

**DEVELOPMENT OF THE CERAMIC CONSTRUCTION OF
GAS-TURBINES BLADES FOR 5th GENERATION ENGINE****GĀZU TURBĪNAS DARBA LĀPSTIŅAS KERAMISKĀS
KONSTRUKCIJAS IZSTRĀDE PIEKTĀS PAAUDZES
DZINĒJIEM****Ernests Lejnieks**, *Mr.sc. eng.**Riga Technical University, Aviation Institute**Address: 1, Lomonosov Street, LV-1019 Riga, Latvia**Phone: +3712 9447932**E – Mail: els@airbaltic.lv***Muharbijs Banovs**, *RTU asoc. prof., Dr. habil. sc. eng.**Riga Technical University**Address: 1, Lomonosov Street, LV-1019 Riga, Latvia**Phone: +371 26812964**E – Mail: aviation.institute@rtu.lv***Vladimirs Labendiks**, *RTU asoc. prof., Dr. habil. sc. eng.**Riga Technical University, Aviation Institute**Address: 1, Lomonosov Street, LV-1019 Riga, Latvia**Phone: +371 29754804**E – Mail: vladlab@junik.lv***Valerijs Muhins**, *Docents, Dr.sc.eng.**Riga Technical University, Institute of Transport's Technology**Address: 1, Lomonosov Street, LV-1019 Riga, Latvia**Phone: +371 22387831**E – Mail: Valery moukhin@inbox.lv**Atslēgas vārdi: aviācijas gāzturbīnu dzinēji, turbīnas darba lāpstiņas, kerāmiķas materiāli***1. Ievads**

Galvenais uzdevums projektējot mūsdienu turboreaktīvā divkontūru dzinēja turbīnu ir sasniegt pēc iespējas lielāku turbīnas darbu panākot to ar minimālu degvielas patēriņu. Šis ir dzinēja ekonomiskuma nosacījums, ko diktē sīvā konkurence starp vadošajiem aviodzinēju ražotājiem. Lai panāktu šī nosacījuma izpildi ir vairāki paņēmieni kā to veikt.

Viens no galvenajiem paņēmieniem ir paaugstināt gāzes temperatūru pirms dzinēja turbīnas. Maksimālo gāzes temperatūru dzinējā ierobežo dzinējā izmantoto materiālu karstuma izturības robeža un slodzes, kuras turbīnas konstrukcija spēj izturēt pie šīm temperatūrām.

Otrs veids, kā panākt maksimālu turbīnas darbu ir optimizēt visus turbīnas ģeometriskos un gāzdinamiskos parametrus.

Zinātniskajā darbā projektējot gāzturbīnu dzinēja augstspiediena turbīnu tiek meklēta maksimāli pieļaujamā gāzes temperatūra pirms projektējamās turbīnas un vienlaicīgi tiek optimizēti visi turbīnas ģeometriskie un gāzdinamiskie parametri.

Lai izpildītu šo uzdevumu un sasniegtu pēc iespējas labākus rezultātus tiek aplūkota iespēja augstspiediena turbīnā pielietot turbīnas darba lāpstiņas ar jaunu konstruktīvo risinājumu. Šis konstruktīvais risinājums paredz, ka turbīnas darba lāpstiņas gāzdinamiski profilētais apvalks no griešanās centrālās daļes spēkiem ir noslogots ar spiedes spriegumiem. Savukārt apvalka masas centrālās daļes spēks tiek pārnest uz turbīnas darba lāpstiņas spēka stieni. Šāds konstruktīvais risinājums tiek izmantots, jo augstu temperatūru iedarbībā darba lāpstiņas apvalkam izmantotais materiāls pie paredzamajām slodzēm spēs izturēt tikai spiedes spriegums. Lāpstiņas spēka stienis ar gāzdinamiskā apvalka palīdzību ir pasargāts no tiešas karsto gāzu iedarbības un atrodas labvēlīgākajos apstākļos, kurus rada dzesēšanas gaiss, tāpēc tas spēj izturēt lielus stiepes spriegumus no apvalka un paša spēka stienī masas centrālās daļes spēka.

Turbīnas darba lāpstiņas konstrukcijā paredzēts izmantot jaunus materiālus. Darba lāpstiņas gāzdinamiskajam apvalkam pielieto keramisko materiālu.

2. Mūsdienu turbīnas un to attīstības perspektīvas

Aviodzinēju būvniecības nozarē visā pasaulē notiek nepārtraukta attīstība, kas saistīta ar gāzturbīnu dzinēju efektivitātes parametru paaugstināšanu. Gāzturbīnu dzinēju parametru paaugstināšanu galvenokārt saista ar gāzu temperatūras paaugstināšanu pirms turbīnas. Dzinēja gāzdinamisko parametru aprēķina formulu analīze rāda, ka, piemēram, īpatnējā dzinēja vilce varētu būt proporcionāla gāzu temperatūras pieaugumam. Taču pie paaugstinātām gāzu temperatūrām turbīnas detaļām nepieciešama intensīvāka atdzesēšana, kas savukārt noved pie dzinēja darba cikla parametru pasliktināšanās. Jo augstāka ir gāzu temperatūra, jo vairāk gaisa no kompresora tiek paņemts turbīnas detaļu dzesēšanai. Piemēram, ja gāzu temperatūra pirms turbīnas būtu 1800K, tad vairāk nekā 20% no visa gaisa daudzuma, kas iet caur pirmo dzinēja kontūru būtu nepieciešams lai atdzesētu augstspiediena un zemspiediena turbīnu.

Mēģinājumi paaugstināt dzesēšanas gaisa izmantošanas efektivitāti noved pie sarežģītām turbīnas detaļu konstrukcijām. Palielinās šo detaļu izgatavošanas darbietilpīgums, bet drošums, gluži pretēji, samazinās. Turbīnas dzesēšanai no kompresora atņemtais gaisa daudzums nav atkarīgs tikai no gāzu temperatūras augstuma pirms turbīnas un no pieņemtā dzesēšanas veida efektivitātes, bet arī no turbīnas detaļās izmantotā materiāla pieļaujamās darba temperatūras lieluma. Mūsdienu supersakausējumu un metālkeramisko materiālu pieļaujamās darba temperatūras sasniedz 1000...1050 grādus. Kā redzams ar šādām materiālu darba temperatūrām nepietiek, lai panāktu augstus dzinēja efektivitātes rādītājus.

Viens no veidiem kā paaugstināt gāzu temperatūru pirms turbīnas, tātad paaugstināt arī dzinēja efektivitātes rādītājus, ir ieviest turbīnas elementos jaunus, karstumizturīgus materiālus. Viens no šādiem materiāliem, kurš dod iespēju paaugstināt gāzu temperatūru pirms turbīnas, ir keramiskie materiāli. Šie materiāli ir ar ļoti augstu karstumizturību, kas pieļauj detaļu darba temperatūras līdz pat 1300...1400 grādiem nepielietojot dzesēšanu. Vēl viena keramisko materiālu priekšrocība ir tā, ka tiem ir maza masa un tie labi iztur spiedes

spriegumus pie ļoti augstām temperatūrām. Sliktās keramisko materiālu īpašības ir tās, ka tie iztur samērā nelielus stiepes un lieces spriegumus un ir trausli. Pielietojot dažādas keramisko materiālu detaļu izgatavošanas tehnoloģijas un izmantojot dažādas ķīmisko elementu piedevas iespējams būtiski uzlabot šos keramisko materiālu trūkumus.

Ja ņem vērā iepriekš teikto, tad būtu vēlams detaļām no keramiskajiem materiāliem, kuras pielieto turbīnās, radīt darba apstākļus, kuros tās darbojas spiedē. Ja detaļām no keramiskajiem materiāliem izdodas radīt šādus darba apstākļus, tad iespējams saglabāt detaļas resursu, ievērojami samazinot tās pašizmaksas, jo izejmateriāls keramikas izgatavošanai ir samērā lēts. Keramiskās detaļas dārdzību galvenokārt nosaka tehnoloģijas pielietošanas veids tās izgatavošanai.

Izvēloties gāzturbīnu dzinējos pielietot jaunus materiālus, kas ļauj palielināt gāzu temperatūru pirms turbīnas, mēs, līdz ar to, paaugstinām dzinēja efektivitātes rādītājus. Kopumā tas viss ievērojami samazina pēc šāda principa ražotu dzinēju pašizmaksu, tātad arī tā tirgus cenu, iegūstot jaunu dzinēju ar augstākiem efektivitātes rādītājiem, kas potenciālajam šāda dzinēja pircējam nav mazsvarīgi. Efektivitātes rādītāji, kuriem pievērš galveno uzmanību projektējot jaunu dzinēju, ir paaugstināta īpatnēja vilkme tikai nedaudz palielinot vai pat saglabājot iepriekšējā līmenī īpatnējo degvielas patēriņu. Ne mazāk svarīgi faktori ir projektējamā dzinēja masa un gabarīti. Projektējot jaunu dzinēju ar paaugstinātiem efektivitātes rādītājiem būtu vēlams, lai tā gabarīti un masa palielinātos nedaudz.

Apkopojot visu iepriekš minēto, ja aviodzinēju ražotājs izvirza par mērķi radīt jaunu dzinēju ar paaugstinātiem efektivitātes rādītājiem, tad visizdevīgāk būtu projektēt dzinēju ar paaugstinātu gāzu temperatūru pirms turbīnas. Turbīnas konstrukcijas detaļas, šajā gadījumā, viss piemērotāk būtu izgatavot no jauna tipa materiāliem, kuriem ir augsts darba temperatūru diapazons, un kuru atdzesēšanai būtu nepieciešams neliels gaisa daudzums.

3. Jaunas turbīnas projektēšanas izejas datu sākotnēja noteikšana

Turboreaktīvā divkontūru dzinēja augstspiediena turbīnas projektēšanai nepieciešami virkne izejas datu. Viens no parametriem, kas noteiks augstspiediena turbīnas darbu ir gāzģenerators kompresora saspiešanas pakāpe - π_{k1}^* . Mūsdienu kompresoriem gaisa saspiešanas pakāpe augstspiediena kompresorā ir sasniegusi sekojošas vērtības: $\pi_{k1}^* \approx 20...30$ [1].

Otrs nepieciešamais parametrs ir dzinēja kompresora kopējā saspiešanas pakāpe - $\pi_{k\Sigma}^*$. Arī šo parametru izvēlamies vadoties no sasniegumiem turboreaktīvo div kontūru dzinēju ražošanā un tas ir: $\pi_{k\Sigma}^* \approx 40...60$ [1].

Trešais nepieciešamais parametrs ir gaisa patēriņš caur pirmo dzinēja kontūru - G_{aiss1} . Izvēloties šo dzinēja parametru vadāmies pēc gāzģenerators "dimensiālā raksturojuma" [2].

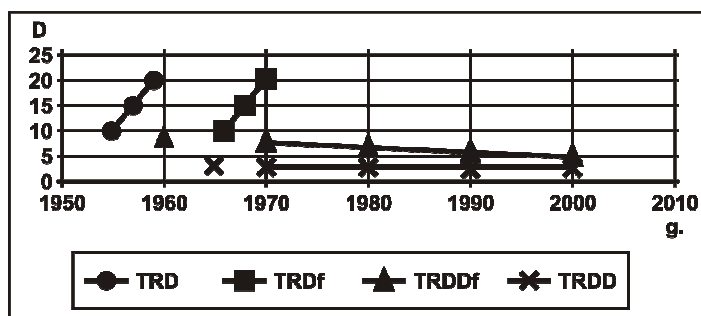
$$G_{aiss1}/\pi_{k\Sigma}^{(n+1)/(2n)} = D \quad (1)$$

Ņemot vērā, ka parasti kompresora saspiešanas politropijas rādītājs ir $n = 1,45...1,5$, tad izteiksmi (1) var uzrakstīt šādi: $G_{aiss1}/\pi_{k\Sigma}^{5/6}$. Aplūkojot dimensiālā raksturojuma attīstības tendenci varam orientējoši izvēlēties tā lielumu (1.attēls).

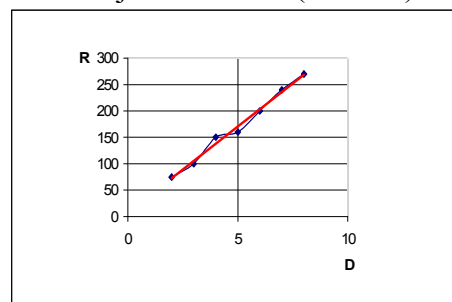
Dimensiālā raksturojuma fizikālā jēga ir tāda, ka tas rāda dažādu augstspiediena kompresoru spēju pēc iespējas vairāk saspiest noteiktu gaisa daudzumu. Tātad, jo mazāks ir dimensiālais raksturojums, jo labāks ir augstspiediena kompresors.

Ņemsim vērā, ka nebūtu ieteicams dimensiālo raksturojumu izvēlēties pārāk zemu ($G_{b1}/\pi_{k\Sigma}^{5/6} < 2...2,5$), jo tad kompresora pēdējo pakāpju lāpstiņas būs pārāk īsas un šo pakāpju lietderības koeficients būs pārāk zems.

Kad dimensiālais raksturojums iegūts var aptuveni noteikt kāda būs visa dzinēja vilkme ar projektējamo gāzģeneratora turbīnu. Aplūkosim statistikas datus par dažādu dzinēju ar vienādiem gāzģeneratoriem vilkmes atkarībā no dimensiālā raksturojuma lieluma (2. attēls).



1.attēls. Dimensiālā raksturojuma atīstības tendences



2. attēls. Dzinēja vilkmes atkarība no dimensiālā raksturojuma

Izdarot aptuvenas aplēses varam noteikt aptuvenu gaisa patēriņu G_{aiss1} .

$$G_{aiss1}/\pi_{k\Sigma}^{5/6} = 2,5...6 \Rightarrow G_{aiss} = \pi_{k\Sigma}^{5/6} (2,5....6) = 80...150 \text{ kg/s.}$$

Ceturtais nepieciešamais parametrs ir gāzes temperatūra pirms dzinēja turbīnas. Šo parametru izvēlamies 1700...1850K robežās ņemot vērā mūsdienu sasniegumus materiālzinātnē par aviodzinēju ražošanā pielietojamiem materiāliem [3]. Šajā gadījumā tas būtu keramiskais materiāls, kura sastāvā ir silīcija nitrīds (Si_3N_4) ar speciāliem piemaisījumiem [4]. Kā zināms keramika slikti darbojas stiepes un lieces slodzēs. Lai palielinātu izvēlēta keramiskā materiāla izturību liecē, tad tā sastāvam pievieno cirkonija dioksīdu (ZrO_2). Cirkonija dioksīda kristālam piemīt īpašība mainīt savu struktūru no spriegumu iedarbības, kuri rodas plaisas galā, kura izplatās pa keramisko materiālu. Šo spriegumu iedarbības rezultātā cirkonija dioksīda kristāls izplešas par 3...5%, tādējādi, ja plaisa nonāk līdz kristālam, tad tas keramikā rada vietējos spiedes spriegumus, kuri apgrūtina tālāku plaisas izplatīšanos. Šī īpašība ļoti noder turbīnas lāpstiņām, jo tās nereti tiek ieskrāmbātas ar dažādiem svešķermeņiem.

Izvēlēta keramiskā materiāla fizikālās īpašības:

- blīvums - $\rho = 1700 \text{ kg/m}^3$;
- elastības modulis – $E = 3,8 \cdot 10^7 \text{ MN/m}^2$;
- stiprības robeža pie $t = 1300^\circ\text{C}$ ir $\sigma = 200...300 \text{ MPa}$.
-

4. Turbīnas lāpstiņas projektēšana

Pirmais posms turbīnas projektēšanā ir sākotnējais turbīnas gāzdinamiskais aprēķins izmantojot metodiku, kura tiek pielietota projektējot turbīnu ar zināmiem izejas parametriem veicot izejas datu variāciju, lai iegūtu turbīnu ar visoptimālākajiem raksturojumiem.

Paralēli šiem aprēķiniem tiek veikta arī turbīnas darba pakāpes lāpstiņu kanāla profilēšana veicot gāzes plūsmas parametru optimizāciju.

Profilējot darba pakāpes kanālu tiek ņemts vērā gāzes plūsmas hidrodinamiskās īpašības, lai panāktu efektīvāku gāzes enerģijas pārvadi darba lāpstiņai katrā tās šķēlumā.

Kombinējot visus parametru optimizācijas rezultātus un izmantojot matemātisko modeli jāiegūst turbīnu ar maksimālu efektivitāti.

Lai turbīnas darba lāpstiņas varētu izgatavot no keramikas, tad tām jārada spiedes spriegumi. Projektējamā dzinējā to panāk turbīnas lāpstiņas izgatavojot no divām daļām. Iekšējais

lāpstiņas stienis kā parasti darbojas stiepē no stieņa paša masas centrālās daļes spēkiem un no lāpstiņas apvalka masas centrālās daļes spēkiem, kuri pielikti lāpstiņas galā. Turbīnas lāpstiņas keramiskais apvalks no centrālās daļes spēku iedarbības balstās uz lāpstiņas stieņa galā izveidota plaukta. Tātad lāpstiņas apvalkā no tā masas centrālās daļes spēkiem darbosies spiedes spriegumi.

Par cik lāpstiņas stienis no gāzu spēku lieces spriegumiem tik atslogots ar paša masas centrālās daļes spēkiem, tad arī lāpstiņas apvalkā lieces spriegumi būs nelieli.

Lai gāzu spēki, kas darbojas uz lāpstiņas apvalku, tiktu pārnesti un vienmērīgi būtu sadalīti pa visu lāpstiņas stieņa garumu, tad pa visu stieņa laukumu vienmērīgi tiek sadalīti atbalsta punkti. Šie punkti ļauj apvalkam kustēties radiālā virzienā, bet atņem kustības brīvību pārējos virzienos.

Jaunās turbīnas darba lāpstiņas apvalka biezums mainās lineāri. Tas ir, apvalka biezums samazinās lineāri pa apvalka garumu pārejot no biezāka uz plānāku no turbīnas darba rata ārējā rādiusa uz iekšējo. Apvalka biezuma izmaiņas lineārās funkcijas koeficients (q) (3. attēls) jāizvēlas veicot vairākkārtīgus stiprības aprēķinus ar dažādām tā vērtībām.

$$q_l = \frac{b}{a \cdot (1-x)} \quad (2)$$

Pēc aprēķinu veikšanas salīdzina iegūtos sprieguma sadalījuma rezultātus un izvēlas to modeli, kurš ir vispiemērotākais no stiprības viedokļa.

Cits modelis paredz, ka apvalka biezums pa tā garumu mainās pēc funkcionālā likuma. Tātad, apvalka biezuma izmaiņas koeficients ($q_{(f)}$) mainās atkarībā no kādas funkcijas.

$$q_{(f)} = f(\sigma_{sum}) \quad (3)$$

Lai atrisinātu apvalka stiprības uzdevumu pieņemsim, ka šī funkcija ir atkarīga no summārajiem spriegumiem, kas darbojas apvalkā. Šajā gadījumā šo nezināmo funkciju varam uzdot patvaļīgi, lai tikai tiktu apmierināti apvalka stiprības nosacījumi.

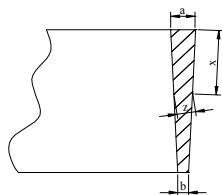
Kad stiprības analīze uz šiem piedāvātajiem modeļiem veikta, jāizvēlas pats piemērotākais no tiem. Tas būtu tāds modelis, kurš dotajos apvalka darbošanās apstākļos būtu ar mazāko konstrukcijas masu.

Atkarībā no noslogojuma vai konstruktīvu apsvērumu dēļ var izvēlēties apvalku, kurš ietvertu doto modeļu kombinācijas. Apvalka biezums mainīsies ne tikai pa tā garumu, bet arī šķērsvirzienā (4. attēls).

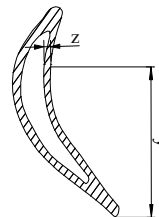
Šo biezuma izmaiņu veic analizējot apvalka modeļu spriegumu diagrammas.

Spēki, kas darbojas uz gāzdinamisko apvalku no gāzes plūsmas uz spēka stieni tiek pārnesti caur atbalstiem (5. attēls).

Veicot apvalka stiprības aprēķinu, jānosaka, cik atbalstu ir nepieciešams uz vienu apvalka laukuma vienību, lai nodrošinātu vajadzīgo tā stiprību un stabilitāti.



3. attēls. Darba lāpstiņas gāzdinamiskā apvalka šķēsgriezums



4. attēls. Gāzdinamiskā profila šķēsgriezuma skice

Jāņem vērā arī tas, ka izstrādātai darba lāpstiņai ir savdabīga konstrukcija, tāpēc aprēķinot spēkus un momentus (4) jāpielieto apgrieztais princips.

$$M_{x2} = \frac{M_x}{1 + \frac{E_1 I_{x1}}{E_2 I_{x2}}} \quad M_{y2} = \frac{M_y}{1 + \frac{E_1 I_{y1}}{E_2 I_{y2}}} \quad (4)$$

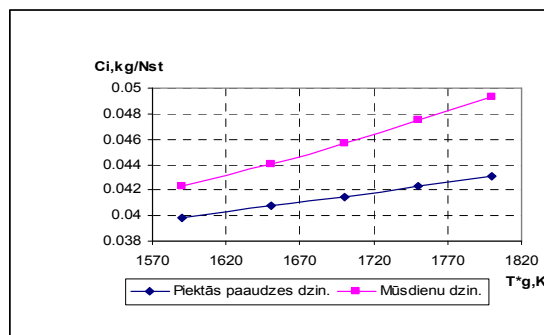
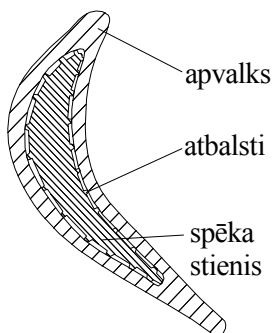
Gala rezultātā tik iegūts lāpstiņas apvalka šķēsgriezuma laukuma izmaiņas likums:

$$F_x = F_x^* - F_x^{**} = F_{iekš}^* \left[1 - (1 - \lambda^*) \cdot \left(\frac{x}{l} \right)^\varepsilon \right] - \left[1 - (1 - \lambda^{**}) \cdot \left(\frac{x}{l} \right)^\varepsilon \right] \quad (5)$$

Kad apvalka stiprības aprēķins ir veikts, ir arī zināms kādas slodzes tiks pārnestas uz lāpstiņas spēka stieni. Izejot no tā varam uzdot spēka stieņa ģeometriskos izmērus, kas spētu izturēt slodzes, kuras tiek pārnestas no apvalka.

Pēc aprēķinu iegūšanas izanalizēt maksimālās spriegumu zonas un veicot konstruktīvas jeb ģeometriskas izmaiņas panākt vienmērīgu slodžu sadalījumu pa lāpstiņas garumu, kas ļautu izmantot pēc iespējas augstāku gāzes temperatūru un pēc iespējas vairāk noslogot lāpstiņu.

Veikto aprēķinu komplekss rāda, ka piektās paaudzes dzinējos, pielietojot jaunus keramiskos materiālus un izmantojot jaunus konstruktīvos risinājumus, iespējams būtiski samazināt īpatnējo degvielas patēriņu. Šis rezultāts redzams grafikā (6. attēls).



5. attēls. Lāpstiņas kopējās konstrukcijas
šķērsriezuma skice

6. attēls. Degvielas patēriņa pieaugums atkarībā
no gāzu temperatūras

5. Noslēgums

- Tiek piedāvāts piektās paaudzes gāzturbīnu dzinējam turbīnas konstrukcijā izmantot materiālu no keramikas ar darba lāpstiņas spēka stieni un keramisko apvalku.
- Keramiskā apvalka pielietošana lāpstiņām ļauj būtiski samazināt siltumplūsmu uz lāpstiņas spēka stieni bez gaisa atvadīšanas dzesēšanai.
- Turbīnas darba lāpstiņu dzesēšanai atvadāmā gaisa samazināšana ļauj samazināt īpatnējo degvielas patēriņu par 6...12 %.

Literatūra

1. Н. Д. Тихонов, П. К. Казанджан. Теория авиационных двигателей. - М: Машиностроение, 2000. - 340 с.
2. С. М. Шляхтенко, В. А. Сосунов. Теория двухконтурных турбореактивных двигателей. - М: Машиностроение, 1979. - 313 с.
3. STEEL // A Handbook for Materials Research and Engineering. 1998, Volume 2, Pp. 203 - 223.
4. А. А. Никитский, Применение керамических материалов в горячих узлах ГТД (Анализ работ зарубежных фирм). // Труды ЦИАМ, № 923, 1995.
5. Мухин В., Лабендик В. Моделирование тепловых процессов при формировании покрытий из суспензий./ Proceeding of the International Workshop "Aviation Reliability'2000 (AvR'2000)", May 9-10, 2000, Riga, Latvia. - Riga, Aviation Insitute of RTU, 2000. -Pp.69-73.
6. Mukhin V., Labendik VI. Control of Heating up for Reception of Aluminidical Coats with Given Properties. // RTU Zinātniskie raksti, 6. sērija "Mašīnzinātne un transports. Transports. Aviācijas transports", 1. sējums. – Rīga, "RTU", 2000. – Lpp. 97-104.

E. Lejnieks, M. Banovs, V. Labendiks, V. Muhins. Gāzu turbīnas darba lāpstiņas keramiskās konstrukcijas izstrāde piektās paaudzes dzinējiem

Mūsdienu aviодzinēju attīstība virzīta uz to, lai iegūtu pēc iespējas lielāku dzinēja vilkmi pie salīdzinoši neliela degvielas patēriņa. Tas galvenokārt iespējams palielinot gāzu temperatūru dzinējā pirms augstspiediena turbīnas. Lai varētu paaugstināt temperatūru dzinējā, tad jāmeklē iespēja pielietot jaunus materiālus. Viens no šādiem perspektīviem materiāliem ir keramika. Keramikas materiāli iztur ļoti augstu temperatūru, taču slikti darbojas stiepes un lieces slodzēs.

Dotajā darbā tiek piedāvāta jaunas konstrukcijas darba lāpstiņa. Turbīnas konstrukcijas elementos tiek izmantota keramika. Lai nodrošinātu keramikas izturību, tiek izmantots neparasts keramisko detaļu noslogošanas veids, lai tās strādātu spiedē. Keramisko lāpstiņu ieviešana ekspluatācijā ļaus samazināt īpatnējo degvielas patēriņu par 6-12% pateicoties tam, ka samazinās dzesēšanai atņemtais gaisa daudzums.

E. Lejnieks, M. Banov, V. Labendik, V. Moukhin. Development of the Ceramic Construction of Gas-turbines Blades for 5th Generation Engine

Development of modern civil aviation has a tendency to obtain maximum engine power at as less fuel consumption as possible. Mainly this is reached by increasing temperature of gases before high-pressure turbine. One of possibility to increase temperature in the engine is to find out new materials, which were able to resist the necessary temperatures. One of such new materials is ceramics. It is able to survive at very high temperatures, but has low resistance at compression and pulling stresses.

This work introduces with new construction blade. Ceramics are used in the construction elements of turbine. To provide necessary strength of ceramics an unusual way of elements loading is used, allowing the elements to work under compressing stresses. Using of blades from ceramic allows decres specific fuel consumption up to 6-12% because decreasing of consumption of air for blades cooling.

Лейниекс Е., Банов М., Лабендик В., Мухин В. Разработка керамической конструкции лопаток газовых турбин для двигателей 5-го поколения

Развитие современной авиации направлено на то, чтобы обеспечить большую тягу двигателя при сравнительно небольшом расходе топлива. Один из путей достижения этой цели - повышение температуры газа перед турбиной высокого давления. Основная возможность ее реализации – использование новых материалов, способных длительно выдерживать высокие температуры. Таким перспективным материалом является металлокерамика. Однако она плохо работает при изгибающих и растягивающих нагрузках.

В данной работе предлагается новая конструкция лопатки с несущим стержнем. Для обеспечения ее прочности используется необычный способ нагружения керамической оболочки, при котором она работает на сжатие. Внедрение в эксплуатацию керамических лопаток позволит уменьшить удельный расход топлива на 6-12% за счет снижения отбора воздуха на охлаждение лопаток.