slankioti išilgai jos. Koto viršuje esančios spyruoklės spaudžia vožtuvo kepurėlę nuožula prie lizdo. Vožtuvo kotas baigiasi specialiai suformuotu galiuku (šis gali būti atskira detalė). Į koto galiuką remiasi svirties padas. Svirties paspaustas vožtuvas atsidaro. Svirtį prie stūmiklio spaudžia sukimo paskirtą atliekanti spyruoklė. Ji gali būti užvyniota ant svirties ašies. Svirties spaudžiamas stūmiklis kopijuoja ekscentriško kumštelio profilį.



7.17 pav. Vožtuvų mechanizmų tipai pagal tai, kaip judesys nuo kumštelio perduodamas vožtuvui;

A – kumštelis tiesiogiai stumdo vožtuvą;

B – kumštelis judesį vožtuvui perduoda per svirtį;

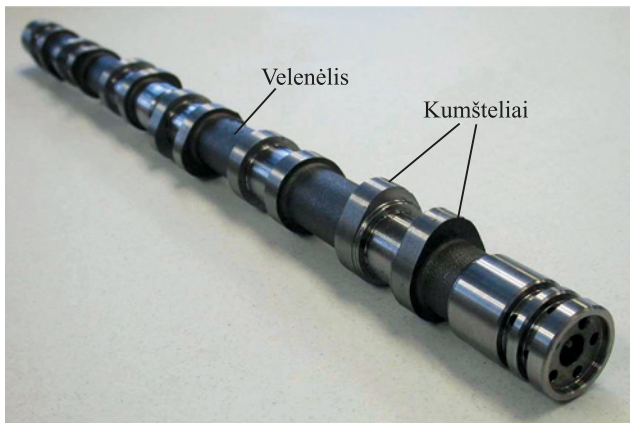
C – judesys nuo kumštelio vožtuvui perduodamas per stūmiklį ir svirtį.

Kai kumštelio profilį kopijuoja spyruoklės spaudžiamas vožtuvo kotas (7.17 pav. A), gauname labai paprastą dujų paskirstymo mechanizmo pavarą. Tačiau toks mechanizmas galimas tik tuomet, jei paskirstymo velenėlio ašis kertasi su vožtuvo koto ašimi. Be to, paskirstymo velenėlis būtinai turi būti virš vožtuvo. Jei vožtuvų neįmanoma išdėstyti vienoje eilėje, tai, esant tokiam vožtuvų mechanizmui, reikės tiek paskirstymo velenėlių, kiek bus vožtuvų eilių. Be to, ne visuose varikliuose įmanoma paskirstymo velenėlius išdėstyti virš stūmoklių. Vožtuvo eiga šiuo atveju bus lygi didžiausio ir mažiausio kumštelio iškilimų skirtumui. Tai taip pat ne visada privalumas.

Tarp paskirstymo velenėlio bei vožtuvo įtaisius papildomą svirtį, velenėlio ašis nebeturi kirstis su vožtuvo ašimi (7.17 pav. B). Be to, parinkus atitinkamą svirties pečių santykį, galima padidinti ar sumažinti vožtuvo judesį, palyginus su didžiausiu ir mažiausiu kumštelio iškilimų skirtumu. Tačiau ir šiuo atveju paskirstymo velenėlis turi būti virš vožtuvo. Be to, palyginti su variantu, kai kumštelis tiesiogiai stumdo vožtuvą, šis sprendimas sudėtingesnis. Toks vožtuvų mechanizmas taip pat netinkamas žvaigždiniais varikliais.

Tarp vožtuvų mechanizmo svirties ir paskirstymo velenėlio įvedus stūmiklių, velenėlį galima atitraukti nuo svirties. Tuomet velenėlis gali būti žemiau nei vožtuvas. Aišku, mechanizmas tada bus dar sudėtingesnis (šio tipo vožtuvų mechanizmas parodytas 7.17 pav. C). Vis dėlto, nepaisant sudėtingumo, šio tipo vožtuvų mechanizmai dažniausiai naudojami aviaciniuose varikliuose.

Viena iš svarbiausių vožtuvų mechanizmo dalių – paskirstymo velenėlis. Stūmokliniai vidaus degimo varikliai jų gali turėti nuo vieno iki keleto.



7.18 pav. Paskirstymo velenėlis.

Paskirstymo velenėlį per pavarą suka alkūninis velenas. Paskirstymo velenėlio kumšteliai verčia judėti vožtuvus. Aviaciniai varikliai gali turėti vieną ar keletą paskirstymo velenėlių. Dažnai įsiurbimo ir išmetimo vožtuvus valdo atskiri velenėliai. Atskiri velenėliai gali valdyti ir atskiras vožtuvų grupes.

Aviacinių variklių paskirstymo velenėliai dažniausiai sukami naudojant krumpliaratinę pavarą. Ji sudėtingesnė ir brangesnė, tačiau patikimesnė.

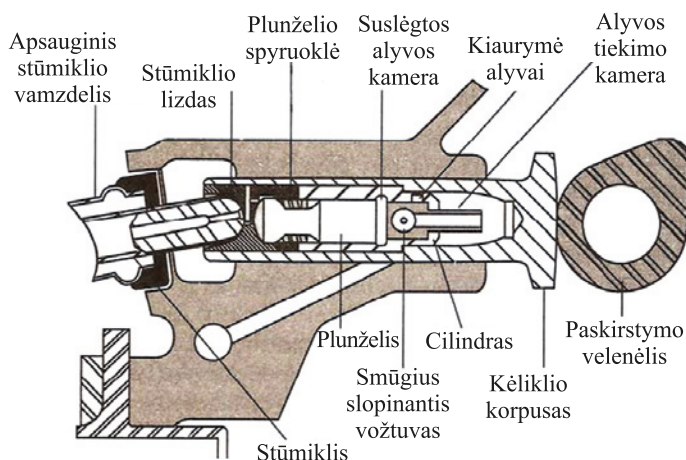
Stūmiklis – tai paprasčiausias metalinis strypas, perduodantis kumštelio (arba hidraulinio kompensatoriaus) judesį svirčiai.



7.19 pav. Stūmikliai.

Stūmiklio galai gali turėti keičiamus antgalius, padidinančius jo atsparumą smūginėms apkrovoms. Varikliui veikiant, dyla tik stūmiklio galai, todėl remontuojant užtenka pakeisti tik jo antgalius.

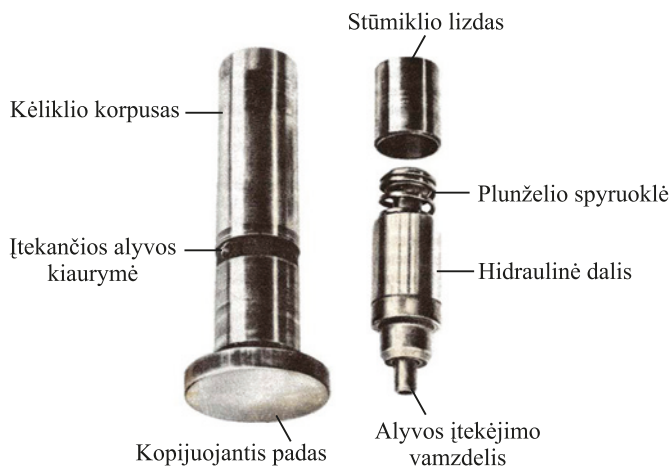
Dažniausiai paskirstymo velenėlis stūmiklį stumdo per tarpinę grandį – kėliklį. Aviaciniuose varikliuose paprastai naudojami kėlikliai kartu su hidrauliniiais vožtuvų kompensatoriais.



7.20 pav. Hidraulinio vožtuvų kompensatoriaus schema.

Hidraulinis vožtuvų kompensatorius sušvelnina apkrovas visam vožtuvų mechanizmui. Iš esmės tai hidraulinis amortizatorius, kuriam suslėgta alyva tiekama iš variklio tepimo sistemos.

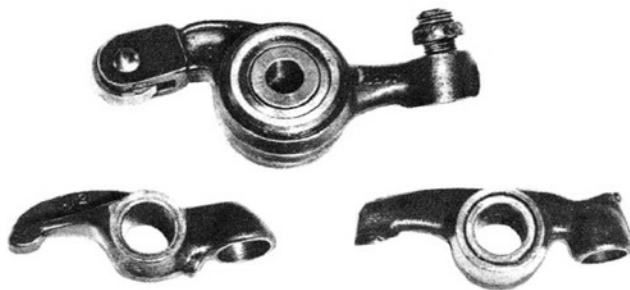
Suslėgta alyva pumpuojama į kompensatoriaus korpuse esančią ertmę per jame esančias kiaurymes. Veikiamas alyvos slėgio plunželis per stūmiklį nuolat laiko prispaustą svirtį prie vožtuvo koto.



7.21 pav. Hidraulinis vožtuvų kompensatorius.

Dėl to paties slėgio kėliklio korpusas savo padu visuomet prispaudęs prie paskirstymo velenėlio kumštelių. Šis įrenginys sumažina krūvius vožtuvų mechanizmui, padaro jo veikimą tylesnį.

Stūmiklis vožtuvą atidarinėja per svirtį.



7.22 pav. Įvairių tipų svirtys

Svirtys gali būti kelių tipų (7.22 pav.). Svirties petys, kontaktuojantis su stūmikliu, gali turėti reguliavimo varžtą. Šiuo varžtu patogiu reguliuoti tarpą tarp vožtuvo ir svirties, kai šis yra uždarytas. Koto peties gale kartais įtaisomas ritinėlis, sumažinantis trintį tarp svirties ir vožtuvo koto.

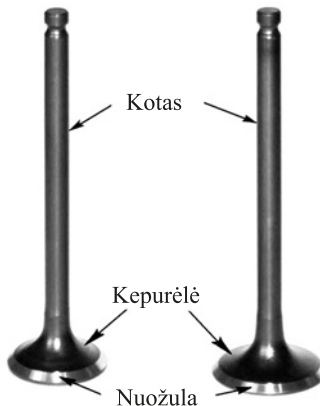
Vožtuvą prie lizdo prispaudžia spyruoklės. Vožtuvų mechanizme paprastai naudojamos cilindrinės spyruoklės.



7.23 pav. Vožtuvų spyruoklės.

Iš anksto suspaustos jos vienu galu remiasi į cilindro galvutę, o kitu – į specialų diską, užmautą ant vožtuvo koto. Siekiant spyruoklių mazgą padaryti kompaktiškesnį, vienam vožtuvui gali būti naudojamos dvi, viena į kitą įmautos, spyruoklės.

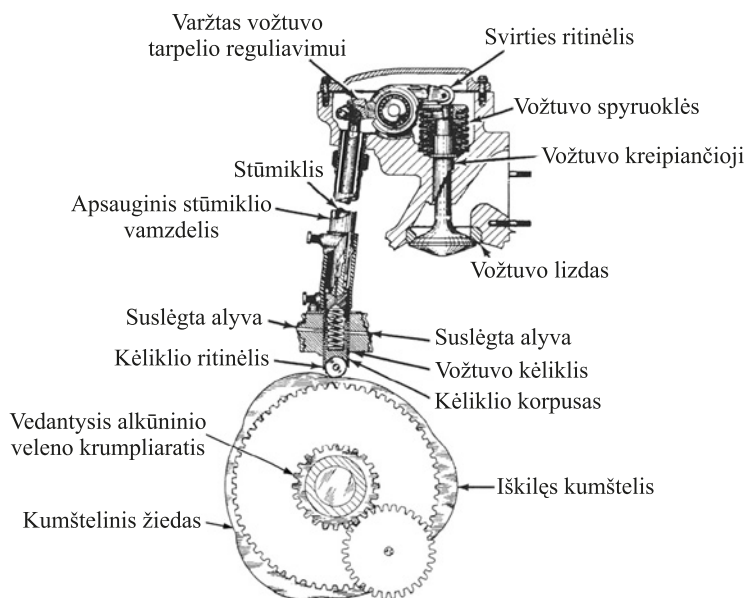
Mechanizmo dalis, tiesiogiai atidarinėjanti ir uždarinėjanti įsiurbimo bei išmetimo angas, yra vožtuvai. Viename cilindre gali būti nuo dviejų iki keturių vožtuvų (pastaruoju atveju naudojama po du įsiurbimo ir išmetimo vožtuvus).



7.24 pav. Vožtuvai.

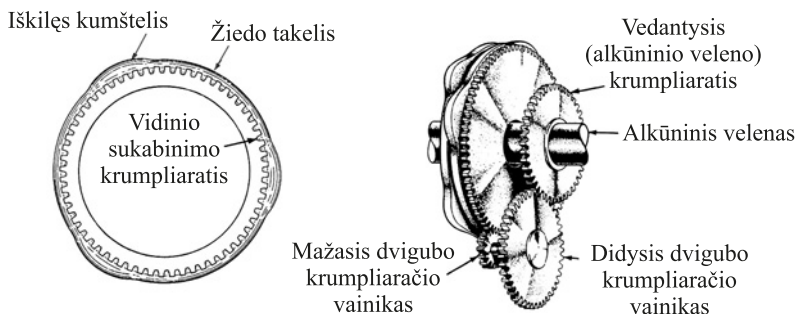
Vožtuvas sudarytas iš kepurėlės ir koto (7.24 pav.). Kepurėlė turi nuožulą, kuria sandariai priglunda prie lizdo. Sunkiausiomis sąlygomis dirba išmetimo vožtuvai, nes juos cikliška veikia karštos išmetamosios dujos. Todėl išmetimo vožtuvai kartais daromi tuščiaviduriai, o jų vidinės ertmės iš dalies pripildomos natrio, kad geriau ataušintų labiausiai įkaistančią vožtuvo dalį – kepurėlę (natrio, būdamas geras šilumos laidininkas, veiksmingiau perduoda šilumą šaltesnėms vožtuvo dalims).

Žvaigždinio variklio vožtuvų mechanizme nėra paskirstymo velenėlio. Jo funkcijas atlieka kumštelinis žiedas.



7.25 pav. Žvaigždinio variklio vožtuvų mechanizmo schema.

Jeigu žvaigždinis variklis turi dvi cilindrų eiles, tai pirmosios cilindrų eilės dujų paskirstymo mechanizmas yra priekinėje bloko dalyje, o antrosios – galinėje. Kiekvienas kumštelinis žiedas sukamas sukamas alkūninio veleno per cilindrinį krumpliaraičių sistemą.



7.26 pav. Žvaigždinio variklio kumštelinis žiedas (A) ir jį sukančių krumpliaraičių sistema (B).

Vedantysis sistemos krumpliaratis, standžiai pritvirtintas prie alkūninio veleno, suka tarpinį dvigubą krumpliaratį. Dvigubas krumpliaratis sudarytas iš dviejų (didžiojo ir mažojo), tarpusavyje standžiai sujungtų, krumpliaraičių. Mažasis dvigubo krumpliaracio vainikas sukabintas su kumštelinio žiedo cilindrinio krumpliaraičiu (7.26 pav. B). Kumštelinis žiedas gali turėti vidinio sukabinimo krumpliaratį (kaip parodyta 7.26 pav. A), tačiau tuomet vožtuvų mechanizmo pavaroje tarp dvigubo ir vedančiojo alkūninio veleno krumpliaraičių įtaisomas dar vienas tarpinis cilindrinis krumpliaratis. Dvigubas krumpliaratis montuojamas ant specialaus kronšteino. Dėl tokios kinematikos kumštelinis diskas sukasi į tą pačią pusę kaip ir alkūninis velenas. Kumštelinio disko išorinis paviršius turi du takelius. Ant kiekvieno iš jų yra po keturis kumštelių. Taigi kumšteliai išdėstyti dviem eilėmis. Viena kumštelių eilė valdo įsiurbimo, kita – išmetimo vožtuvus.

8. STŪMOKLINIŲ VIDAUS DEGIMO VARIKLIŲ DEGAŲ IR DEGIOJO MIŠINIO PARUOŠIMO SISTEMOS

8.1. Lėktuvų su stūmokliniais vidaus degimo varikliais degalų sistemos

Lėktuvo degalų sistema privalo sutalpinti skrydžiams būtiną degalų kiekį (kartu su reikalinga atsarga) ir patikimai tiekti degalus varikliui (varikliams), jam dirbant visais galimais režimais, lėktuvui atliekant bet kokias galimas evoliucijas erdvėje, skrendant visu leidžiamų aukščių diapazonu, greitai kintant skrydžio aukščiui bei greičiui.

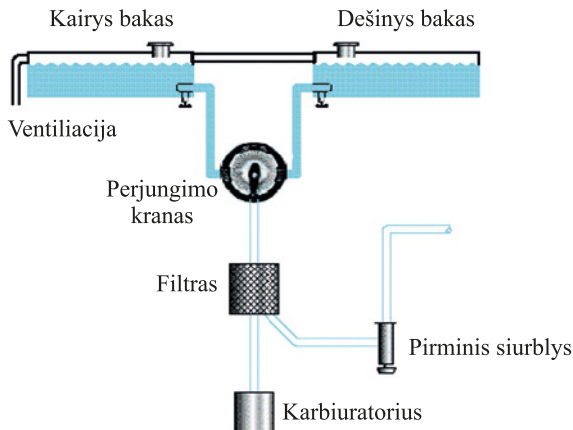
Lėktuvo degalų atsargos laikomos bakuose. Bakuose saugomų degalų savybės neturi kisti kintant aplinkos sąlygoms. Degalų bakų gali būti nuo vieno iki keleto. Jie dažniausiai montuojami sparne. Taip sutaupoma vietos naudingam kroviniui liemenyje, padidinamas lėktuvo saugumas. Kintant skrydžio aukščiui ir greičiui, varikliui naudojant degalus, bakuose gali atsirasti slėgio skirtumas, palyginti su aplinkos slėgiu. Dėl jo bakas gali būti sugniuždytas arba suplėšytas (jei bake slėgis bus didesnis nei aplinkos). To išvengiama įmontavus bakų ventiliacijos sistemą.

Netgi labai kruopščiai laikantis švaros, į bakus gali pakliūti nešvarumų. Jie gali užkimšti degalų sistemos vamzdelius, kitus jos elementus. Todėl visose degalų sistemose naudojami filtrai.

Pagal degalų tekėjimo būdą lėktuvų degalų sistemos skirstomos į:

- gravitacines;
- sistemas su siurbliais.

Gravitacinėse sistemose (8.1 pav.) degalai į variklį atiteka veikiami savo svorio jėgos. Tokios sistemos gali būti naudojamos tik aukštasparniuose lėktuvuose, kuriuose degalų bakai yra daug aukščiau už variklį.



8.1 pav. Paprasčiausios gravitacinės degalų sistemos schema.

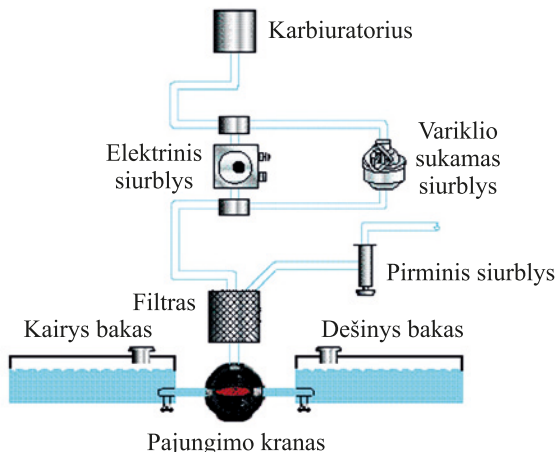
Veikiami svorio jėgos, degalai teka į perjungimo kraną (jis naudojamas tik tada, kai sistemoje yra daugiau nei vienas bakas). Perjungimo kraną valdymo rankenėlė yra piloto kabinoje. Kranas padeda tolygiau išnaudoti degalus iš visų bakų arba naudoti juos iš anksto nustatyta tvarka. Kai kuriose sistemose bakai tiesiogiai prijungiami prie filtro, nenaudojant perjungimo kraną. Tuomet bakai pirmiausia sujungiami tarpusavyje, vėliau tas tarpusavio sujungimo kanalas prijungiamas prie filtro.

Filtre degalai išvalomi ir patenka į karbiuratorių. Papildoma atšaka, perėję per filtrą, degalai tiekiami į pirminį siurblį. Gravitacinėse degalų sistemose dažniausiai naudojami rankiniai pirminiai siurbliai. Jais į variklio įsiurbimo kolektorių įpurškiami degalai, padedantys lengviau užvesti šaltą variklį. Be to, pirminių siurblių pumpuojant degalus įmanoma trumpai pratęsti skrydį sugedus karbiuratoriui. Taigi pirminis siurblys naudojamas tik variklį užvedant ir kai kuriais avariniais atvejais.

Gravitacinė degalų sistema labai paprasta, tačiau ji negali užtikrinti patikimo degalų tiekimo lėktuvui manevruojant. Dėl šios priežasties šio tipo degalų sistemos instaliuojamos tik labai lengvuose lėktuvuose. Kadangi tokia sistema negali tiekti varikliui suslėgtų de-

galų, jos netinka naudoti lėktuvuose, turinčiuose variklius su degalų įpurškimo sistemomis.

Kur kas geresnė (nors ir sudėtingesnė) yra degalų sistema su siurbliu. Šioje sistemoje degalai iš bakų patenka į perjungimo kraną, analogišką gravitacinės sistemos kranui. Iš jo degalai teka į filtrą.



8.2 pav. Paprasčiausios degalų sistemos su siurbliu schema.

Išvalytus degalus variklio sukamas siurblys pumpuoja į karbiuratorių arba įpurškimo sistemą. Lygiagrečiai variklio siurbliui jungiamas papildomas (dažniausiai elektrinis) siurblys, tiekiantis degalus variklio siurbliui sugedus. Paprastai patariama lėktuvui tupiant ir kylant šį siurblių laikyti įjungtą. Dauguma variklio sukamų siurblių turi specialią sklendę, leidžiančią degalams laisvai tekėti siurbliui sugedus. Tada pagalbinį siurblių galima jungti ne lygiagrečiai, o nuosekliai variklio siurbliui, o elektrinį siurblių panaudoti ir kaip pirminį.

8.2. Degalų ir oro mišinys

8.2.1. Mišinio riebumas

Variklio galia ir ekonomiškumas labai priklauso nuo to, kaip darbo eigos takte sudega degalų ir oro mišinys. Jo sudegamumas labai priklauso nuo oro ir degalų kiekių santykio. Šį santykį apibūdina mišinio riebumas, kurį savo ruožtu charakterizuoja oro perviršio koeficientas.

Tam, kad vienas kilogramas degalų visiškai sudegtų ir degimo produktuose nebeliktų degant nedalyvavusio deguonies, reikia vieną kilogramą benzino sumaišyti su 15 kilogramų oro. Tokiu santykiu (15:1) sumaišytas oro ir degalų mišinys vadinamas chemiškai tinkamiausiu.

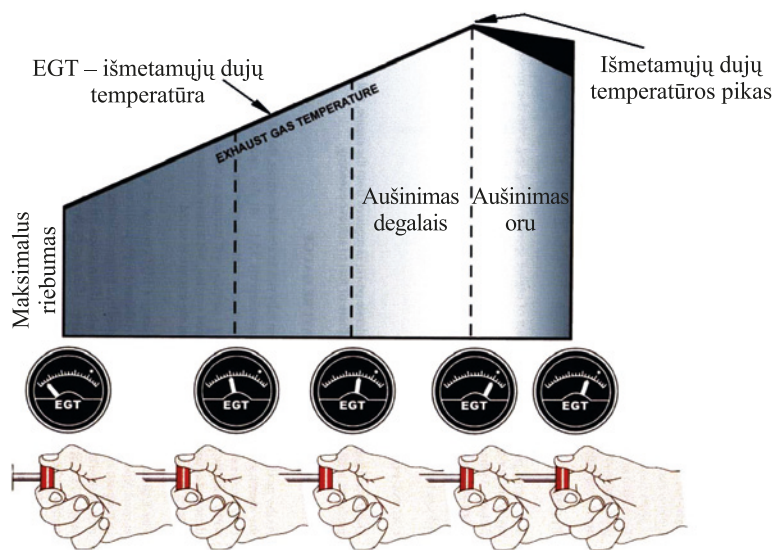
Mišinio proporcijas apibūdina oro perviršio koeficientas α , kuris yra oro kiekio, teoriškai reikalingo sudeginti vienam kilogramui degalų, santykis su realiu oro kiekiu. Kai mišinio santykis 15:1 tai $\alpha=1$. Jeigu $\alpha<1$, mišinyje degalų yra daugiau, nei jų galima sudeginti mišinyje esančiu oro kiekiu. Toks degalų ir oro mišinys vadinamas riebiu. O kai $\alpha>1$ mišinyje oro daugiau, nei jo reikia degalams sudeginti, ir toks mišinys laikomas riebiu. Nustatyta, kad kai $\alpha=0,85\div 0,90$, mišinio degimo greitis didžiausias. Esant labai riebiam ar labai liesam mišiniui, variklis gali netgi neveikti, nes tampa neįmanomas stabilus degimas. Oro perviršio koeficiento reikšmės, kurias pasiekus liepsna nebeplinta, vadinamos išliepsnojimo riba. Riebaus benzino ir oro mišinio išliepsnojimo riba pasiekama, kai $\alpha=0,3\div 0,4$. Lieso mišinio išliepsnojimo riba – $\alpha=1,3\div 1,5$.

8.2.2. Mišinio riebumo įtaka variklio darbui

Kai degalų ir oro mišinys cilindre visiškai sudega, temperatūra jame aukščiausia. Esant per riebiam ar per liesam mišiniui, degimo produktų temperatūra bus žemesnė, palyginti su chemiškai tinkamiausiu mišiniu. Šis reiškinys panaudojamas keturtakčio vidaus degimo variklio mišinio riebumui reguliuoti.

Tam variklio išmetimo kolektoriuje įmontuojamas išmetamųjų dujų temperatūros (EGT) matuoklis. Jis, kaip ir galvučių temperatūros matuoklis, veikia galvanometro principu. Išmetimo vamzdyje įmon-

tuojama termopora, o prietaisų lentoje esanti rodyklė rodo jos generuojamą potencialų skirtumą.



8.3 pav. Oro ir degalų mišinio santykio koregavimas pagal išmetamųjų dujų temperatūrą.

Naudojantis išmetimo dujų matavimo prietaisu galima konkrečioms skridimo sąlygoms nusistatyti tinkamiausią mišinio riebumą.

Kilimo galia. Varikliui veikiant kilimo režimu reikia gauti kuo didesnę galią, kartu užtikrinant patikimą veikimą. Tinkamiausias šiam režimui oro ir degalų mišinys 10:1. Tačiau, veikdamas šiuo režimu, variklis nebus ekonomiškasis, terš aplinką. Charakteringas kilimo režimu veikiančio variklio požymis – tamsūs dūmai iš išmetimo vamzdžio. Jie rodo, kad mišinys riebus. Ilgalaikis variklio darbas šiuo režimu nerekomenduotinas.

Aukščio ėmimo režimas. Varikliui veikiant šiuo režimu taip pat reikalinga artima didžiausia galia ir veikimo patikimumas. Geriausia, kai tuomet variklis gauna 11:1 proporcijomis sumaišytą degųjų mišinį. Kaip ir kilimo režime, toks mišinio riebumas leidžia išlaikyti geras antidetonacines savybes, tačiau tai nėra ekonomiškasis režimas.

Kreiserinis režimas. Taupiausiai variklis dirba esant 15:1 proporcija sumaišytam oro ir degalų mišiniui. Dėl visiško degalų sudegimo išmetamųjų dujų temperatūra bus aukščiausia. Tokį mišinio riebumą varikliuose, kuriuose yra rankinė mišinio reguliavimo sistema, nesunku išgauti keičiant riebumą pagal išmetamųjų dujų temperatūros prietaisą.

Tačiau naudoti variklį, kai yra didžiausios išmetamųjų dujų temperatūros, neleidžiama (ypač ilgą laiką). Todėl kiekvienu atveju išmetamųjų dujų temperatūra turi būti reguliuojama ir palaikoma pagal variklio ir lėktuvo gamintojų nurodymus bei procedūras.

8.3. Degiojo mišinio paruošimas

Keturtaktis vidaus degimo variklis veiks tik gaudamas paruoštą degalų ir oro mišinį. Sistemos, paruošiančios mišinį, kurį vėliau įsiurbia variklis, vadinamos išorinėmis degalų paruošimo sistemomis. Tai karbiuratoriai ir išorinės degalų įpurškimo sistemos. Degalai gali būti įpurškiami į cilindrą įsiurbimo takto metu. Tuomet degusis mišinys susidarys cilindro viduje, o tokia degalų įpurškimo sistema bus vadinama vidine.

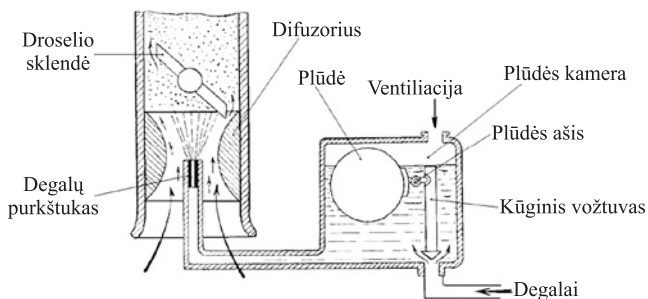
Degalų ir oro mišinio sudarymas daro didelę įtaką degimo proceso podūdžiui. O nuo jo priklauso variklio galia ir ekonomiškumas.

Kad variklis gerai dirbtų, labai svarbu, kad visa degalų, ciklo metu patekusių į cilindrą, porcija gerai susimaišytų su oru ir būtų išlaikoma tinkamiausia variklio darbo režimui mišinio sudėtis. Degalų ir oro mišinys ruošiamas labai trumpai (šimtasias sekundės dalis), jau vien todėl mišinio ruošimas nėra paprastas procesas.

8.3.1. Degiojo mišinio paruošimas karbiuratoriuje

Karbiuratorinio variklio degusis mišinys pradedamas ruošti karbiuratoriuje ir baigiamas cilindre. Vienas paprasčiausių – karbiuratorius su plūdės kamera.

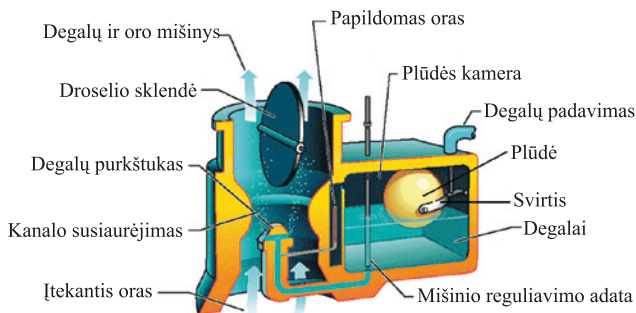
Išnagrinėsime paprasčiausio karbiuratoriaus darbo principą. 8.4 pav. parodyta plūdinio karbiuratoriaus supaprastinta schema. Jis sudarytas iš difuzoriaus, degalų purkštuko, droselio sklendės ir plūdės kameros, kurioje yra plūdė bei kūginis vožtuvas.



8.4 pav. Paprasčiausio karbiuratoriaus schema.

Varikliui veikiant, siurblys degalus pumpuoja iš lėktuvo degalų bako į plūdės kamerą. Į ją degalai gali patekti tik per kiaurymę, kurios pralaidumas reguliuojamas kūginiu vožtuvu. Kamerei prisipildžius iki reikiamo lygio, plūdė pakyla aukštyn ir per svirtį prispaudžia kūginį vožtuvą prie degalų tiekimo kiaurymės. Kiaurymė uždaroja, todėl daugiau degalų į plūdės kamerą patekti nebegali.

Degalų lygiui kameroje nukritus, plūdė nusileidžia ir atlaisvina kelią degalams patekti į kamerą. Tokiu būdu plūdės kameroje visada palaikomas pastovus degalų lygis. Į siauriausią difuzoriaus vietą išvestas purkštuko vamzdelis su purkštuku. Varikliui neveikiant, oras per difuzorių nesiurbiamas, todėl degalų lygis purkštuko vamzdyje nusistovi toks pat, kaip ir plūdės kameroje. Kad neveikiančio variklio degalai netekėtų per purkštuką, jis yra per 1,5÷mm aukščiau nei degalų lygis plūdės kameroje.



8.5 pav. Karbiuratoriaus sandara.

Varikliui dirbant, oras teka per difuzorių. Jam tekant siaurėjančiu kanalu, greitis auga, o slėgis krinta. Greitis aukščiausią ribą, o slėgis žemiausią ribą pasiekia siauriausioje difuzoriaus vietoje, kurioje ir išvestas degalų purkštukas. Todėl susidaro slėgių skirtumas tarp plūdės kameros ir difuzoriaus. Veikiami slėgių skirtumo, degalai vamzdeliu teka į purkštuką. Oro srautas difuzoriuje yra turbulentinis, todėl iš purkštuko ištekęs degalai susimaišo su tekančiu oru, ima garuoti. Garavimas sustiprėja dėl žemo slėgio.

Taip veikia paprasčiausias karbiuratorius. Tačiau jis ne visada gali aprūpinti variklį reikiamos sudėties mišiniu visais darbo režimais. Todėl šiuolaikinių variklių karbiuratoriai turi papildomą įrangą, pagerinančią užvedimą ir palaikančią reikiamą mišinio sudėtį, kai variklis veikia visais režimais. Šiais tikslais karbiuratoriuose įtaisomos trys dozuojančios sistemos:

1. Mažų sūkių sistema;
2. Pagrindinė dozavimo sistema;
3. Pariebinimo arba didžiausios galios sistema.

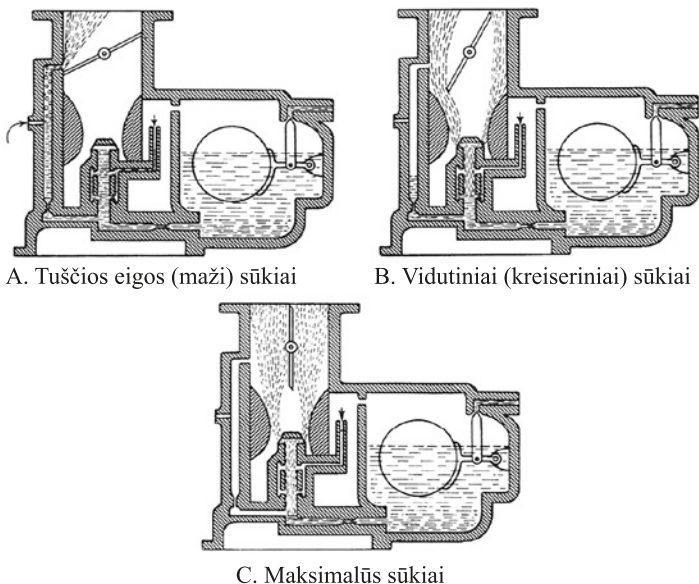
Mažų sūkių sistema koreguoja mišinio sudėtį, kad užtikrintų stabilų variklio darbą, kai per difuzorių teka nedideli oro srautai.

Pagrindinė dozavimo sistema optimizuota dirbti svarbiausiais ilgalaikiais variklio darbo režimais. Varikliui veikiant normaliu ilgalaikiu režimu, per difuzorių teka gana daug oro, jame susidaro normalus slėgių skirtumas.

Maksimalios galios sistema pariebina mišinį, kai variklis veikia didžiausiu ar nominaliu režimais.

Veikiant šiais režimais, dažniausiai papildomas degalų kiekis į difuzorių tiekiamas atidarius pagalbinį vožtuvą.

Be dozuojančių sistemų, aviacinių variklių karbiuratoriai dar turi pagreitėjimo siurblius, aukščio korektorių ir stop čiaupus.



8.6 pav. Paprasčiausio plūdinio karbiuratoriaus darbas įvairiais variklio sūkliais.

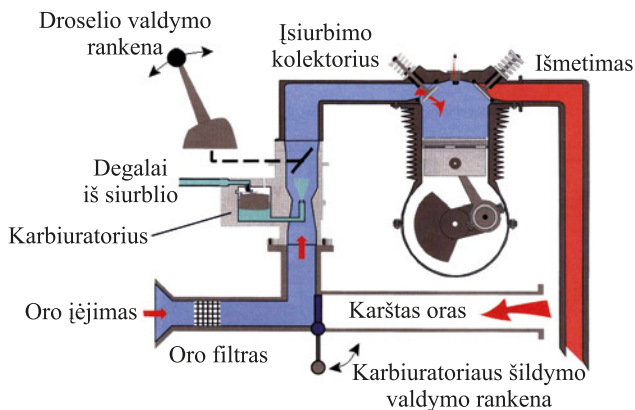
Aukščio korektorius palaiko pastovią mišinio sudėtį, atitinkančią darbo režimą, kintant skridimo aukščiui. Aukščio korektorius gali būti tiek rankinio valdymo, tiek automatinis. Jis keičia slėgio kritimą karbiuratoriaus difuzoriuje, todėl kinta degalų srautas per pagrindinę dozavimo sistemą. Tokiu būdu degalų, tiekiamų degiajam mišiniui ruošti, kiekis pritaikomas prie oro tankio pokyčio, kintant skrydžio aukščiui.

Pagreitėjimo siurblys leidžia greitai ir sklandžiai pereiti iš mažiausių sūklių į didžiausius (tai vadinama variklio pagreitėjimu). Varikliui staigiai pereinant iš mažų sūklių į didelės galios režimą, staigiai atidaroma droselio sklendė. Į cilindrą patenka daug oro, o reikiamo degalų kiekio karbiuratorius išpurkšti dar negali. Dėl to mišinys labai suliesėja. Pagreitėjimo siurblys mechaniškai įpurškia papildomą degalų kiekį tiesiogiai į karbiuratoriaus oro tekėjimo kanalą, neleidžiamas mišiniui suliesėti.

Stop čiaupas naudojamas, kai reikia greitai sustabdyti variklį. Jis sustabdo degalų tekėjimą per mažą sūkių sistemą, kai droselio sklendė visiškai užsidaro.

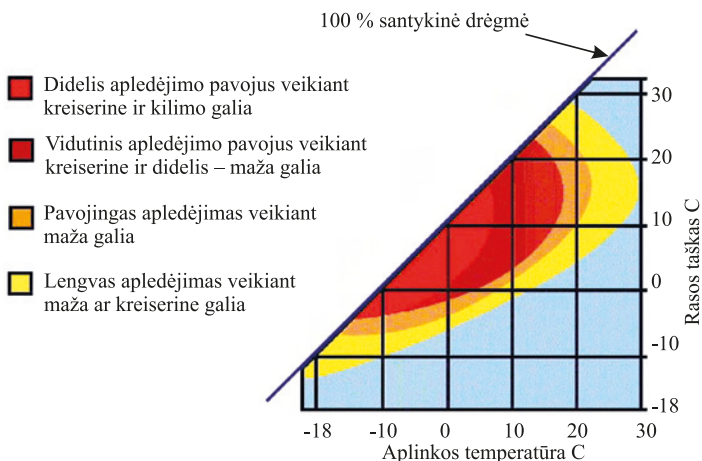
8.3.2. Karbiuratoriaus instaliavimas variklyje. Karbiuratoriaus apledėjimo įveikimo būdai

Dažniausiai karbiuratorius tvirtinamas prie variklio įsiurbimo kolektoriaus. Varikliui veikti reikalingas oras įsiurbiamas per specialią oro paėmimo angą. Kad ore esančios dulkės negadintų degalų sistemos, tarp variklio oro paėmimo angos ir karbiuratoriaus montuojamas oro filtras. Kai kuriuose ultralengvuose orlaiviuose variklis nedengiamas kapotu. Tada oro filtrą galima tvirtinti tiesiogiai prie karbiuratoriaus.

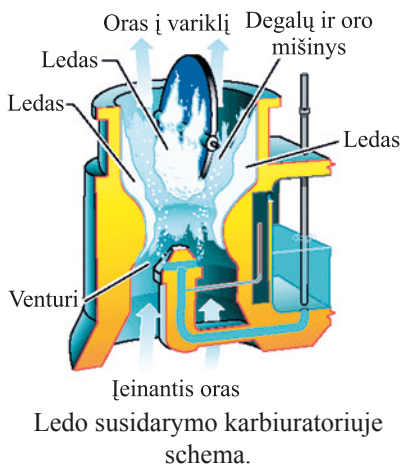


8.7 pav. Karbiuratoriaus instaliavimo schema.

Karbiuratoriumi veikiant, jo difuzoriaus siauriausioje vietoje padidėja oro srauto greitis, sumažėja slėgis ir temperatūra. Vėliau, srautui plėtojantįsi kanale plečiantis, temperatūra dar krenta. Dėl to gali susidaryti šerkšno arba ledo sluoksnis, kuris ne tik pablogina variklio darbą, bet ir gali tapti visiško jo sustojimo priežastimi. Karbiuratoriaus apledėjimo galimybė priklauso nuo oro sąlygų ir variklio darbo režimo, santykinio aplinkos oro drėgnumo, skridimo aukščio.



8.8 pav. Karbiuratoriaus apledėjimo rizikos priklausomybė nuo variklio darbo režimo ir aplinkos sąlygų.



Apšerkšnijęs variklio ROTAX 912 karbiuratoriaus difuzorius.

8.9 pav. Karbiuratorius apledėjimas.

Kad karbiuratorius neapledėtų, pašildomas į jį patenkantis orą. Tam karbiuratoriniuose varikliuose montuojama speciali karbiuratoriaus šildymo sistema. Įjungus šią sistemą, oras imamas iš į išmetimo kolektoriaus šildomo šilumokaičio.



8.10 pav. Karbiuratoriaus apšildymo sistemos šilumokaitis.

Šilumokaityje pašildytas oras per specialią sklendę patenka į karbiuratorių. Į jį įeinančio oro temperatūra reguliuojama keičiant sumaišyto pašildyto ir šalto (atitekančio iš oro filtro) oro santykį. Esant ypač nepalankioms apledėjimo požiūriu sąlygoms, sklende užtvėriamas oro kanalas iš oro filtro ir į karbiuratorių patenka tik pašildytas oras. Į karbiuratorių tiekiamo oro pašildymo sistema vadinama „antrinio oro sistema“.

Siekiant padidinti aviacinio variklio patikimumą ir pagerinti degiojo mišinio paruošimą, aviaciniuose varikliuose kartais instaliuojama po du karbiuratorius kiekvienam varikliui. Tokiu atveju abu karbiuratoriai valdomi sinchroniškai bendra variklio valdymo sistema. Analogiškai instaliuojama ir bendra antrinio oro sistema.

8.3.3. Degalų įpurškimas

Kai degalų ir oro mišinys ruošiamas karbiuratoriuje, jis ne visada atitinka optimalaus variklio darbo reikalavimus, nes išpurškiamų degalų kiekis ir kaip jie susimaišo su oru labiausiai priklauso nuo tekančio oro srauto greičio. Šiuolaikiniuose karbiuratoriuose montuojama daug papildomų sistemų, pagerinančių šį darbą. Tačiau trūkumus iš esmės galima pašalinti tik naudojant įpurškimo sistemas.

Degalų įpurškimas padeda lanksčiau keisti oro ir degalų mišinio kokybę. Be to, pats įpurškimo momentas gali būti keičiamas ir parenkamas tinkamiausiai. Kadangi purškiami suslėgti degalai, jie geriau susimaišo su oru.

Degalų įpurškimo sistemų įvairovė didesnė nei karbiuratorių konstrukcijų. Degalai gali būti įpurškiami į įsiurbimo kolektorių, o gautas mišinys siurbiamas į cilindrą. Kaip jau minėta, tokio tipo įpurškimo sistemos vadinamos išorinėmis. Į kolektorių degalai gali būti purškiami per vieną, bendrą visiems cilindrųms, purkštuką (tai vadinama vienataškiu įpurškimu) ar ties kiekvienu cilindru montuojant atskirus purkštukus (daugiataškis įpurškimas). Aviacijoje naudojamos ir tiesioginio įpurškimo sistemos, kai degalai įpurškiami tiesiogiai į cilindrą įsiurbimo takto metu.

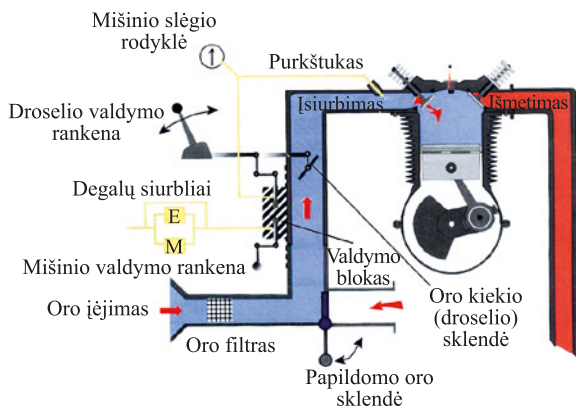
Degalų įpurškimas gali būti valdomas hidromechanine sistema ar elektronikos. Pastaroji kur kas tobulesnė, leidžianti pasiekti didesnę galią ir ekonomiškumą. Dėl sudėtingų aviacinių variklių sertifikavimo procedūrų tokios sistemos aviaciniuose stūmokliniuose varikliuose instaliuojamos dar retai.

Šiuolaikiniuose aviaciniuose stūmokliniuose vidaus degimo varikliuose kol kas plačiausiai naudojamos mechaninės degalų įpurškimo sistemos.

Į mechaninę degalų įpurškimo sistemą patenka siurbliuose suslėgti degalai. Kaip ir karbiuratorinėse sistemose, naudojami du lygiagretūs siurbliai. 8.11 pav. jie pažymėti raidėmis:

E – elektrinis pagalbinis;

M – mechaninis, variklio sukamas, pagrindinis.



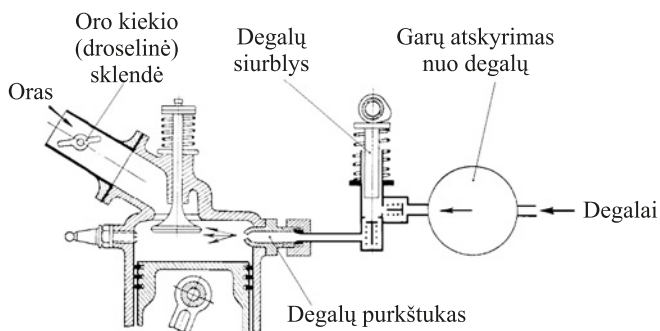
8.11 pav. Mechaninės degalų įpurškimo sistemos schema. Degalai šioje sistemoje įpurškiami į įsiurbimo kolektorių.

Pagrindinį mechaninį siurbį per pavarą suka alkūninis velenas. Suslėgti degalai patenka į hidromechaninį valdymo bloką, kuriame jų srautas reguliuojamas atsižvelgiant į droselio valdymo rankenos padėtį, variklio sūkius, skrydžio aukštį (pastarasis veiksnysi automatiškai įvertinamas tik sistemose su automatiniu aukščio korektoriumi). Iš valdymo bloko degalai vamzdeliais teka į purkštukus. Daugiacilindriuose varikliuose tarp valdymo bloko ir purkštukų montuojamas degalų paskirstymo vožtuvas, paskirstantis degalų srautą atskiriems cilindrams.

Kaip jau minėta, degalai gali būti įpurškiami ne tik į įsiurbimo kolektorių, bet ir tiesiogiai į cilindrą įsiurbimo takto metu. Tai vadinama tiesioginiu degalų įpurškimu. Tokio tipo sistemose degalai geriau susimaišo su oru, tačiau pati įpurškimo sistema sudėtingesnė.

8.12 pav. parodyta įpurškimo sistemos su tiesioginiu degalų įpurškimu schema. Sistema veikia taip:

Iš paslegiančio siurblio degalai patenka į oro atskyrimo kamerą, kurioje iš jų atskiriami garai, oro burbuliukai. Perėję oro ir garų atskyrimo kamerą, degalai patenka į stūmoklinį aukšto slėgio siurbį.



8.12 pav. Įpurškimo sistemos su tiesioginiu degalų įpurškimu schema.

Siurblio stūmoklį judina kumštelinis mechanizmas. Atitinkamame įsiurbimo takto taške kumšteli nuspaudžia degalų siurblio stūmokliuką ir degalų porcija įpurškiama į cilindrą.

8.4. Aviacinių keturtakčių stūmoklinių vidaus degimo variklių degalai

Aviaciniams keturtakčiams vidaus degimo (OTTO) varikliams kaip degalai naudojamas aviacinis benzinas. Jis žymimas AVGAS. Aviaciniai benzinai gaminami laikantis standartizuotų techninių sąlygų, nurodytų DIRECTORATE OF ENGINE RESEARCH AND DEVELOPMENT (D.E.R.D). Aviacinių degalų standartas D.E.R.D 2485.

Plačiausiai naudojami AVGAS benzinai yra:

PAVADINIMAS	OKTANINIS SKAIČIUS	SPALVA	Lyg. masė	
AVGAS 100LL	100/130	Mėlyna	0,72	Mažai švino
AVAGS 100	100/130	Žalia	0,72	Daug švino
AVGAS 80	80/87	Raudona	0,72	Labai daug švino

Kaip ir visi benzinai, aviaciniai charakterizuojami šiomis savybėmis:

1. Kaloringumas. Parodo, kiek šilumos galima išgauti deginant.
2. Takumas. Parodo, kaip degalai priešinasi tekėjimui.
3. Garingumas. Apibrėžia degalų gebėjimą garuoti.
4. Stabilumas. Charakterizuoja degalų gebėjimą išlaikyti savo savybes kintant laikui ir aplinkos sąlygoms.
5. Sieringumas. Parodo sieros junginių kiekį degaluose.
6. Antidetonacinės savybės.

Siekiant pagerinti antidetonacines benzino savybes, į jį dedama priedų, sunkinančių detonacinį degimą:

1. Į bazinį benziną įmaišoma izooktano, metiltretbutilo, metanolio ir kitų, turinčių aukštą oktaninį skaičių, priedų.

2. Įmaišoma antidetonatorių – cheminių junginių, kurie, įmaišyti nedideliais kiekiais, pastebimai pagerina antidetonacines benzino savybes. Vienas iš veiksmingiausių ir geriausiai žinomų antidetonatorių yra tetraetilšvinas. Tai sunkus, gerai tirpstantis benzine bespalvis skystis. Jis labai toksiškas.

Antidetonacines benzino savybes pagerina ir katalitinio krekingo, riformingo ir kitų pažangių bazinių benzinų gavybos iš naftos technologijų naudojimas.

Degalų rūšis ir kokybė	Degalų spalva	Įrangos spalva
AVGAS 80	Raudona	
AVGAS 100	Žalia	
AVGAS 100LL	Mėlyna	
JET A	Bespalvis arba gelsvas	

8.13 pav. Aviacinių degalų ir jų pylimo bei saugojimo įrangos spalvinis kodavimas.

Benzinas, kaip ir kitų rūšių aviaciniai degalai, absorbuoja drėgmę iš oro. Benzine ištirpusio vandens kiekis priklauso nuo temperatūros ir aplinkos santykinės drėgmės.

Benzino sugertas vanduo žemose temperatūrose kristalizuojasi ir gali užkimšti degalų sistemos filtrus, sugadinti jos komponentus. Siekiant to išvengti, į benziną dedama vandens kristalizaciją stabdančių priedų.

Ledo kristalai į degalus gali patekti nubyrėję nuo bako sienelių, kai jis nepilnas. Kristalų bus tuo daugiau, kuo didesnis laisvasis bako tūris. Žemėjant temperatūrai, drėgmė kondensuojasi ir kristalizuojasi tiek ant bako sienelių, tiek ant atšalusio degalų paviršiaus. Kad vanduo į degalus nepatektų, naudojamos šios priemonės:

1. Ribojamas degalų kontaktas su oru (degalai saugomi hermetiškose talpyklose, jos pildomos uždara srove).

2. Iš degalų nupilamas apačioje esantis sluoksnis (vanduo sunkesnis už benzina, todėl jis nusėda bakų ar kitų talpyklų dugne).

3. Į lėktuvų bakus pilami „išdžiovinti“ degalai (pildant naudojamos uždaros sistemos su filtrais-separatoriais arba jie prapučiami azotu).

Jeigu vis dėlto susidarė vandens bei ledo kristalų, ištirpęs vanduo ir ledo kristalai šalinami šiais būdais:

1. Sušaldant vandenį. Tam degalai ne mažiau kaip tris paras laikomi žemesnėje nei $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje. Vanduo sušąla (kristalizuojasi). Paskui filtruojant per smulkų filtrą ledo kristalai pašalinami.

2. Pašalinant vandenį. Benzinas pašildomas iki $50\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Leidžiama jam nusistovėti. Nusistovėjęs vanduo nupilamas.

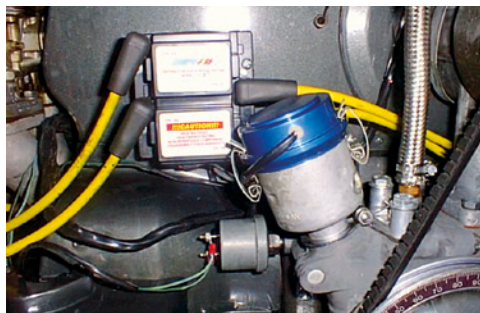
3. Dedami specialūs, vandens kristalizaciją stabdantys priedai, o nusistovėjęs vanduo nupilamas.

9. UŽDEGIMO SISTEMA

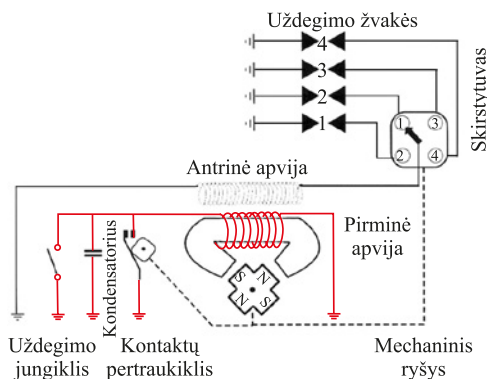
Uždegimo sistema turi patikimai uždegti degųjų mišinį cilindre suslėgimo takto pabaigoje.

Visi sertifikuoti keturtakčiai aviaciniai vidaus degimo varikliai turi dvigubą (dubliuotą) elektrinę uždegimo sistemą. Ji elektros srovės išlydžiu tarp uždegimo žvakės elektrodų reikiamu momentu cilindre uždega degųjų mišinį. Uždegimo sistema dubliuojama todėl, kad nuo jos darbo tiesiogiai priklauso variklio veikimas. Kiekviename cilindre įmontuojamos dvi uždegimo žvakės, kiekviena iš jų maitinama nuo atskiro magneto.

Pačiuose naujausiuose sertifikuotuose aviaciniuose varikliuose kartais naudojamos elektroninės uždegimo sistemos.



9.1 pav. Elektroninės uždegimo sistemos blokeliai, sumontuoti variklio gale.



9.2 pav. Uždegimo sistemos su magnetu schema.

Uždegimo sistema sudaryta iš magnetų, uždegimo žvakių, juos jungiančių laidų ir uždegimo jungiklio.

9.1. Magnetai

Tai du atskiri, vienodi, sinchroniškai valdomi elektros generatoriai, montuojami variklio gale. Juos suka variklis per pavarą. Pagal veikimo principą – tai generatoriai su pastoviais magnetais, kuriantys aukštos įtampos elektros srovę.



9.3 pav. Magnetas „Slick 4300/6300“.

Pirminė nedidelio vijų skaičiaus apvija kartu su pertraukikliu formuoja kintamą magnetinį lauką, kuriantį aukštą įtampą antrinėje apvijoje.

Magnete esantis skirstytuvas reikiamu momentu tiekia aukštą įtampą į žvakes. Jis per pavarą mechaniškai surištas su alkūniniu vėliu.

Kondensatorius taip pat instaliuotas magneto viduje. Svarbiausia kondensatoriaus paskirtis – užtikrinti, kad pertraukiklio kontaktai nepridegtų jų atjungimo ir sujungimo momentais.

Užvedant variklis sukamas apie 25 aps./min. sūkiais. Tačiau, esant tokiems žemiems sūkiams, magnetas negali kurti žvakėms veikti pakankamos įtampos. Todėl naudojamos specialios užvedimą palengvinančios priemonės – magnetuose įmontuojamos impulsinės movos, trumpam padidinančios magneto sukimosi greitį.

9.2. Uždegimo jungiklis

Uždegimo jungikliu valdomas magneto darbas. Šis jungiklis montuojamas prietaisų lentoje, esančioje pilotų kabinoje. Įjungtas jis pirminę apviją sujungia su orlaivio mase. Tuomet magnetas išsijungia. Norint, kad magnetinis uždegimas veiktų, uždegimo jungiklis turi atjungti pirminę apviją nuo orlaivio masės.

Uždegimo jungiklis turi šias padėtis:

1. Išjungta.
2. Įjungti abu magnetai.
3. Įjungtas dešinys magnetas.
4. Įjungtas kairys magnetas.

Paskutinės dvi jungiklio padėtys naudojamos uždegimo sistemai testuoti.

9.3. Magnetų veikimo patikrinimas

Viso atjungimo testas. Testuojama varikliui dirbant mažais sūkliais. Išjungus vieną magnetą, sūkliai turi kristi nedaug, variklis neturi sustoti. Tokiu būdu tikrinamas magnetų darbas. Testas neparodo uždegimo žvakių būklės.

Apsisukimų kritimo testas. Variklis turi veikti apie 75 % nuo didžiausių sūkių. Paėiliui vieną po kito išjungus magnetus, stebima, kaip kinta variklio sūkliai. Jie turi kisti nedaug (iki 50 aps./min.). Testas leidžia patikrinti magnetų ir uždegimo žvakių darbą.

10. TEPIMO SISTEMA

Aviacinio variklio tepimo sistema:

1. Mažina trintį tarp judančių paviršių. Dėl to mažėja jų dilimas.
2. Aušina besitrinančius paviršius ir kitas variklio vietas.
3. Pašalina dilimo produktus iš besitrinančių dalių kontakto vietos.
4. Plauna variklį.
5. Saugo nuo korozijos.

Be to, pagal tepimo sistemos parametrus galima spręsti apie viso variklio techninę būklę (informacinė funkcija), o suslėgtas tepalas gali būti naudojamas kitose sistemose (pavyzdžiui, hidraulinėje propelerio žingsnio keitimo sistemoje).

Tepama pumpuojant suslėgtą alyvą į reikiamas vietas arba taškymo būdu, kai judančios variklio dalys taško tepalą.

10.1. Tepimo sistemų tipai, veikimas

Keturtakčiuose stūmokliniuose vidaus degimo varikliuose naudojamos dvejopos tepimo sistemos:

1. Uždarnosios sistemos (dar vadinamos „sistemomis su šlapiu karteriu“).
2. Atvirosios sistemos (dar vadinamos „sistemomis su sausu karteriu“).

Esminis šių sistemų skirtumas: kur laikomas tepalas.

Uždarosiose sistemose karteris naudojamas tiek panaudotam tepalui surinkti, tiek jam saugoti. Tokia sistema paprastesnė, tačiau ji netinkama manevriniam lėktuvams (pavyzdžiui, akrobatiniams), nes ji variklį gerai aprūpina tepalu tik kylant, skrendant su nedideliais trumpalaikiais perkrovimais ir tupiant. Be to, šio tipo sistemai būdinga tai, kad:

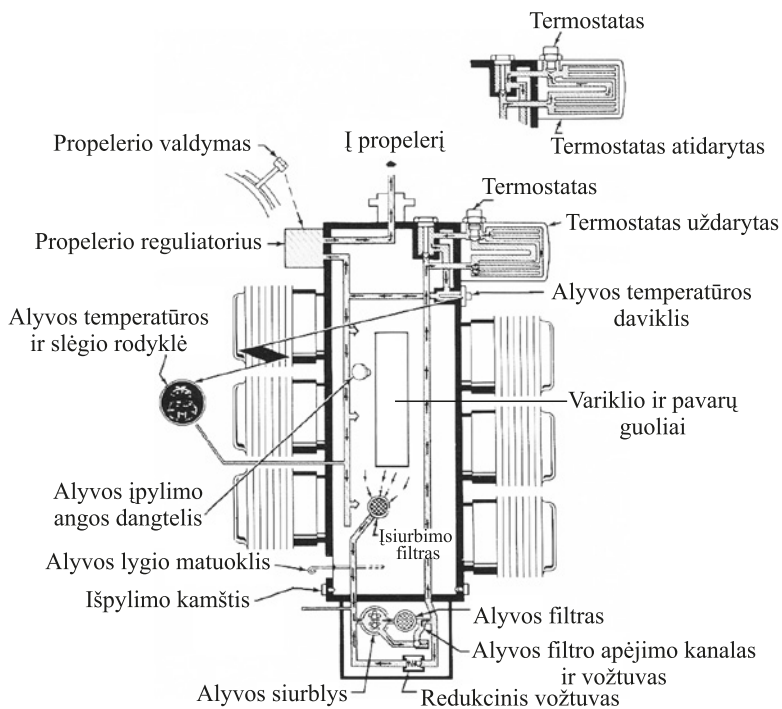
1. Sunku išlaikyti reikiamą tepalo temperatūrą, nes jis cirkuliuoja tik variklio viduje.
2. Kadangi alyva ilgai ir nuolat kontaktuoja su labai įkaitusiomis variklio dalimis, sunku išvengti, kad ji pirma laiko oksiduosis.
3. Alyvos kiekį riboja karterio tūris.

Atviroji tepimo sistema turi visus tuos pačius elementus kaip ir uždaroji plius alyvos bakas.

Svarbiausi bet kokio tipo sistemos elementai yra:

- alyvos bakas (tik sistemose su sausu karteriu);
- alyvos siurblys;
- alyvos filtras;
- alyvos radiatorius;
- alyvos temperatūros ir slėgio kontrolės įranga.

Tepimo sistemos elementai tarpusavyje jungiami vamzdeliais arba kanalais.



10.1 pav. Uždarosios tepimo sistemos schema.

Krumpliaratinis siurblys per tinklinį išsiurbimo filtrą siurbia alyvą iš karterio. Siurblių per pavarą suka alkūninis velenas. Siurblio našumas didesnis, nei reikia varikliui tepti. Be to, jis labai priklauso nuo sukimo greičio. Todėl lygiagrečiai siurbliui montuojamas redukcinis vožtuvas, per daug pakilus slėgiui, praleidžiantis alyvą atgal iš aukšto

į žemo slėgio liniją. Iš siurblio alyva patenka į filtrą, čia ji išvaloma. Toliau ji teka į radiatorių ir jame ataušinama. Radiatoriuje instaliuotas termostatas reguliuoja aušinimą, nes per daug ar per mažai ataušinta alyva netinkamai atlieka savo funkcijas. Ištekėjusi iš radiatoriaus alyva kanalais nukreipiama besitrinantiems paviršiams tepti. Juos sutepusi nuteka į karterį, o iš jo siurblio grąžinama, kad toliau cirkuliuotų.

Atvirojo tipo sistemose didžioji dalis alyvos būna ne karteryje, o atskirame alyvos bake. Variklio, tepamo tokia sistema, karteryje alyvos yra palyginti nedaug – tik tiek, kiek siurblys dar nebūna spėjęs supumpuoti į baką. Dėl to tokios sistemos kartais ir vadinamos „su sausu karteriu“. Iš karterio specialiu siurbliu pumpuojama alyva išvaloma filtre, ataušinama radiatoriuje ir grąžinama į baką. Aukšto slėgio siurblys ją pumpuoja į tepamas vietas, iš kurių sutekėjusi į karterį ji vėl keliauja į baką.

Išnagrinėsime svarbiausius tepimo sistemos elementus:

10.2. Svarbiausi tepimo sistemos elementai

10.2.1. Alyvos bakas

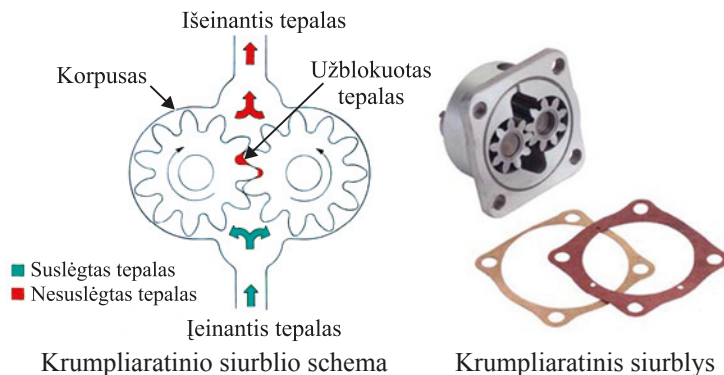
Jis pagerina variklio aprūpinimą tepalu lėktuvui manevruojant. Taip pat pagerėja tepalo cirkuliacija užvedimo metu. Variklį išjungus, alyva renkasi karteryje, iš čia ji imama pumpuoti, kai variklis vėl užvedamas. Bake galima laikyti didesnę kiekį alyvos, taip kompensuojant jos sumažėjimą, kai veikiant sistemai ji bus supumpuota į tepimo zonas. Alyva, būdama bake, išsivalo, kad neliktų jame susidariusių oro burbuliukų. Be to, bake esantis tepalas gali būti panaudotas kitiems hidroagregatams (pvz., sraigto žingsnio keitimo įrangai). Šių agregatų reikmėms alyva paimama iš bako per „grąžinamo tepalo“ vamzdelį.

Bake esanti kišenė turi nedideles kiaurymes, todėl evoliucijų metu iš jos alyva išteka ne taip greitai.

10.2.2. Alyvos siurblys

Šis siurblys pumpuoja suslėgtą alyvą į visas vietas, kurias būtina sutepti. Per pavarų sistemą jį suka alkūninis velenas. Stūmokliniuose

vidaus degimo varikliuose dažniausiai naudojami krumpliaratiniai aukšto slėgio alyvos siurbliai. Jų našumas priklauso nuo sūkių, pumpuojamo tepalo klampumo. Todėl manometro rodomas tepalo slėgis (o kartu ir slėgis tepimo sistemoje) priklauso nuo siurblio sūkių, tepalo temperatūros bei sistemos elementų hidraulinio pasipriešinimo.



10.2 pav. Krumpliaratinio tepalo siurblio schema ir pats siurblys.

Kad per aukštas alyvos slėgis nepažeistų tepimo sistemos elementų, lygiagrečiai aukšto slėgio siurbliui montuojamas slėgio sumažinimo vožtuvas. Per daug pakilus slėgiui aukšto slėgio kanale, šis vožtuvas nuleidžia alyvą iš aukšto slėgio srities į žemo slėgio sritį.

Labai svarbu sekti alyvos slėgį, kai variklis dirba mažiausiais ir didžiausiais sūkliais.

10.2.3. Alyvos filtras

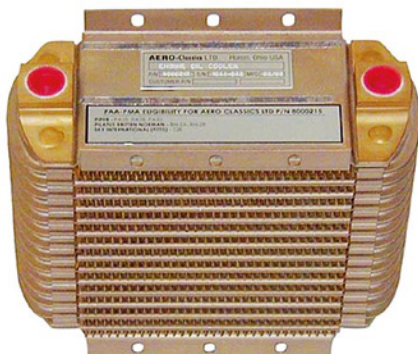
Prieš tepimą iš alyvos išvalomi teršalai. Kad užsiteršus filtrui tepimo sistema nenustotų veikusi (kai ji neveikia, variklis negali dirbti), lygiagrečiai filtrui suformuojamas dar vienas kanalas. Kai filtras užsiteršia tiek, kad alyva per jį nepakankamai teka, kanale įmontuotas vožtuvas nukreipia srautą apeinant filtrą. Dažniausiai dar vienas (dubliuojantis) toks vožtuvas montuojamas pačiame filtre.



10.3 pav. Alyvos filtras su tvirtinimo kronšteinu.

10.2.4. Alyvos radiatorius

Radiatoriuje alyva ataušinama. Aušinama dažniausiai oru. Alyvos radiatorius sudarytas iš kanalų (dažniausiai jie turi papildomas briaunas šilumos mainams pagerinti), kuriais pumpuojamas iš variklio paimtas įkaitęs tepalas. Cirkuliacijos kokybė priklauso nuo jo klampumo, kai tepalas šaltas, ji gali sutrikti. Tas pats gali atsitikti užsiteršus radiatoriaus kanalams. Todėl lygiagrečiai radiatoriui jungiamas apsauginis vožtuvas (jis apsaugo nuo per didelio slėgio padidėjimo). Šis vožtuvas taip pat reaguoja ir į alyvos temperatūrą, todėl jei alyva per šalta, ji gali tekėti aplenkdamą radiatorių.



10.4 pav. Oru aušinamas alyvos radiatorius.

Aušinimo poreikis labiausiai priklauso nuo variklio darbo režimo, o aušinimo veiksmingumas nuo:

- aušinančio oro srauto stiprumo;
- aušinančio oro temperatūros.

Aušinimo stiprumui reguliuoti kai kuriuose varikliuose naudojamos specialios sklendės. Jomis keičiamas aušinančio oro srauto stiprumas. Tai gali būti valdoma specialia rankena iš piloto kabinos arba automatiškai (su termostatu).

10.2.5. Alyvos temperatūros ir slėgio kontrolės įranga

Tepimo sistemos darbas kontroliuojamas matuojant į variklį įeinančio tepalo slėgį ir temperatūrą. Ji matuojama elektriniu jutikliu (dažniausiai tai būna termopora) aukšto slėgio siurblyje.



10.5 pav. Alyvos temperatūros matavimo jutiklis.

Daugumai stūmoklinių variklių normali temperatūra šioje vietoje laikoma apie 85 °C.



Rodyklinis



Elektroninis skaitmeninis

10.6 pav. Alyvos slėgio indikatoriai

Tepalo slėgis matuojamas aukšto slėgio siurblyje iškart už filtro.



10.7 pav. VDO firmos elektriniai slėgio jutikliai.

Tai daroma elektriniu ar mechaniniu prietaisu. Daugumai stūmoklinių variklių normalus tepalo slėgis svyruoja nuo 50 iki 100 psi.

Matavimo rezultatus parodo prietaisų lentoje įmontuotos slėgio ir temperatūros rodyklės.



Rodyklinis



Elektroninis skaitmeninis

10.8 pav. Alyvos slėgio indikatoriai

Per aukštos ar per žemos tepalo slėgio bei temperatūros reikšmės rodo, kad variklis gali bet kada sugesti ir jį būtina kruopščiai patikrinti.

10.3. Aviacinių variklių alyvos

Stūmoklinių variklių alyvos turi pasižymėti šiomis svarbiausiomis savybėmis:

1. Mažinti trintį.
2. Plauti visus vidinius variklio paviršius.
3. Turėti gerą antioksidacinį poveikį.
4. Būti atsparios oksidacijai.
5. Kuo mažiau garuoti.
6. Sunkiai užsiliepsnoti.
7. Turėti kuo mažesnę polinkį putoti.
8. Nereaguoti su tepimo sistemoje naudojamais metalais, guminėmis detalėmis, kitomis medžiagomis.
9. Kuo mažiau kenkti aplinkai ir aptarnaujančiajam personalui.

Visomis šiomis savybėmis tepalas turi pasižymėti esant skirtingoms temperatūroms ir įvairiu tarnavimo laiku.

Aptarnaujančiajam personalui ir aplinkai labai svarbu, kad tepalas nebūtų kenksmingas.

Viena iš svarbiausių alyvos savybių – jos klampumas. Nuo jo priklauso, kaip ji sutepa besitrinančius paviršius ir kaip lengvai teka per tepimo kanalus, taip pat per tepamų paviršių tarpus. Alyvos klampumas nusakomas jos klampumo skaičiumi. Klampumas priklauso nuo temperatūros: kylant temperatūrai, klampumas mažėja.

Alyvos klampumas nusakomas jos klampumo indeksu. Šiuo metu aviacijoje labiausiai paplitę dvi klampumo indeksavimo sistemos:

„Society Automotive Engineers“ (SAE) – tai alyvos klampumo indeksavimo sistema, „pasiskolinta“ iš automobilininkų;

„Saybolt Universal“ – dažnai aviacijoje naudojama sistema.

Šių sistemų tarpusavio atitikimas parodytas lentelėje:

SAE numeracija	SAYBOLT UNIVERSAL
30	60
40	80
50	100
60	120

Kuo didesnis klampumo indeksas, tuo klampesnė alyva.

Klampesnę alyvą patariama naudoti, esant šiltesnėms aplinkos oro sąlygoms ir didesnės galios, labiau apkrautiems varikliams. Mažiau apkrautiems, mažesnės galios varikliams geriau naudoti mažesnio klampumo alyvą.

Naudojant aukšto klampumo alyvą, variklį sunkiau užvesti, kai yra žema temperatūra. Geriausia, kai alyva išlaiko pakankamai aukštą klampumą, esant aukštai temperatūrai, ir nėra labai klampi, kai aplinkos temperatūra žema.

Stūmokliniams vidaus degimo varikliams tepti naudojamos alyvos, sudarytos iš bazinės alyvos ir specialių savybių suteikiančių priedų. Taigi jos yra mišiniai.

Jei bazinė alyva gauta tik iš naftos perdirbimo produktų, ji vadinama mineraline. Mineralinės alyvos pigiausios, tačiau jų savybės blogiausios, labiau kinta atsižvelgiant į eksploataciją laiką, labiau priklauso nuo temperatūros.

Bazinę alyvą pagaminus tik iš sintetinių medžiagų, gaunama sintetinė alyva. Ji brangi, toksiška, tačiau turi geras, stabilias tiek laiko, tiek temperatūros požiūriu savybes.



10.9 pav. Aviacinių alyvų pakuočių pavyzdžiai.

Pusiau sintetinės alyvos gaunamos maišant mineralines ir sintetines bazines alyvas. Pusiau sintetinės alyvos pigesnės už sintetines, tačiau jų savybės irgi blogesnės. Šiuo metu pusiau sintetinės alyvos plačiausiai naudojamos aviacinių vidaus degimo variklių tepimo sistemose.

LITERATŪRA

- Bingelis, T. 1984. *Firewall Forward: Engine Installation Methods*. 303 p.
- Bingelis, T. 1987. *Sportplane Construction Techniques*. 366 p.
- Blair, G. P. 1999. *Design and Simulation of Four-Stroke Engines*. IGE International Warrendale. 815 p.
- Bothezat, G. 1920. *Notes on the Design of Supercharged and Overdimensioned Aircraft Engines*. Nr. 7. 8 p.
- Butkus, A. 2000. *Benzininių vidaus degimo variklių maitinimo sistemos*. Vilnius: Technika. 88 p.
- Ferguson, C. R.; Kirkpatrick, A. T. 2001. *Internal Combustion Engines*. New York: John Wiley and Sons. 369 p.
- Gunston, B. 2006. *Development of Piston Aero Engines*. Haynes Publishing. 244 p.
- Jurkauskas, A. 2003. *Transporto priemonių varikliai*. Kaunas: Technologija. 281 p.
- Pikūnas, A. 2004. *Vidaus degimo varikliai*. Vilnius: Technika. 68 p.
- Rotax Aircraft Engines. Maintenance Manual*. 1999. Rotax GmbH. 58 p.
- Torenbeek, E. 1982. *Synthesis of Subsonic Airplane Design*. Rotterdam: Delft University Press. 624 p.